



ПРОЕКТ «МОРЯ СССР»

---

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОХИМИЯ МОРЕЙ СССР

---

ТОМ V

АЗОВСКОЕ  
МОРЕ

---



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1991

ПРОЕКТ «МОРЯ СССР»

---

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ  
И ГИДРОХИМИЯ  
МОРЕЙ СССР**

---

ТОМ V  
**АЗОВСКОЕ  
МОРЕ**

Под редакцией  
канд. геогр. наук Н. П. ГОПТАРЕВА,  
д-ра геогр. наук А. И. СИМОНОВА,  
канд. геогр. наук Б. М. ЗАТУЧНОЙ,  
д-ра биол. наук Д. Е. ГЕРШАНОВИЧА



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1991

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ МОНОГРАФИЙ  
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОХИМИЯ МОРЕЙ СССР»

Ф. С. Терзиев (ответственный редактор), Н. П. Голтарев, В. И. Калацкий,  
А. И. Симонов, М. М. Борисенко, В. Е. Бородачев, Д. Е. Гершанович, Г. В. Гирдюк,  
А. А. Керимов, Н. Н. Колесниченко, В. А. Рожков, В. Г. Федорей

Излагаются результаты эмпирических и теоретических исследований метеорологических (климатических), гидрофизических, гидрохимических характеристик и процессов в Азовском море. Дается оценка современных и ожидаемых антропогенных изменений гидрологических и гидрохимических условий моря.

Предназначена для специалистов, занимающихся современными физико-географическими и экологическими проблемами моря, и может быть использована при планировании и проектировании хозяйственных и природоохранных мероприятий в бассейне моря.

Отзывы и предложения просьба направлять Государственному океанографическому институту по адресу: 119838, ГСП, Москва, Г-34, Кропоткинский пер., 6

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                             |            |                                                                                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Предисловие . . . . .                                                                                       | 2          | 2.5. Электропроводность вод Азовского моря . . . . .                                                                                                                  | 115        |
| <b>Часть I. Гидрометеорология Азовского моря</b>                                                            |            | <b>3. Газовый режим . . . . .</b>                                                                                                                                     | <b>116</b> |
| Введение . . . . .                                                                                          | 6          | 3.1. Факторы, определяющие режим кислорода в море . . . . .                                                                                                           | —          |
| <b>1. Общие сведения . . . . .</b>                                                                          | <b>—</b>   | 3.2. Многолетние и сезонные изменения содержания кислорода в Азовском море . . . . .                                                                                  | 119        |
| 1.1. Краткая физико-географическая характеристика . . . . .                                                 | —          | 3.3. Современные условия образования заморозов . . . . .                                                                                                              | 138        |
| 1.2. Краткие сведения о гидрометеорологической и гидрохимической изученности Азовского моря . . . . .       | 9          | 3.4. Сероводород в Азовском море . . . . .                                                                                                                            | 139        |
| <b>2. Климатические условия и метеорологический режим . . . . .</b>                                         | <b>11</b>  | <b>4. Режим биогенных веществ . . . . .</b>                                                                                                                           | <b>143</b> |
| 2.1. Общая характеристика климата . . . . .                                                                 | —          | 4.1. Баланс биогенных веществ . . . . .                                                                                                                               | —          |
| 2.2. Радиационные факторы климата . . . . .                                                                 | 12         | 4.2. Многолетний режим биогенных веществ . . . . .                                                                                                                    | 146        |
| 2.3. Тепловой баланс Азовского моря . . . . .                                                               | 17         | 4.3. Сезонные изменения концентрации фосфатов в Азовском море . . . . .                                                                                               | 148        |
| 2.4. Циркуляционные факторы климата. Типы синоптических процессов для района Азовского моря . . . . .       | 22         | 4.4. Сезонные изменения концентрации соединений азота . . . . .                                                                                                       | 156        |
| 2.5. Атмосферное давление и ветер . . . . .                                                                 | 27         | 4.5. Сезонные изменения концентрации кремниевой кислоты . . . . .                                                                                                     | 164        |
| 2.5.1. Атмосферное давление . . . . .                                                                       | —          | 4.6. Анализ и моделирование влияния гидрометеорологических условий на содержание биогенных веществ в Азовском море . . . . .                                          | 169        |
| 2.5.2. Ветер . . . . .                                                                                      | 28         | 4.6.1. Материалы и методика . . . . .                                                                                                                                 | —          |
| 2.6. Температура воздуха . . . . .                                                                          | 37         | 4.6.2. Влияние ветра на многолетнюю динамику биогенных веществ . . . . .                                                                                              | 170        |
| 2.7. Характеристики влажности воздуха . . . . .                                                             | 42         | 4.6.3. Влияние термического режима на химические основы продуктивности . . . . .                                                                                      | 171        |
| 2.8. Облачность . . . . .                                                                                   | 43         | 4.6.4. Статистические связи между соленостью и биогенными веществами . . . . .                                                                                        | —          |
| 2.9. Осадки и снежный покров . . . . .                                                                      | 47         | 4.6.5. Влияние речного стока на многолетнюю динамику биогенных веществ . . . . .                                                                                      | —          |
| 2.10. Опасные и особо опасные метеорологические явления . . . . .                                           | 51         | 4.6.6. Статистические модели влияния элементов гидрометеорологического режима на многолетнюю динамику биогенных веществ . . . . .                                     | 173        |
| 2.10.1. Туманы . . . . .                                                                                    | —          | 4.6.7. Оценка возможных изменений химических основ формирования биопродуктивности вод Азовского моря . . . . .                                                        | —          |
| 2.10.2. Метели . . . . .                                                                                    | 53         | <b>5. Элементы системы химического равновесия моря . . . . .</b>                                                                                                      | <b>174</b> |
| 2.10.3. Обледенение надводных объектов . . . . .                                                            | —          | 5.1. Сезонные изменения pH . . . . .                                                                                                                                  | —          |
| <b>3. Гидрологический режим . . . . .</b>                                                                   | <b>54</b>  | 5.2. Сезонные изменения щелочности . . . . .                                                                                                                          | 180        |
| 3.1. Температура воды . . . . .                                                                             | —          | <b>Заключение . . . . .</b>                                                                                                                                           | <b>188</b> |
| 3.2. Ледовые условия . . . . .                                                                              | 59         | <b>Список литературы . . . . .</b>                                                                                                                                    | <b>191</b> |
| 3.2.1. Общие сведения . . . . .                                                                             | —          | <b>Часть III. Океанологические основы формирования биопродуктивности Азовского моря</b>                                                                               |            |
| 3.2.2. Появление и развитие льда . . . . .                                                                  | 60         | <b>Введение . . . . .</b>                                                                                                                                             | <b>193</b> |
| 3.2.3. Основные физико-морфологические характеристики ледяного покрова . . . . .                            | 65         | <b>1. Роль океанографических факторов в формировании первичной продукции, планктонных организмов и донных сообществ гидробионтов Азовского моря . . . . .</b>         | <b>—</b>   |
| 3.2.4. Процессы и явления в период разрушения и таяния ледяного покрова . . . . .                           | 67         | 1.1. Первичная продукция органического вещества . . . . .                                                                                                             | —          |
| 3.2.5. Тенденции многолетних изменений ледовых условий Азовского моря . . . . .                             | 69         | 1.2. Бактериопланктон и бактериобентос . . . . .                                                                                                                      | 195        |
| 3.2.6. Некоторые особенности ледовых условий на трассе плавания судов Мариуполь—Керченский пролив . . . . . | 71         | 1.3. Фитопланктон . . . . .                                                                                                                                           | 198        |
| 3.2.7. Ледовый режим Таганрогского залива и Керченского пролива . . . . .                                   | 72         | 1.4. Зоопланктон . . . . .                                                                                                                                            | 203        |
| 3.3. Соленость вод . . . . .                                                                                | 73         | 1.5. Зообентос . . . . .                                                                                                                                              | 206        |
| 3.4. Плотность и устойчивость вод . . . . .                                                                 | 77         | <b>2. Влияние океанографических факторов на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб Азовского моря . . . . .</b>                           | <b>209</b> |
| 3.5. Цвет и прозрачность Азовского моря . . . . .                                                           | 78         | 2.1. Влияние речного стока на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб . . . . .                                                            | 210        |
| 3.6. Уровень моря . . . . .                                                                                 | 80         | 2.2. Влияние солености воды на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб . . . . .                                                           | 213        |
| 3.6.1. Многолетние и сезонные колебания уровня моря . . . . .                                               | —          | 2.3. Влияние температуры и ветровой активности на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб . . . . .                                        | 215        |
| 3.6.2. Стоно-пагонные и сейшевые колебания уровня моря . . . . .                                            | 83         | <b>3. Влияние комплекса абиотических и биотических факторов экосистемы Азовского моря на урожайность поколений и динамику численности морских видов рыб . . . . .</b> | <b>216</b> |
| 3.6.3. Режимные характеристики уровня моря . . . . .                                                        | 85         | 3.1. Отношение морских видов рыб к солености . . . . .                                                                                                                | 216        |
| 3.7. Волнение . . . . .                                                                                     | 88         | 3.2. Урожайность поколений хамсы, тюльки, бычков . . . . .                                                                                                            | 219        |
| 3.7.1. Поля и режимные характеристики волн . . . . .                                                        | —          | <b>4. Оптимизация гидролого-гидрохимического режима Азовского моря для воспроизводства рыб . . . . .</b>                                                              | <b>229</b> |
| 3.8. Ветровые течения . . . . .                                                                             | 91         | <b>Заключение . . . . .</b>                                                                                                                                           | <b>232</b> |
| 3.9. Водный баланс . . . . .                                                                                | 96         | <b>Список литературы . . . . .</b>                                                                                                                                    | <b>234</b> |
| 3.10. Солевой баланс . . . . .                                                                              | 101        |                                                                                                                                                                       |            |
| <b>Список литературы . . . . .</b>                                                                          | <b>104</b> |                                                                                                                                                                       |            |
| <b>Часть II. Гидрохимия Азовского моря</b>                                                                  |            |                                                                                                                                                                       |            |
| <b>Введение . . . . .</b>                                                                                   | <b>106</b> |                                                                                                                                                                       |            |
| <b>1. Изученность гидрохимического режима . . . . .</b>                                                     | <b>—</b>   |                                                                                                                                                                       |            |
| 1.1. Предмет и задачи исследования гидрохимии в различные периоды изучения моря . . . . .                   | —          |                                                                                                                                                                       |            |
| 1.2. Районирование Азовского моря на современном этапе . . . . .                                            | 108        |                                                                                                                                                                       |            |
| <b>2. Солевой состав и электропроводность вод . . . . .</b>                                                 | <b>110</b> |                                                                                                                                                                       |            |
| 2.1. Обзор предшествующих исследований солевого состава и электропроводности вод Азовского моря . . . . .   | —          |                                                                                                                                                                       |            |
| 2.2. Химические методы исследования солевого состава вод Азовского моря . . . . .                           | 111        |                                                                                                                                                                       |            |
| 2.3. Основные природные факторы, влияющие на формирование солевого состава вод Азовского моря . . . . .     | —          |                                                                                                                                                                       |            |
| 2.4. Современный солевой состав вод Азовского моря . . . . .                                                | 112        |                                                                                                                                                                       |            |



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Окраинные и внутренние моря Советского Союза обладают большими биологическими, минерально-сырьевыми, энергетическими, водными и другими ресурсами, которые используются многими отраслями народного хозяйства. К числу наиболее крупных отраслей относится рыбное хозяйство, морская нефтегазодобывающая промышленность, морской транспорт, гидроэнергетика, гидромелиорация, здравоохранение (рекреация), коммунальное и промышленное строительство на побережье морей. Многим из них для рационального планирования своего развития и его эффективного осуществления требуется всесторонний учет гидрометеорологических и гидрохимических факторов, в первую очередь таких, как колебания уровня моря, ветер и волны, ледовые условия, течения, химическая агрессивность морских вод, солевой состав, биогенные вещества и другие.

Дальнейшее развитие морских отраслей народного хозяйства вызывает острую необходимость разработки принципиально новых, более совершенных путей и форм гидрометеорологического обеспечения на морях, так как одни традиционные формы в виде таблиц приливов, гидрометеорологических карт океанов и морей, ежегодников, ежемесячников и других уже не могут удовлетворить растущие запросы. Необходимо было создать целенаправленную систему обеспечения режимной гидрометеорологической и гидрохимической информацией хозяйственной деятельности на морях. Такая система создавалась в три этапа под общим научно-методическим руководством ГОИН с участием ААНИИ, ДВНИГМИ, ГГО, республиканских и территориальных управлений по гидрометеорологии и ряда мореведческих организаций других министерств и ведомств. Первый этап приурочен к исследованиям прибрежной полосы моря и устьев рек, второй — к шельфовой зоне моря, третий — к открытым районам и морю в целом.

К основным компонентам системы обеспечения относятся следующие.

1. Серия справочно-кадастровых пособий по 12 морским бассейнам, содержащих режимные и статистические данные по важнейшим элементам гидрометеорологического и гидрохимического режима морей и крупных морских устьев рек, которые широко используются многими практическими и научными организациями.

2. «Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях» (М.: Гидрометиздат, 1973), в котором изложены практические приемы расчета характеристик режима на основе натурных данных и теоретических исследований.

3. «Руководство по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях» (М.: Гидрометиздат, 1972), содержащее методические рекомендации по организации и проведению полевых изысканий непосредственно в районе проектируемых гидротехнических сооружений.

4. Методы расчета основных характеристик гидрометеорологических элементов на шельфах и открытых акваториях моря, позволяющие определить параметры ветра, волн, уровня, течений, льда при конкретных синоптических условиях и в многолетнем (режимном) плане, изданные в 1975—1983 гг.

5. Серия специализированных справочных пособий по гидрометеорологии и гидрохимии шельфа морей СССР, состоящая из 13 томов, изданная в середине 80-х годов.

В соответствии с заданиями проекта «Моря СССР» научно-технической программы ГКНТ «Мировой океан» 39 организациями Госгидромета СССР, Минрыбхоза СССР, АН СССР и союзных республик и других ведомств под общим руководством ГОИН и специализированным научно-методическим руководством ВНИРО (океанологические основы формирования биопродуктивности морей), ГГО (метеорология и климат), ААНИИ (ледовые условия) подготовлена серия монографий «Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР». Серия состоит из 10 томов, включающих 19 выпусков:

том I — Баренцево море;  
том II — Белое море;  
том III — Балтийское море;  
том IV — Черное море;  
том V — Азовское море;  
том VI — Каспийское море;  
том VII — Аральское море;  
том VIII — Японское море;  
том IX — Охотское море;  
том X — Берингово море.

Каждый том состоит, как правило, из двух выпусков: «Гидрометеорологические условия» (вып. 1) и «Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биопродуктивности» (вып. 2). Для акватории некоторых морей подготовлен вып. 3, учитывающий особенности гидрометеорологических и гидрохимических условий моря и его отдельных районов.

В монографиях по единому типовому проспекту освещается широкий круг вопросов по метеорологии и климату, физической океанографии, динамике вод, гидрохимии, океанологическим основам биопродуктивности морей. Существенное внимание уделяется современным и ожидаемым антропогенным изменениям элементов режима. В силу объективных причин — специфики режима морей, степени изученности, различного уровня теоретических разработок — в освещении некоторых вопросов по разным морям имеются существенные различия. Однако при разработке научной программы и в процессе выполнения работ перед исполнителями ставилась основная задача — отразить современный уровень знаний гидрометеорологических и гидрохимических условий.

В разделах по метеорологии и климату рассматриваются климатообразующие факторы — радиационные условия, циркуляционные процессы, орораграфия берегов, морские течения; климатическое

районирование; режим ветра, его местные особенности, штормы; температура воздуха — средние, экстремальные, характерные значения; аномальные сезоны; влажность воздуха; атмосферные осадки и снежный покров; облачность — общая, нижнего яруса, число ясных и пасмурных дней; опасные и особо опасные гидрометеорологические явления — обледенение судов, туманы, метели, град, сильные морозы, пыльные и песчаные бури и др.

Разделы по физической океанографии содержат характеристики: температурного режима, теплового баланса; ледовых условий, включая условия ледового плавания и физико-механические свойства льда; солености — средняя соленость, соленость в зонах смещения морских и речных вод, многолетняя и сезонная изменчивость, антропогенные изменения солености; плотности — средние значения, сезонные изменения, вертикальное распределение, конвекция; цвета и относительной прозрачности вод; фронтальных зон; водных масс; водного и солевого баланса.

В разделах по динамике вод рассматриваются: средний уровень моря, колебания уровня различных временных масштабов, включая приливы; течения — крупномасштабная геострофическая и ветровая циркуляция вод, сезонная, межгодовая и синоптическая изменчивость течений, циркуляция вод в шельфовых районах моря, приливные течения; ветровые волны, их режимные характеристики, максимальные высоты волн по районам морей и по сезонам.

По гидрохимии морей дается общая характеристика гидрохимического режима и определяющих его факторов, солевой состав морских вод и его трансформация; режим кислорода, его межгодовая, сезонная и суточная изменчивость; водородный показатель (рН); щелочность как показатель смещения и происхождения вод в море, ее изменение под влиянием природных и антропогенных факторов; режим биогенных веществ — минеральных и органических, растворенных и взвешенных соединений кремния, фосфора и азота, характеристика элементов баланса биогенных веществ, антропогенные изменения баланса биогенных веществ.

В разделе «Океанологические основы биопродуктивности вод», который впервые включен в подобного рода научно-справочные пособия, рассматривается влияние океанологических факторов на формирование биологической продуктивности вод, на воспроизводство, поведение и распределение основных промысловых объектов, дается оценка оптимальных факторов среды для обитания рыб в различные периоды их жизни.

При подготовке данной серии монографий исполнители стремились оптимально использовать имеющиеся натурные данные и современные гидротермодинамические и физико-статистические методы расчета гидрофизических и метеорологических параметров и характеристик, а там, где это было целесообразно, и полумпирические методы расчетов с привлечением натурных данных для оценки адекватности модели и натуре.

В результате исследований по проекту «Моря СССР» уточнены существующие представления о характеристиках гидрометеорологического и гидрохимического режима морей, в частности:

— определены условия формирования режима элементов климата, закономерности их изменения

в пространстве и во времени и различные вероятностные характеристики;

— получены режимные характеристики ветра и волнения, непериодических колебаний уровня, приливов и льда;

— построены новые поля гидрологических и гидрохимических элементов и характеристики вертикальной структуры вод;

— уточнены данные о солевом составе и электрической проводимости вод морей, которые свидетельствуют о существенной трансформации ионного состава и минерализации речного стока под влиянием антропогенных факторов;

— изучены основные факторы формирования газового режима вод — вертикальная устойчивость, биопродукционные процессы, загрязнение морской среды и др.;

— исследованы механизмы и масштабы, даны оценки возможных изменений гидрометеорологического и гидрохимического режимов при осуществлении крупных водохозяйственных мероприятий, рассмотрена эффективность регулирования режима морей СССР.

В целом настоящая серия монографий представляет собой закономерное продолжение и развитие общей системы обеспечения режимной гидрометеорологической и гидрохимической информацией морских отраслей народного хозяйства страны на морях, омывающих берега Советского Союза, и служит ее важнейшей составной частью.

Монографии содержат большой объем фактических многолетних данных, полученных на прибрежных станциях и в экспедициях и могут быть использованы как справочники по гидрометеорологии, гидрохимии и биопродуктивности морей.

Если в процессе работы появится необходимость в более подробной информации по гидрологии, метеорологии, гидрохимии и загрязнению морей, то она может быть получена в ГОИН или в других НИИ и управлениях по гидрометеорологии по специальному запросу.

Общее научно-методическое руководство исследованиями по проекту «Моря СССР» и по подготовке серии монографий «Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР» осуществлялось ГОИН. Руководство исследованиями по отдельным морям осуществляли: МФ ААНИИ (Баренцево море), Севгидромет (Белое море), ЛО ГОИН (Балтийское море), СО ГОИН (Черное море), ГОИН (Азовское и Аральское моря), БО ЗакНИГМИ (Каспийское море), ДВНИГМИ (Японское, Охотское и Берингово моря).

Подготовка серии монографий «Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР» выполнена под общим руководством научного руководителя проекта «Моря СССР» канд. геогр. наук Ф. С. Терзиева. Ответственные исполнители работ канд. геогр. наук Н. П. Гоптарев, д-р физ.-мат. наук В. И. Калацкий, д-р геогр. наук А. И. Симонов (ГОИН), д-р биол. наук Д. Е. Гершанович (ВНИРО), канд. геогр. наук В. Е. Бородачев (АНИИ), д-р геогр. наук М. М. Борисенко (ГГО), канд. геогр. наук А. Ф. Плахотник (ИИЕиТ).

Том V «Азовское море» составлен в ГОИН с участием АзНИИРХ и СО ГОИН под руководством ст. инж. Г. В. Заклинского. При составлении монографии использованы материалы наблюдений морских и устьевых станций Украинского и Северо-

Кавказского УГМ и данные экспедиционных работ УГМ, АзНИИРХ и СО ГОИН.

Монография состоит из трех частей — «Гидрометеорология», «Гидрохимия» и «Океанологические основы формирования биопродуктивности» Азовского моря.

Часть I содержит комплексную характеристику метеорологических и гидрологических условий Азовского моря, предназначенную для многоцелевого использования в научно-исследовательской работе и при гидрометеорологическом обеспечении народного хозяйства.

Части II и III являются самостоятельными разделами и могут рассматриваться независимо друг от друга. Сведения по гидрохимии и биопродуктивности моря, помещенные в этих частях, необходимы в настоящее время для решения комплексной проблемы рационального использования, охраны, прогнозирования, а в дальнейшем и управления природными ресурсами Азовского моря.

Эти две части монографии существенно дополняют справочные данные о гидрохимических условиях моря, представленные в более ранних работах.

Главы и разделы монографий подготовлены и написаны коллективом авторов.

Часть I: глава 1 — Н. П. Гоптарев; глава 2 —

А. Л. Лобов; глава 3 — В. П. Белов (п. 3.6—3.8), А. И. Бронфман (п. 3.3), Ю. М. Гаргопа (п. 3.1, 3.3, 3.9), Н. П. Гоптарев (п. 3.1, 3.2, 3.9), Г. В. Заклинский (п. 3.1, 3.9, 3.10), А. П. Куропаткин (п. 3.3, 3.4), Б. М. Таран (п. 3.2), Ю. Г. Филиппов (п. 3.6), В. М. Шишкин (п. 3.1, 3.3).

Часть II: глава 1 — З. В. Александрова, Б. М. Затучная; глава 2 — Л. Б. Друмева; глава 3 — Т. А. Бакум, Б. М. Затучная, С. В. Козлитина, Г. Д. Макарова, О. А. Симонова (п. 3.4); глава 4 — З. В. Александрова, Ю. М. Гаргопа (п. 4.6), Б. М. Затучная, С. В. Козлитина, Г. Д. Макарова; глава 5 — Б. М. Затучная.

Часть III: глава 1 — Ю. М. Гаргопа (п. 1.1), Г. С. Губина (п. 1.3), В. А. Колец (п. 1.5), С. В. Козлитина (п. 1.2—1.5), Г. Д. Макарова (п. 1.1), И. А. Мирзоян (п. 1.4), М. Я. Некрасова (п. 1.5), Л. И. Толоконникова (п. 1.2); глава 2 — Т. М. Авединова (п. 2.3), Л. Г. Баландина (п. 2.3), С. П. Воловик, И. Н. Иванченко, А. А. Корнеев, Л. Б. Кукарина, Г. И. Луц, С. Ф. Рогов; глава 3 — С. П. Воловик, И. Н. Иванченко, А. А. Корнеев, Л. Б. Кукарина, Г. И. Луц, С. Ф. Рогов.

В подготовке монографии к печати активное участие принимали: Н. С. Гейдарова, С. Ю. Калущкая, Т. В. Кондратенко, Л. Е. Лемехова, А. В. Михайлов.

# ЧАСТЬ I. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Азовское море, несмотря на свои небольшие размеры, имеет важное народнохозяйственное значение. Прежде всего оно отличается уникально высокой рыбопродуктивностью, которая обеспечивается мелководностью моря, большим отношением объема речного стока к объему моря, что определяет низкую соленость его вод и высокую концентрацию биогенных веществ. Следует отметить, что удельные уловы рыбы с единицы площади Азовского моря в 5—6 раз превосходят уловы в таком высокопродуктивном морском водоеме, как Каспийское море. Несмотря на резкое уменьшение уловов ценных видов рыб за последние десятилетия, море и в настоящее время не потеряло своего рыбохозяйственного значения.

Теплый умеренно-влажный климат, песчаные пляжи и дно, месторождения лечебных грязей и минеральных вод создают благоприятные условия для использования моря в лечебно-курортных и рекреационных целях.

Строительство Волго-Донского канала превратило Азовское море в важное звено транспортного сообщения между портами Волжско-Камского и Азово-Черноморского бассейнов.

Немаловажное значение имеет изучение Азовского моря как своеобразного физико-географического объекта. По существу оно представляет собой зону смешения речных и черноморских вод. Для него характерна большая пространственная изменчивость солености, солевого состава, концентрации биогенных веществ.

Мелководность и внутриконтинентальное расположение моря обуславливают также большую временную изменчивость гидрологических и гидрохимических характеристик. Так, например, суточная амплитуда температуры воды в прибрежных районах может достигать нескольких градусов Цельсия, а ее многолетние изменения даже в открытых районах моря превышают 10 °С. По данным наблюдений, многолетний размах колебаний уровня составляет округленно от 2,0 (Бердянск) до 6,1 м (Таганрог). Характерной особенностью Азовского моря является «противоестественный» квазистационарный наклон уровня от района Керченского пролива в сторону вершины Таганрогского залива, вызываемый воздействиями преобладающих север-

ных, северо-восточных и восточных ветров, которые подавляют влияние стока Дона на уровень Таганрогского залива и прилегающих районов моря.

В бассейне Азовского моря интенсивно развиваются сельское хозяйство, промышленность и другие отрасли народного хозяйства, поэтому, обладая небольшими площадью и объемом вод, море испытывает значительные антропогенные нагрузки, которые отражаются прежде всего на увеличении солености и ухудшении качества вод, а также на других гидрохимических и гидрофизических показателях. Несмотря на некоторое улучшение гидрологических и гидрохимических условий после относительно многоводного периода конца 70-х — начала 80-х годов, проблема Азовского моря продолжает оставаться острой.

Таким образом, изучение гидрометеорологических и гидрохимических условий на Азовском море представляет большой практический и научный интерес.

Азовское море относится к числу наиболее изученных в гидрометеорологическом, гидрохимическом и гидробиологическом отношениях. На море имеется довольно густая сеть морских береговых станций и постов, систематически проводятся стандартные и специализированные экспедиционные исследования, по отдельным вопросам проблемы Азовского моря изданы многие сотни публикаций и отчетов. Однако комплексных, обобщающих работ, дающих представление о гидрометеорологических и гидрохимических условиях по морю в целом или по его отдельным районам, очень мало. Последнее такое капитальное издание — «Гидрометеорологический справочник Азовского моря», подготовленный Гидрометеорологической обсерваторией Черного и Азовского морей, — опубликовано в 1962 г. и содержит сведения до 1958 г. С того времени в режиме Азовского моря произошли заметные изменения, появились новые методы анализа натурных данных, разработаны усовершенствованные теоретические методы расчета гидрофизических и гидрохимических процессов и параметров. Поэтому подготовка настоящего издания монографии по гидрометеорологии и гидрохимии Азовского моря представляется весьма своевременной.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1. Краткая физико-географическая характеристика

Азовское море расположено на юге европейской части СССР, между 45°17' и 47°17' с. ш. и 34°49' и 39°18' в. д. Оно является полузамкнутым внутренним водоемом СССР, сообщаясь в его южной части с Черным морем через неглубокий Кер-

ченский пролив, и относится к системе Средиземного моря Атлантического океана.

Площадь моря составляет 39 тыс. км<sup>2</sup>, объем при среднем многолетнем уровне 290 км<sup>3</sup>, а средняя глубина его около 7 м [14]. Наибольшая длина моря от Арабатской стрелки до дельты Дона составляет 360 км, а максимальная ширина с севера на юг — 180 км.

В северо-восточной части море образует далеко вдающийся в сушу, мелководный, распресненный Таганрогский залив, а на западе сильно осолоненный мелководный залив Сиваш, отделенный от моря песчано-ракушечной пересыпью — Арабатской стрелкой — и связанный с морем проливом Тонкий.

Восточное побережье моря к югу от Бейсугского лимана представляет собой обширные плавни с большим числом лиманов, соединяющихся между собой сложной сетью протоков дельты р. Кубани.

Северная прибрежная часть моря разделена далеко вдающимися в море песчаными косами на обособленные друг от друга районы. Песчаные косы здесь вытянуты в юго-западном направлении и заканчиваются в море целым рядом песчаных отмелей.

Рельеф дна Азовского моря характеризуется выровненностью, достигнутой в результате погребения неровностей кровли континентальных верхнеплейстоценовых суглинков под толщей морских осадков (мощность 30—40 м). Только в западной части моря, в районе морских банок, и на востоке между косой Елениной и Железнодорожной банкой равнинная поверхность дна моря нарушается небольшими локальными поднятиями, которые возвышаются относительно окружающих участков на 3—4 м.

По характеру современного осадконакопления в Азовском море выделяются область интенсивной аккумуляции наносов, зона транзита материала и слабой аккумуляции и зона устойчивого размыва.

Область интенсивной аккумуляции расположена в восточной и юго-восточной частях Таганрогского залива, где осаждаются выносимый р. Доном взвешенный материал, и в центральной части Азовского моря, характеризующейся интенсивным погружением в четвертичное голоценовое время.

Область слабой аккумуляции и транзита материала соответствует зоне ветровых течений, кольцом опоясывающей море. Эта область расположена на глубине 6—10 м. Здесь взмученный волновыми движениями тонкий материал и обломки ракушек перемещаются ветровыми течениями.

Зона устойчивого размыва охватывает прибрежную полосу моря до глубины в среднем 6—7 м. В северной и западной частях она приурочена к восточным берегам аккумулятивных форм и Арабатской стрелки, в восточной части — к Ейскому полуострову, Ахтарскому и Бейсугскому лиманам. В этой зоне динамика наносов определяется формированием материала абразии за счет деятельности прибойного потока в приустьевой зоне, перемещением продуктов разрушения вдоль берега, суммарным действием прибойного потока и вдольбереговых течений, а также перемещением частиц от берега и отложением их в зоне аккумуляции. Общая площадь зоны устойчивого размыва достигает 20 % поверхности дна моря.

Особенностью современной динамики берегов Азовского моря является преобладание абразии и локальный характер аккумуляции. Размыву подвержены не только коренные берега, но и аккумулятивные формы.

Основными источниками поступления терригенного материала, формирующего донные отложения в Азовском море, являются продукты абразии берегов моря и речной аллювий. Так, в результате активно идущего абразионного разрушения берегов

в море ежегодно поступает 16—17 млн. т терригенного материала. Речной аллювий поступает со стока рек Дона и Кубани, а также рек северного побережья моря. Объем ежегодно вносимого реками седиментационного материала составляет около 19 млн. т [26, 87].

Донные отложения в основном представлены глинистым илом, алевритовым илом, илистым песком и песком. Пески в Азовском море распространены до глубины 7 м. У западного побережья пески ограничены изобатой 4—5 м, а у восточного — глубинами до 2 м. Глинистые илы (фракция менее 0,01 мм) имеют наибольшее распространение. Они занимают почти всю центральную часть моря, область с глубинами более 9—10 м. Остальную часть дна моря занимает алевритовый ил.

В Азовское море впадают две крупные реки — Дон и Кубань, — а также около 20 небольших рек, значительная часть которых стекает с северного берега. Дон, впадающий с северо-востока, в нижнем течении образует небольшую многорукавную дельту, площадь которой 540 км<sup>2</sup>. Устье Кубани, расположенное в юго-восточной части моря, представляет собой обширную двухрукавную дельту, площадь которой равна 4300 км<sup>2</sup>. Средний суммарный сток Дона и Кубани после его зарегулирования составляет 28 км<sup>3</sup>/год.

Климат Азовского моря относится к континентальному климату умеренных широт. Для него характерна умеренно мягкая, короткая зима и теплое продолжительное лето.

Сезонные изменения погоды на Азовском море формируются под влиянием крупномасштабных синоптических процессов. В осенне-зимнее время на Азовское море воздействует отрог сибирского антициклона. Это обуславливает ярко выраженное преобладание северо-восточных и восточных ветров со средней скоростью 4—7 м/с. Усиление интенсивности этого отрога вызывает сильные, до штормовых, ветры, сопровождающиеся резким похолоданием. Среднемесячная температура воздуха в январе составляет —2... —5 °С, однако во время северных и северо-восточных штормов она понижается до —25 °С и ниже. В весенне-летнее время на Азовское море воздействует отрог азорского максимума. Для этого периода характерно преобладание маловетренной, безоблачной и теплой погоды. Ветры неустойчивы по направлению, их скорость незначительна (3—5 м/с). Часто наблюдается полный штиль. Весной над морем наблюдаются средиземноморские циклоны, которые сопровождаются юго-западными ветрами со скоростью 4—6 м/с. Прохождение атмосферных фронтов вызывает грозы и кратковременные ливни. Летом воздух над морем сильно прогревается, в июле среднемесячная температура воздуха равна 23—25 °С.

Средние месячные изотермы холодного периода года вытянуты зонально. В теплый период распределение температуры воздуха над морем существенно иное. Летом (июнь—август) поле средних месячных температур воздуха весьма однородно. В переходные сезоны изотермы над морем имеют вид замкнутых колец. В апреле—мае минимальная температура воздуха отмечается над центральной частью моря и возрастает к побережью. В сентябре—октябре распределение температуры обратное. Максимальная (до 43 °С) температура



воздуха отмечается в июле—августе, минимальная (до  $-33^{\circ}\text{C}$ ) — в январе—феврале. Средняя месячная температура меняется от  $-1...-5^{\circ}\text{C}$  в январе—феврале до  $23-24^{\circ}\text{C}$  в июле—августе.

В суточном ходе температуры воздуха отмечается один максимум в середине дня и один минимум перед восходом Солнца. Максимум суточных колебаний температуры воздуха (до  $10^{\circ}\text{C}$ ) наблюдался в июле—августе на северо-восточном побережье моря.

Морозный период обычно продолжается с декабря по март и сопровождается частыми оттепелями. Число дней с отрицательной температурой воздуха составляет округленно 105—110 сут в северной части и 75—80 сут в южной. Продолжительность безморозного периода изменяется от 200 сут в северной части до 300 сут в южной.

В среднем за многолетний период на поверхность Азовского моря выпадает 418 мм осадков в год [52]. Распределение осадков по акватории моря неравномерное. Наибольшее количество выпадает в северо-восточном (Таганрогский залив) и восточном (Приморско-Ахтарск) районах моря. При этом в течение всего года количество осадков, выпадающих на побережье, превышает количество осадков, выпадающих на поверхность моря.

В сезонном ходе количества осадков выделяется зимний максимум, составляющий 28—39 % от годового количества, и летний (июнь—июль) максимум, составляющий 21—29 %. Летние осадки имеют наименьшую повторяемость, а зимние наибольшую. Средняя интенсивность летних осадков в 3—4 раза больше зимних.

В распределении осадков над морем по сезонам года прослеживаются следующие особенности: с апреля по октябрь наименьшее количество выпадает в центральных районах моря, с ноября по март меньше всего осадков наблюдается в западном и юго-западном районах моря.

Крупные аномалии осадков носят локальный характер и в основном относятся к летним ливневым осадкам. Ливни наблюдаются сравнительно редко и в среднем составляют около 20—25 % числа дней с осадками.

Твердые осадки на побережье Азовского моря могут наблюдаться с октября по апрель. Снежный покров на побережье устанавливается с декабря по март. В среднем снежный покров в южных районах побережья сохраняется в течение 20—30 дней, а в северных — 50—70 дней и может достигать толщины 50 см.

Гидролого-гидрохимический режим моря формируется под воздействием речного стока, водообмена с Черным морем и климатических факторов. Существенную роль играет также мелководность моря. Избыток пресных вод (речной сток плюс осадки), ограниченное поступление черноморских вод через Керченский пролив обуславливают низкую соленость вод моря, которая примерно в 1,5 раза ниже солености черноморских вод и почти в 3 раза ниже океанских. Пространственное распределение солености характеризуется значительными горизонтальными градиентами в Таганрогском заливе, особенно в его восточной части, и на взморье Кубани, малоградиентным полем в центральной части моря и повышенной соленостью в районе, прилегающем к Керченскому проливу.

Вследствие малого объема моря и большой вре-

менной изменчивости речного стока межгодовые изменения солености могут достигать 1 ‰ и более, а многолетние — свыше 4 ‰.

Благодаря большому количеству поступающей солнечной радиации Азовское море имеет довольно высокую среднюю годовую температуру воды  $11,5^{\circ}\text{C}$ . В июле—августе температура воды достигает  $24-25^{\circ}\text{C}$ , а у берегов может превышать  $30^{\circ}\text{C}$ . Зимой температура воды равна или близка к точке замерзания. В периоды наибольшего охлаждения (январь—февраль) и наибольшего прогревания (июль—август) поля температуры воды мало контрастны. В весенний переходный сезон (апрель—май) вследствие влияния глубин на прогревание воды ее температура заметно повышается от центральных районов моря к прибрежным. Осенью (октябрь—ноябрь) вследствие разностей теплозапасов на различных глубинах отмечается обратная картина — температура воды понижается от открытого моря к прибрежным районам. Интенсивное ветро-волновое перемешивание вод при малых глубинах моря способствует выравниванию температур от поверхности до дна. Перепад температур во всей толще воды в среднем не превышает  $1^{\circ}\text{C}$ .

Лед на Азовском море появляется ежегодно. Ледовые фазы отличаются большим непостоянством во времени и пространстве. Так, самое раннее появление начальных видов льда в Таганрогском заливе отмечалось в конце октября, а в Керченском проливе — в конце декабря. Самое позднее очищение ото льда происходит сначала в прибрежных районах северной части моря, Темрюкском заливе и Керченском проливе (3-я декада апреля), затем в юго-западной части моря, куда господствующими ветрами сгоняется плавучий лед (начало мая). В суровые зимы большую часть ледового сезона море покрыто сплошным или очень сплоченным плавучим льдом. В мягкие зимы большая часть открытого моря обычно остается свободной ото льда и лишь в феврале покрывается плавучим льдом сплоченностью 7—8 баллов.

Бассейн Азовского моря (его площадь более 500 тыс. км<sup>2</sup>) имеет важнейшее народнохозяйственное значение. Раньше море славилось высокими уловами рыбы. Общие удельные уловы составляли 50—60 ц/км<sup>2</sup>. Около трети уловов приходилось на ценные виды рыб (осетровые, судак, лещ, сельдь, тарань, рыбец и др.). В отдельные годы уловы достигали 250 тыс. т. Высокая рыбопродуктивность моря обуславливалась благоприятными природными факторами: пониженная соленость вод, высокая концентрация биогенных веществ, интенсивное образование первичной продукции.

Зарегулирование стока рек Дона и Кубани, увеличение безвозвратного водопотребления, наложившееся на естественный маловодный период 1972—1976 гг., и связанное с этим сокращение нерестилищ, повышение солености моря привели к резкому сокращению уловов ценных видов рыбы (до 3 % от общего вылова).

Кроме того, территория бассейна Азовского моря является важнейшей угольной и металлургической базой страны. Здесь расположены Донецкий каменноугольный бассейн, Керченский железорудный бассейн и др. К морю прилегают важнейшие сельскохозяйственные районы страны, поставляющие продукты животноводства и земледелия.

Наиболее крупными портами моря являются Ростов-на-Дону, Керчь, Мариуполь, Таганрог. Благодаря выгодному положению этого бассейна внутри страны каботажные перевозки здесь играют важную роль в общесоюзной экономике.

Залив Сиваш является источником добычи ценного химического сырья.

Акватория и берега Азовского моря используются для лечебно-курортных и рекреационных целей. Здесь располагаются известные курорты Ейска, Бердянска, Мариуполя, Кирилловки.

## 1.2. Краткие сведения о гидрометеорологической и гидрохимической изученности Азовского моря

Азовское море следует отнести к разряду наиболее изученных морей СССР. Библиография по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам Азовского моря насчитывает несколько сотен наименований.

Географическое положение и хозяйственное значение моря определили потребности и возможности интенсивного изучения его гидрометеорологического режима, изучение отдельных элементов которого началось уже во второй половине прошлого столетия.

Развитие натурных (экспериментальных) исследований гидрометеорологического режима моря шло по пути организации гидрометстанций и постов на побережье моря. Информация о гидрологических условиях в открытой части моря поступала как попутная с судов различного назначения. Лишь в конце прошлого столетия и в начале нынешнего Ф. Ф. Врангелем (1873 г.), а позже Н. И. Андрусовым, И. Б. Шпиндлером (1890—1891 гг.) и Л. В. Антоновым (1913 г.) были организованы специальные экспедиционные исследования гидрологии открытой части моря. Однако эти исследования, несмотря на всю их ценность, носили эпизодический характер и позволяли осветить лишь конкретные условия в период проведения этих работ. Результаты опубликованы в [11, 12, 32, 33].

Более планомерный характер гидрометеорологические исследования приобрели в начале 20-х годов. Особенно ценными были работы Азово-Черноморской научно-промышленной экспедиции (1922—1928 гг.) под руководством Н. М. Книповича, многолетние наблюдения которой позволили составить представление о режиме метеорологических и гидрологических характеристик как прибрежных районов, так и открытой части моря. Результаты этих работ изложены в [47, 48].

В 1928—1932 гг. регулярные экспедиционные работы проводились Азово-Черноморской рыбохозяйственной станцией. С 1932 г. эти работы были продолжены Азово-Черноморским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (АзЧерНИРО), который был создан на базе рыбохозяйственной станции (к сожалению, данные с 1936 по 1941 г. утрачены). В послевоенный период с 1947 г. АзЧерНИРО возобновил экспедиционные работы, в которых наряду с гидрологическими характеристиками исследовались и гидрохимические (хлор, кислород, фосфаты, азот, кремний, окисляемость). Материалы помещались в ежегодниках Бассейновой гидрометеорологической обсерватории Черного и Азовского морей (БГМО ЧАМ),

которая координировала все исследования на Азовском море.

С 1958 г. большой объем гидрохимических исследований выполняется АзНИИРХ.

Организация сети морских гидрометеорологических станций и системы стандартных гидрологических разрезов ГУГМС (1936 г.), которая включила впоследствии гидрометстанции и других ведомств, послужила фундаментом для сбора унифицированной массовой информации, необходимой для планомерного исследования гидрометеорологического режима Азовского моря.

Число гидрометстанций и постов на побережье Азовского моря в процессе исследования его режима и по мере определения их репрезентативности изменялось. В настоящее время на море действует 11 гидрометстанций и 9 гидрометпостов; это число считается достаточным для получения необходимой информации для исследования режима моря в свете современных представлений о его динамике (табл. 1.1).

Для сбора сведений о режиме открытой части моря имеется сеть из 60 «вековых» гидрологических станций, расположенных на шести гидрологических разрезах, выполняемых один раз в сезон (рис. 1.1). Для контроля за состоянием загрязнения вод в рамках ОГСНК на Азовском море создана сеть из 20 станций.

Кроме этих, регулярно выполняемых станций выполняются целевые экспедиционные работы, направленные на уточнение ряда аспектов гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов моря.

Значительный объем экспедиционных работ выполняется организациями Министерства рыбного хозяйства СССР. В частности, АзНИИРХ в последнее время ежегодно производит четыре сезонных гидролого-гидрохимических съемки. Вся информация по режиму моря концентрируется во ВНИИГМИ—МЦД.

На всех этапах гидрометеорологические и гидрохимические исследования проводились преимущественно в интересах рыбного хозяйства и мореплавания. Наиболее фундаментальную работу по систематизации и обобщению натурной информации,

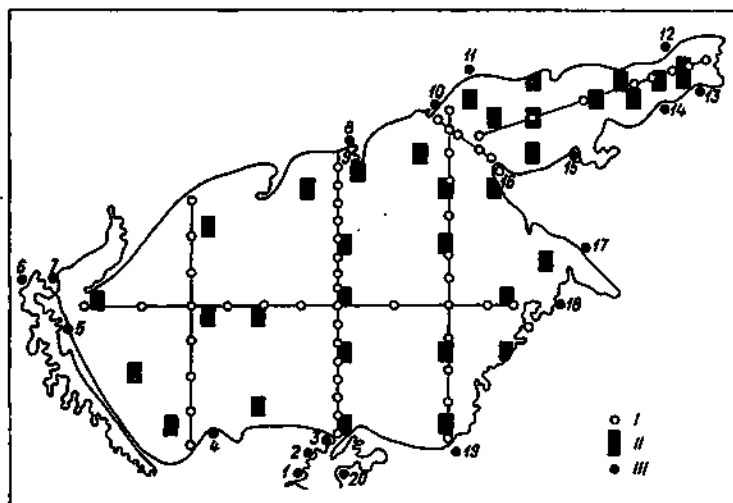


Рис. 1.1. Сеть вековых гидрологических станций Госкомгидромета СССР (I) и районы гидролого-гидрохимических съемок АзНИИРХ (II).

III — прибрежные пункты.

Список морских береговых станций и постов, действовавших в 1980 г.

| № по схеме<br>(рис. 1.1) | Название станции<br>(поста) | Разряд<br>станции<br>(поста) | Отметка нуля поста,<br>система высот                      | Поправка<br>для приведе-<br>ния к един-<br>му нулю моря,<br>см | Состав наблюдений                                                                      | Форма и место<br>хранения мате-<br>риалов |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1                        | Заветное                    | МГП-I                        | —5,000 м БС                                               | 385                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, лед                                                 | Микрофильмы                               |
| 2                        | Керчь                       | МГП-I                        | —5,000 м БС                                               | 360                                                            | То же                                                                                  | г. Обнинск                                |
| 3                        | Опасное                     | МГ-I                         | —5,000 м БС                                               | 158                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, волнение, лед                            | ВНИИГМИ—<br>МЦД                           |
| 4                        | Мысовое                     | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 189                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, лед                                      | Таблицы                                   |
| 5                        | Стрелковое                  | МГП-III                      |                                                           |                                                                | Температура воды, лед                                                                  | ТГМ-1, ТГМ-7                              |
| 6                        | Чонгарский мост             | МГП-I                        | —5,000 м БС                                               | 356                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, лед                                      | ТГМ-2                                     |
| 7                        | Геничск                     | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 352                                                            | То же                                                                                  | г. Севастополь                            |
| 8                        | Бердянск                    | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 345                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, волнение, лед                            | СО ГОИН                                   |
| 9                        | Бердянская коса             | МГП-III                      |                                                           |                                                                | Температура воды, лед                                                                  |                                           |
| 10                       | Белосарайская<br>коса       |                              | Пост I разряда открыт с 1 августа, подчинен МГС Марнуполь |                                                                |                                                                                        |                                           |
| 11                       | Марнуполь                   | МГ-I                         | —5,000 м БС                                               | 273                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, волнение, лед                            |                                           |
| 12                       | Таганрог                    | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 102                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, лед                                      |                                           |
| 13                       | Очаковская коса             | МГП-I                        | —5,000 м БС                                               | 308                                                            | То же                                                                                  |                                           |
| 14                       | Маргаритово                 | МГП-III                      |                                                           |                                                                | Температура воды, лед                                                                  |                                           |
| 15                       | Ейск                        | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 270                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, волнение<br>Лед (2 района)               |                                           |
| 16                       | Ясенская пере-<br>права     | МГП-I                        | —5,000 м БС                                               | 291                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, лед (2 района)                                      |                                           |
| 17                       | Должанская                  | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 326                                                            | Уровень моря (IV—XII), тем-<br>пература воды, соленость, вол-<br>нение, лед (2 района) |                                           |
| 18                       | Приморско-Ах-<br>тарск      | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | Ф <sub>1</sub> 494,<br>Ф <sub>2</sub> 296                      | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, волнение<br>Лед (2 района)               |                                           |
| 19                       | Темрюк (КУС)*               | УС                           | —5,000 м БС                                               | 364                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, лед                                      |                                           |
| 20                       | Тамань                      | МГ-II                        | —5,000 м БС                                               | 361                                                            | Уровень моря, температура<br>воды, соленость, волнение, лед                            |                                           |

\* КУС — Кубанская устьевая станция.

накопленной за период до 1955 г., провела БГМО ЧАМ. Работа завершилась выходом в свет капитального труда «Гидрометеорологический справочник Азовского моря» [40]. При подготовке справочника были использованы основные имеющиеся к тому времени литературные и другие источники по исследованию элементов гидрологического, гидрохимического и метеорологического режимов Азовского моря.

В этой работе в основном освещены все аспекты гидрометеорологического режима Азовского моря в естественных условиях с необходимой для практического использования завершенностью обобщающих выводов и физических закономерностей.

В последние десятилетия научные и практические организации все большее внимание стали уделять исследованиям современных и ожидаемых антропогенных изменений гидрологических и гидрохимических условий моря, включая химическое загрязнение вод.

В связи с предполагаемым строительством Цимлянского водохранилища появилась необходимость в прогнозе возможных изменений гидрологического и гидрохимического режимов. Этому вопросу посвящено много работ. Наиболее важные

принадлежат П. П. Воронкову и А. И. Свисташеву [31], В. С. Самойленко [66], А. А. Аксенову [1, 2].

После зарегулирования стока Дона основным направлением исследования режима Азовского моря стало определение закономерностей изменения гидрологических и гидрохимических условий, вызванных сокращением и сезонным перераспределением речного стока. Наиболее крупной сводкой посвященных этому вопросу работ БГМО ЧАМ, АзНИИРХ и АзЧерНИРО является том I Трудов АзНИИРХ за 1960 г.

Интенсивное развитие народного хозяйства в бассейне Азовского моря в послевоенный период (строительство водохранилищ, орошаемое земледелие, развитие водоемких отраслей промышленности и др.) привело к заметному нарушению стабильности гидрологического, гидрохимического режима моря и его экосистемы.

Вследствие необходимости прогнозирования развития отраслей народного хозяйства без существенных отрицательных антропогенных изменений гидрологических и гидрохимических условий Азовского моря были проведены специальные исследования, результаты которых опубликованы в ряде работ, а также использованы в проработках про-

ектных организаций при строительстве гидротехнических сооружений для нормализации водоснабжения южных районов европейской части СССР и регулирования режима Азовского моря.

Наиболее ощутимым результатом антропогенного воздействия на режим Азовского моря явилось повышение солености его вод.

Современному состоянию и оценке возможных изменений солености вод Азовского моря посвящено значительное число работ. Наиболее обстоятельными являются работы А. П. Цуриковой и Е. Ф. Шульгиной [87], А. И. Симонова [68], Э. Н. Альтмана [5, 6], А. М. Бронфмана [21, 22], Н. В. Смоляковой и И. А. Шлыгина [73].

Антропогенное воздействие, выразившееся в существенном сокращении объема речного стока и росте его минерализации, привело к изменениям водного и солевого балансов моря.

Исследованию современных и возможных изменений гидрологических и гидрохимических условий Азовского моря под влиянием естественных и антропогенных факторов посвящены работы [3, 13, 27, 58 и др.]. В этих работах при одинаковой их направленности проводилось усовершенствование методов анализа гидрометеорологического и гидрохимического режимов Азовского моря, а также детализация представленной информации, как это сделано С. С. Ремизовой [60, 61].

Изменение гидрохимического режима привело к резкому снижению уникальной рыбопродуктивности Азовского моря. Значительные работы по исследованию этой проблемы и разработке мер для восстановления экосистемы Азовского моря проведены АЗНИИРХ и ВНИРО [23, 24, 52].

Вопросам предотвращения отрицательных по-

следствий антропогенного влияния на режим Азовского моря и его отдельных районов посвящены работы [56, 92, 93]. В них рассматриваются пути оптимизации гидрохимического режима Азовского моря с помощью различных гидротехнических сооружений.

Для разработки обоснованных прогнозов изменений экосистемы Азовского моря при различных вариантах развития народного хозяйства в его бассейне использовались также методы математического моделирования, позволяющие проводить многовариантные расчеты с целью выбора оптимального решения, в частности имитационная модель экосистемы Азовского моря [28, 30].

Из обобщающих работ, посвященных характеристикам, менее подверженным антропогенным изменениям (температура, ледовый режим, волнение, течения и др.), следует выделить работы Л. Б. Славина [72], Ю. И. Синюрина [69, 70], В. Х. Германа [34, 36], Л. С. Лабунской [51], В. П. Белова и Ю. Г. Филиппова [18, 19].

Современные методы обработки гидрометеорологических данных, объем накопленной информации, разработанные новые теоретические представления о процессах, протекающих в водах Азовского моря в связи с интенсивным антропогенным воздействием, а также повышенные требования народнохозяйственных организаций к информации сделали необходимым создание нового обобщающего научно-справочного пособия, в которое были бы включены сведения об изменении гидрологического и гидрохимического режимов, а также оценки возможных долгосрочных изменений, разработанные на основании новых экспериментальных и теоретических исследований.

## 2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

### 2.1. Общая характеристика климата

Для климата Азовского моря характерны очень теплое лето и умеренно мягкая пасмурная зима. Поскольку море расположено на южной периферии умеренных широт, ведущую роль в формировании климата моря играет радиационный фактор. Годовое количество суммарной радиации составляет 4850 МДж/м<sup>2</sup> в Таганрогском заливе и увеличивается до 5250 МДж/м<sup>2</sup> в Темрюкском заливе. Только четверть этой суммы составляет рассеянная, основное же количество приходится на долю прямой радиации. Изолинии суммарной радиации располагаются зонально, а ее значения растут в направлении с севера на юг. Наибольшее количество поглощенной радиации приходится на центральный и юго-восточный районы моря — 4300 МДж/м<sup>2</sup>. Годовой ход как суммарной, так и поглощенной радиации имеет максимум в июле и минимум в декабре. Радиационный баланс в целом за год больше нуля и имеет максимум в центральном районе моря (2700 МДж/м<sup>2</sup>), несколько уменьшаясь к берегам. В осенне-зимний период радиационный баланс отрицателен, однако его величина незначительна. Тепловой баланс в среднем за год больше нуля в центральной части моря и меньше нуля в прибрежной мелководной части моря и Таганрогском заливе. Период положительного теплового баланса для Таганрогского залива со-

ставляет около 3 мес, увеличиваясь к центру моря до 5—5,5 мес.

Помимо радиационного фактора важную роль в формировании климата Азовского моря играет циркуляция атмосферы, обеспечивающая вынос в рассматриваемый район морских воздушных масс с Атлантики и арктических морей и континентальных масс воздуха с обширных районов Евразии. Характерной особенностью атмосферной циркуляции в районе Азовского моря является ослабление циклонической деятельности и усиление антициклонической при общем уменьшении интенсивности атмосферных процессов по сравнению с центральными районами европейской части СССР. Сезонные особенности циркуляции атмосферы выражаются в том, что на район Азовского моря летом влияет сибирский антициклон (восточное воздействие) при увеличении интенсивности межширотного обмена воздуха в холодный период. С циркуляцией атмосферы тесно связаны ветер и атмосферное давление. Последнее имеет максимум в январе (1020 гПа) и минимум в июле (1010 гПа). По данным береговых гидрометстанций, среднегодовая скорость ветра составляет 4,5—6,4 м/с и возрастает до 7,5 м/с в центральном районе моря. По всему Азовскому морю преобладают северо-восточные и восточные ветры. Однако летом в связи с ослаблением сибирского антициклона и усилением азовского значительно увеличивается доля

северных и западных ветров. Сезонный ход скорости ветра связан с ослаблением в теплый период циклонической деятельности и усилением ее в холодный. Минимум скорости ветра приходится на июль—август, максимум — на декабрь—март. Годовая амплитуда на прибрежных гидрометеостанциях составляет 1,0—1,5 м/с, возрастая в открытом море до 2,0 м/с. В теплый период года может развиваться бризовая циркуляция, охватывающая прибрежную зону шириной 30—40 км.

Среднегодовая температура воздуха составляет 9 °С в Таганрогском заливе и увеличивается до 11 °С в южной части моря. Изотермы расположены зонально. Сезонный ход температуры воздуха близок к синусоиде с максимумом в июле (24 °С в южном районе, 23 °С в северном) и минимумом в январе (−0,6 и −5,3 °С соответственно). Экстремальные температуры воздуха на северном побережье составляют 40 и −32 °С; на южном побережье 37 и −29 °С. Большой максимум для северного побережья объясняется большей континентальностью его климата по сравнению с климатом южного побережья. Число дней с температурой ниже нуля равно 109 в вершине Таганрогского залива и уменьшается до 48 в Керчи.

Парциальное давление водяного пара пропорционально температуре воздуха: чем выше температура воздуха, тем больше водяного пара может содержаться в нем. Парциальное давление увеличивается в среднем за год с 10 гПа в Таганрогском заливе до 12 гПа в южной части моря. Максимум в годовом ходе для центрального района моря составляет 20,5 гПа и приходится на июль, минимум — 4,5 гПа — на февраль. Годовой ход относительной влажности обратен годовому ходу парциального давления водяного пара. Воздух наиболее близок к насыщению в период с декабря по апрель (80—95 %). Минимальные значения относительной влажности (60—67 %) наблюдаются на побережье в период с июня по август, в открытом море (65—75 %) — с июля по сентябрь.

Повторяемость ясного состояния неба минимальна в декабре—феврале и больше 50 % с июля по сентябрь. Повторяемость пасмурного состояния неба в среднем за год выше повторяемости ясного. В годовом ходе она имеет максимум в декабре—феврале (до 81 %) и минимум в июле—августе (до 25 %). Зимой над Азовским морем преобладают низкие слоистые облака, весной облачность верхнего и среднего ярусов, летом облачность среднего яруса и кучевая облачность. Осенью снова увеличивается повторяемость низкой слоистой облачности. В соответствии с этим летом преобладают ливневые осадки, зимой — обложные. В среднем за год на поверхность Азовского моря выпадает до 418 мм осадков. Годовой ход количества осадков имеет главный зимний максимум, когда в разных районах моря выпадает от 29 до 38 % годовой суммы осадков, и вторичный летний максимум, обусловленный высокой интенсивностью ливневых осадков. Среднемесячные суммы осадков могут в 5—7 раз превышать норму. В отдельные месяцы осадков может не быть или их сумма составляет менее 5 мм. Среднегодовые суммы могут превышать норму в 1,5—2 раза или быть в 2—3 раза меньше ее.

Туманы обычно охватывают все Азовское море, но наиболее велика их повторяемость в Таганрог-

ском заливе. В среднем за год на восточном побережье бывает 33 дня с туманом, на северном побережье — до 54 дней. Повторяемость туманов зимой значительно выше, чем летом. Метели наблюдаются с ноября по апрель. Наиболее продолжительны они в январе—феврале. Даже очень сильные метели редко охватывают всю акваторию моря. Пыльные бури на северном побережье Азовского моря отмечаются с марта по сентябрь. Исключительно редко они бывают и в зимние месяцы. Наиболее сильные бури наблюдаются весной при восточных и юго-восточных ветрах. Продолжительность пыльных бурь невелика, но изредка может достигать нескольких суток. Грозы, град и смерчи наблюдаются с мая по сентябрь и связаны с активизацией конвективной деятельности в теплый период года.

Влияние Азовского моря на температурный режим окружающей территории невелико и простирается на расстояние 90—120 км от побережья.

## 2.2. Радиационные факторы климата

Расчет составляющих радиационного баланса проводился по методике, разработанной в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) [60] с использованием среднемесячных климатических данных.

В формировании радиационного климата Азовского моря большое значение играет не только общее количество поступающей солнечной радиации, но и отражательные свойства поверхности, а также циркуляция атмосферы.

Солнечная радиация является главным источником энергии почти для всех процессов в природе. Приходящая к земной поверхности суммарная радиация  $Q_0$  состоит из двух потоков: прямой солнечной радиации  $S$  и рассеянной радиации  $D$ . При взаимодействии с поверхностью часть радиации поглощается ею ( $R_+$ ), а часть отражается ( $r$ ) обратно в атмосферу. При нагревании поверхности сама начинает излучать энергию. Потеря энергии за счет излучения поверхности частично компенсируется противоишлучением атмосферы. Разность этих потоков называется эффективным излучением  $I_{эф}$ . Тогда радиационный баланс поверхности  $R$  может быть представлен в следующем виде:

$$R = Q(1 - A) - I_{эф}, \quad (2.1)$$

где  $A$  — отношение отраженной радиации  $r$  к суммарной  $Q_0$ , характеризующее отражательную способность поверхности и называемое альбедо поверхности.

Напряжение прямой солнечной радиации  $S$ , ее суточные, месячные и годовые суммы зависят главным образом от высоты солнца над горизонтом, продолжительности дня и облачности. Заметное влияние на ход прямой солнечной радиации оказывает помутнение атмосферы. Продолжительность дня и высота солнца обуславливают широтное распределение прямой солнечной радиации, а также ее суточный и годовой ход. Облачность нарушает широтную зональность распределения прямой солнечной радиации. Месячные суммы прямой солнечной радиации плавно изменяются от 540—600 МДж/м<sup>2</sup> в июле до 60—100 МДж/м<sup>2</sup> в декабре. Годовая сумма лежит в пределах 3600—3900 МДж/м<sup>2</sup>. Месячные суммы прямой солнечной

радиации отдельных лет могут отличаться от норм летом на 25—50 %, зимой на 50—150 %. Изменения годовых сумм от года к году обычно не превышают 10—15 % нормы.

Рассеянная радиация приходит к месту наблюдения ото всех точек небесного свода. В безоблачные дни распределение рассеянной радиации зависит от широты местности и прозрачности атмосферы. В суточном ходе максимум рассеянной радиации приходится на околополуденные часы, а в годовом — на летние месяцы. Большое влияние на приход рассеянной радиации оказывает облачность. Для Азовского моря рассеянная радиация достигает максимума в июне—июле (140—150 МДж/м<sup>2</sup> за 1 мес). Минимум приходится на декабрь и составляет 25—45 МДж/м<sup>2</sup>. За год приход рассеянной радиации составляет 1200—1400 МДж/м<sup>2</sup>.

В целом за год прямая радиация составляет большую часть суммарной радиации. Суммарная радиация на той же широте в восточной части Азовского моря несколько больше чем в западной, за исключением Таганрогского залива (рис. 2.1). Это объясняется несколько большей повторяемостью пасмурных дней на западе в осенне-зимний период и большей повторяемостью ясных дней в течение значительной части года на востоке. Годовые значения суммарной радиации изменяются от 4850 МДж/м<sup>2</sup> в вершине Таганрогского залива до 5250 МДж/м<sup>2</sup> на юго-востоке моря (Темрюкский залив). В сезонном ходе она имеет минимум в декабре и максимум — в июне—июле (рис. 2.2). Кривая годового хода суммарной радиации практически симметрична относительно конца июня — начала августа, хотя можно отметить наиболее крутой подъем ее от апреля к маю. Схематические карты пространственного распределения суммарной радиации для характерных месяцев представлены на рис. 2.3.\*

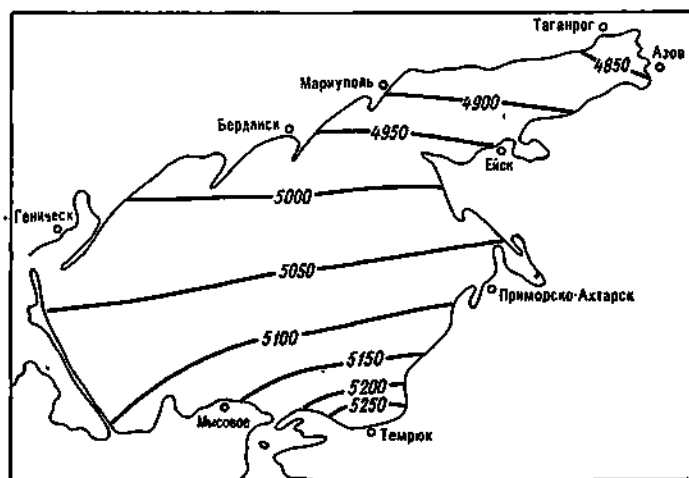


Рис. 2.1. Суммарная за год радиация (МДж/м<sup>2</sup>).

В декабре (рис. 2.3 а) значения радиации изменяются округленно от 80 до 150 МДж/м<sup>2</sup>, их изолинии располагаются зонально. В последующие месяцы радиация возрастает и особенно резко весной. За весну она составляет около 1500 МДж/м<sup>2</sup>. Этот рост обуславливается увеличением высоты

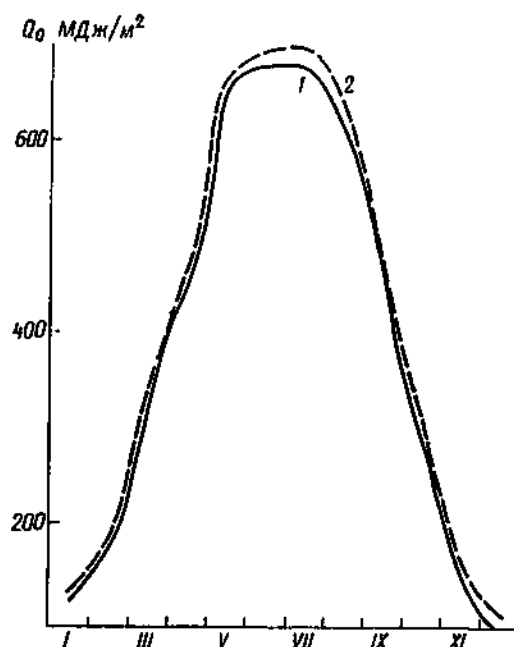


Рис. 2.2. Годовой ход суммарной солнечной радиации  $Q_0$ .

1 — Таганрогский залив, 2 — открытое море.

солнца и продолжительности дня, а также ослаблением циклонической деятельности и, следовательно, уменьшением облачности.

В этот период на распределение суммарной радиации начинают оказывать влияние бризы. Наиболее четко это влияние проявляется в мае. Благодаря бризам у берегов Азовского моря образуется относительно малооблачная зона, а на расстоянии 50—60 км от берега — зона увеличенного количества облачности. Из-за влияния бризов конфигурация изолиний суммарной солнечной радиации повторяет береговую черту. В июне—июле значения радиации изменяются по акватории моря округленно от 690 до 750 МДж/(м<sup>2</sup>·мес) (рис. 2.3 б, в). В целом за лето приход суммарной радиации в среднем составляет 2050 МДж/м<sup>2</sup> для Таганрогского залива, 2100 МДж/м<sup>2</sup> для открытого моря. В течение всего лета на распределение суммарной радиации также оказывают влияние бризы.

Осенью приход суммарной радиации снижается из-за уменьшения высоты солнца и продолжительности дня, а также из-за усиления циклонической деятельности. Суммарный поток радиации равен 920 МДж/м<sup>2</sup> в Таганрогском заливе, 960 МДж/м<sup>2</sup> в открытом море. Расположение изолиний суммарной радиации близко к зональному.

Поглощенная радиация представляет собой часть суммарной радиации и сильно зависит от альбедо подстилающей поверхности. Ледовый покров увеличивает альбедо, уменьшая таким образом количество поглощенной радиации. Альбедо изменяется от максимальных значений (40—50 %) зимой до минимальных (10—12 %) летом.

На период с апреля по сентябрь приходится около 80 % годовой суммы поглощенной радиации с максимумом в июле, когда эта величина в Таганрогском заливе составляет 660 МДж/м<sup>2</sup>, а в открытом море 690 МДж/м<sup>2</sup>. Минимум поглощенной радиации отмечается в декабре—январе и состав-

\* Такие карты построены для всех месяцев года и находятся в научном фонде ГОИН.



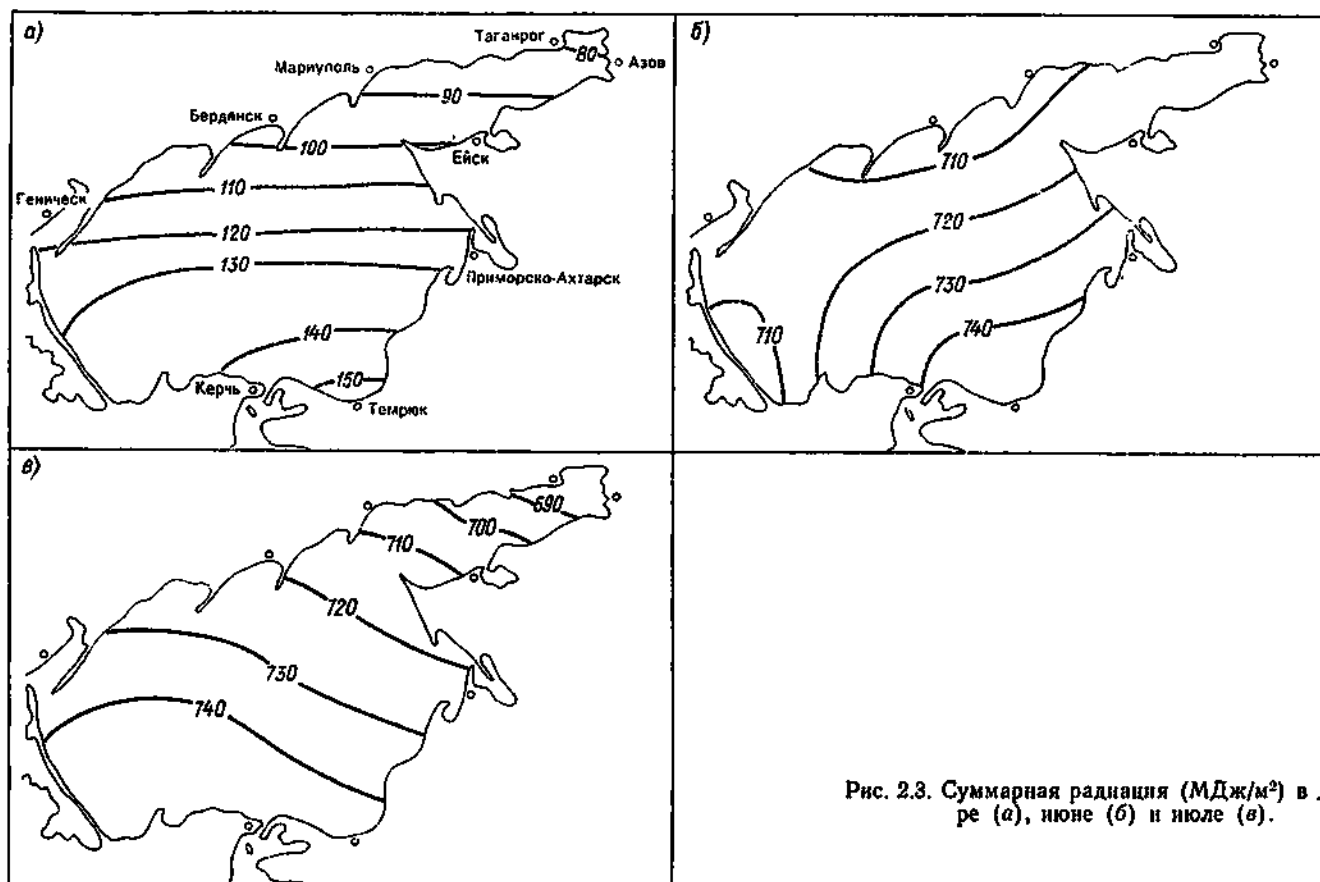


Рис. 2.3. Суммарная радиация (МДж/м²) в декабре (а), июне (б) и июле (в).

ляет 55 МДж/м² в Таганрогском заливе, 75 МДж/м² в открытом море (рис. 2.4), максимум — в июле (рис. 2.4 в). Пространственные изменения среднегодовых сумм тепла невелики (рис. 2.4 д). Максимальная сумма за год отмечается в центральной и юго-восточной частях (4200—4300 МДж/м²), уменьшается в юго-западной части моря (до 4100—4200 МДж/м²) и на востоке Таганрогского залива (до 3800—4000 МДж/м²). Меньшее количество тепла, получаемого Таганрогским заливом, объясняется его более северным расположением и меньшим коэффициентом прозрачности атмосферы.

Годовой ход поглощенной радиации в целом совпадает с ходом суммарной солнечной радиации (рис. 2.5). Замедление роста поглощенной радиации с мая по июль объясняется некоторым усилением циклонической деятельности в это время (в основном за счет местных циклонов).

Эффективное излучение представляет собой разность между излучением Земли, направленным вверх, и противонизлучением атмосферы, направленным вниз. Обычно излучение Земли больше противонизлучения атмосферы. Поэтому эффективное излучение характеризует то количество тепла, которое подстилающая поверхность теряет вследствие излучения. На эффективное излучение сильное влияние оказывают изменения облачности, влажности и температуры в приземном слое, а также разности температур подстилающей поверхности и воздуха.

В течение года эффективное излучение изменяется слабо. Минимум эффективного излучения наблюдается в декабре—январе (—60...—80 МДж/м²) (рис. 2.6 а, б), максимум — в августе—сентябре (—190...—210 МДж/м²)

(рис. 2.6 в, г). Годовые величины также незначительно изменяются в пространстве (рис. 2.6 д). Минимальные значения (—1460 МДж/м²) отмечаются в восточной части Таганрогского залива и на юго-западе моря, максимальные (1590 МДж/м²) на юго-востоке моря в районе Мариуполя и Мысового.

Годовой ход эффективного излучения имеет неровный вид с резкой асимметрией: рост продолжается с декабря по август — восемь месяцев, а уменьшение — четыре месяца (рис. 2.7). Эта асимметрия вызвана фазовыми различиями между элементами, влияющими на эффективное излучение, в частности фазовыми различиями между температурами воды и воздуха.

Радиационный баланс подстилающей поверхности представляет собой разность между поглощенной радиацией и эффективным излучением и зависит от всех факторов, влияющих на ее составляющие.

Зимой радиационный баланс для открытого моря отрицателен. В декабре составляет —5...—10 МДж/м², в январе —4...—8 МДж/м², причем на юге появляется зона с положительным балансом 5—10 МДж/м². В феврале зона с отрицательным балансом еще меньше и значения баланса при этом не больше 5 МДж/м².

В восточной части Таганрогского залива в декабре радиационный баланс равен нулю. В январе в Таганрогском заливе баланс составляет —10...—20 МДж/м².

Весной радиационный баланс резко возрастает до 800 МДж/м² за сезон в Таганрогском заливе и до 900 МДж/м² за сезон в открытом море. Особенно сильно поле радиационного баланса изменя-

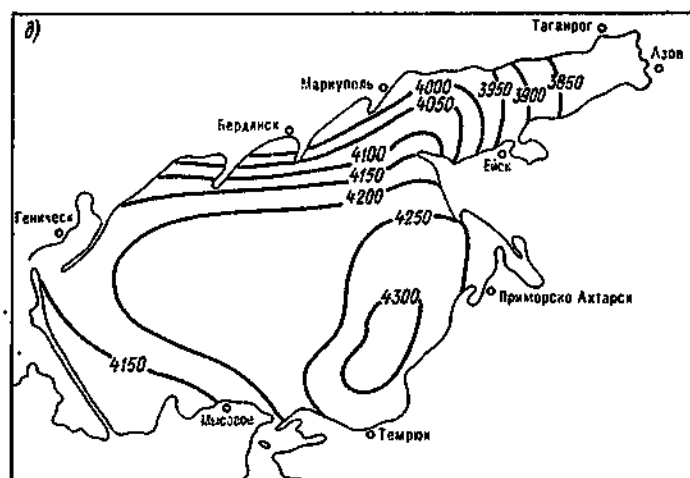
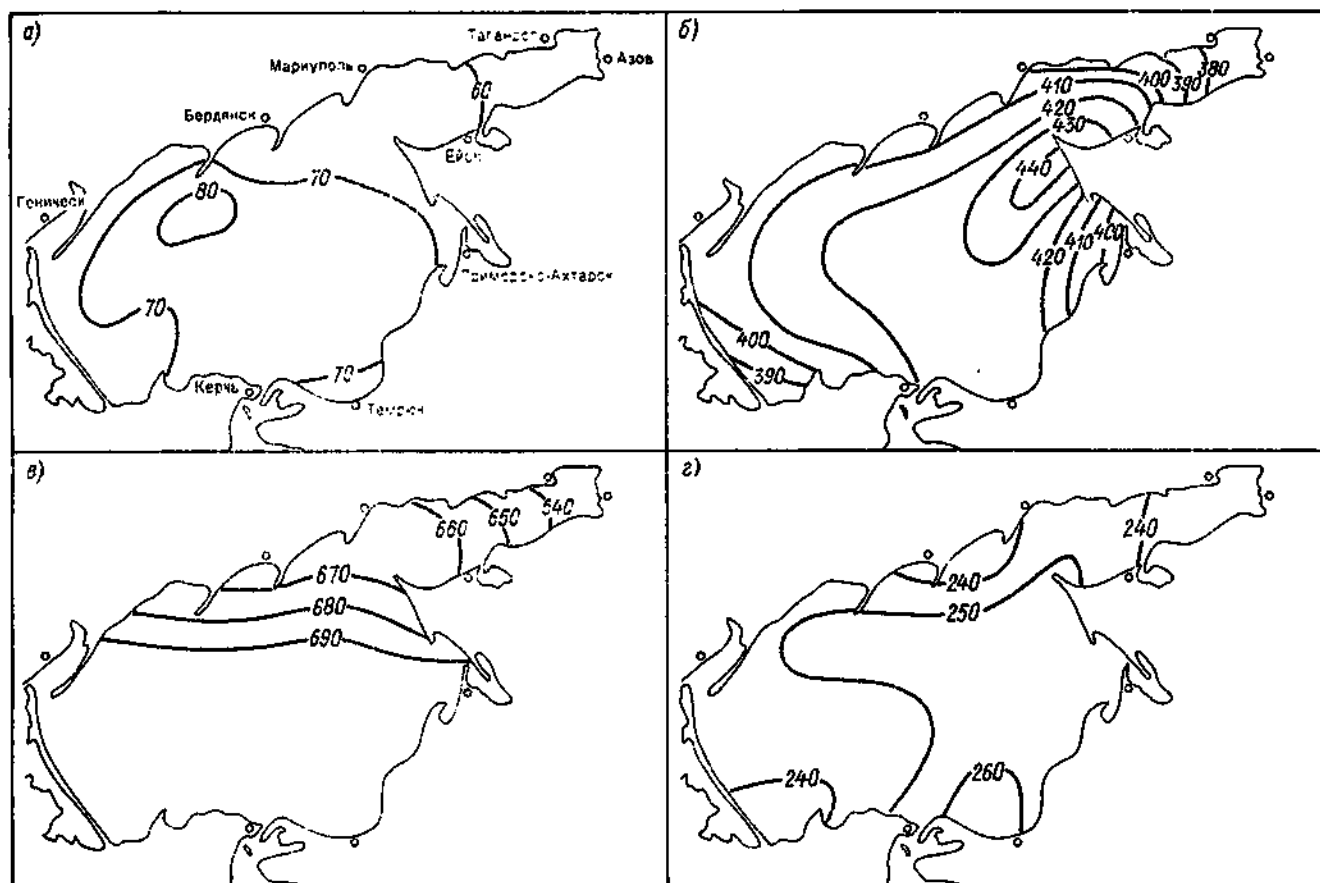


Рис. 24. Суммарная поглощенная радиация (МДж/м²) в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) и за год (д).

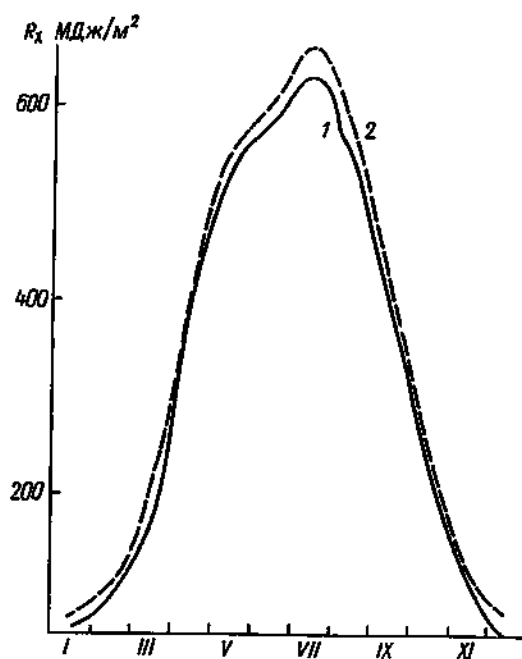


Рис. 25. Годовой ход поглощенной солнечной радиации  $R_x$ .

1 — Таганрогский залив, 2 — открытое море.

ется в марте. Контраст между северо-западными и юго-восточными районами достигает 120—150 МДж/м². Такой резкий рост радиационного баланса обуславливается ростом суммарной радиации и уменьшением альбедо за счет таяния льдов.

Летом радиационный баланс увеличивается до 1330 МДж/м² за сезон в Таганрогском заливе и до 1425 МДж/м² в открытом море. Пространственное изменение радиационного баланса мало.

Осенью радиационный баланс уменьшается и в ноябре по всему морю составляет 5—20 МДж/м². Всего за сезон приходит 350—380 МДж/м². Влияние бризов практически отсутствует. Распределение радиационного баланса по акватории Азовского моря для центральных месяцев сезона представлено на рис. 2.8. Общим для всех карт явля-

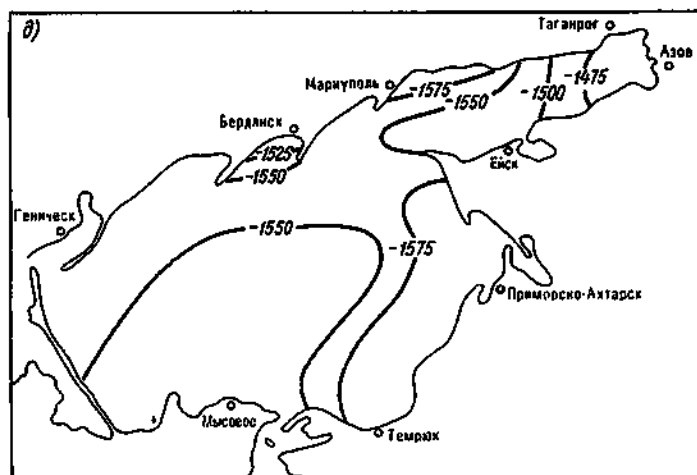
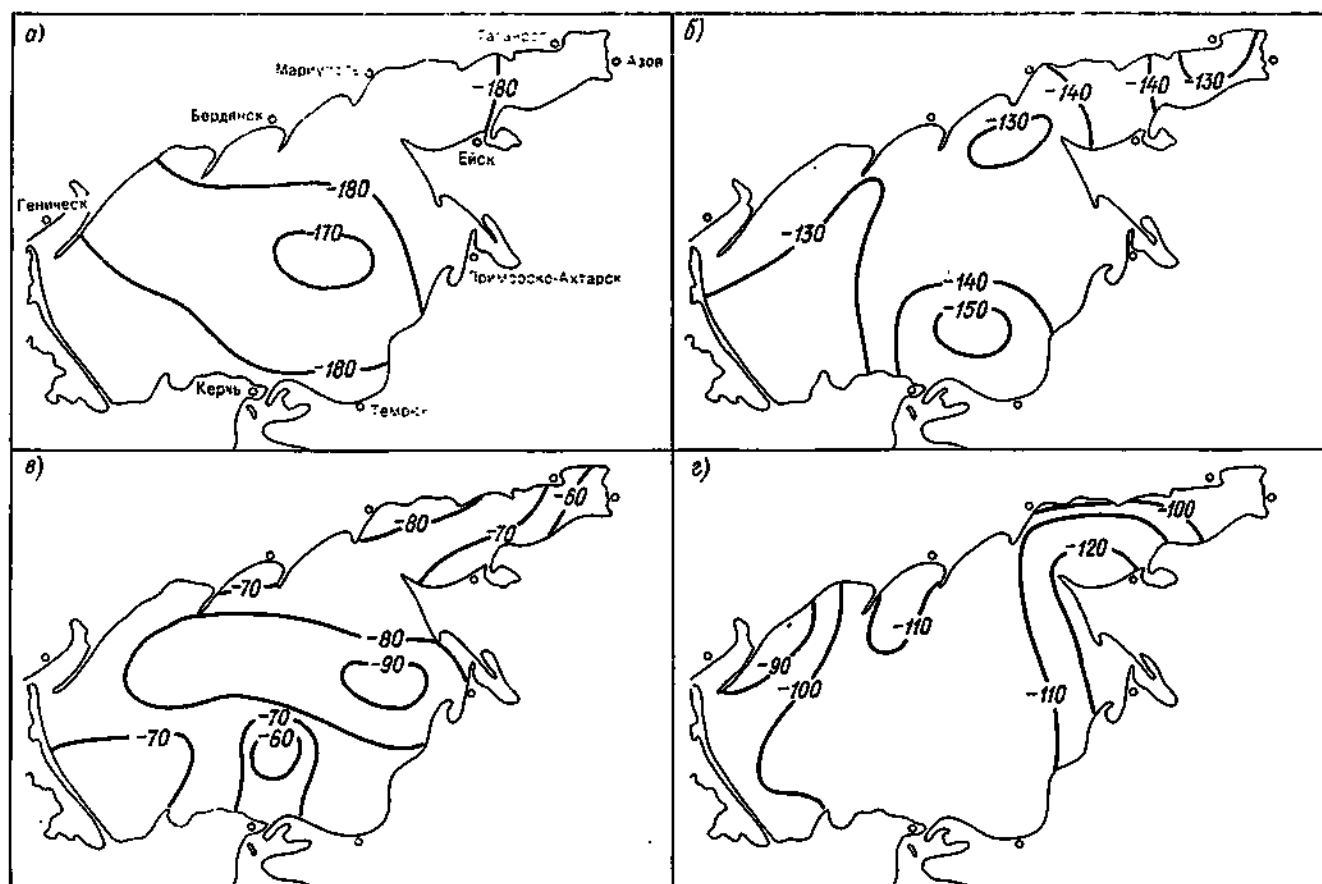


Рис. 2.6. Эффективное излучение ( $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{мес})$ ) в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) и за год ( $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) (д).

глощенной солнечной радиации, но имеет несколько меньшую амплитуду. Отрицательные значения радиационного баланса в декабре—январе обусловлены незначительным преобладанием эффективного излучения над поглощенной радиацией. В остальное время поглощенная радиация существенно превышает эффективное излучение.

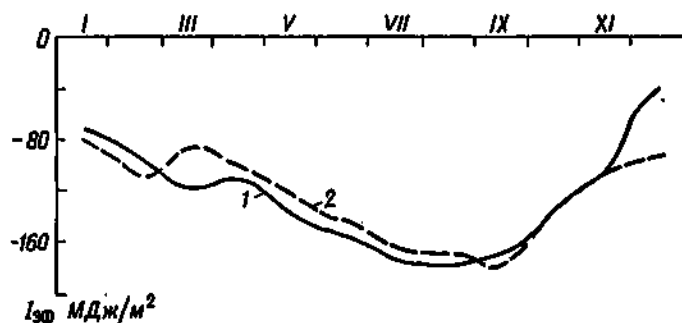


Рис. 2.7. Годовой ход эффективного излучения  $I_{\text{эф}}$ . 1 — Таганрогский залив, 2 — открытое море.

ется небольшое увеличение баланса в центральных районах моря по сравнению с прибрежными.

Радиационный баланс в целом за год по всему Азовскому морю положителен (рис. 2.8 д). В восточной части Таганрогского залива годовая сумма баланса минимальна и составляет  $2400 \text{ МДж}/\text{м}^2$ . Максимальные ( $2700$ — $2750 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ) суммы баланса находятся в центральном районе моря. У побережья значения радиационного баланса меньше на  $80$ — $120 \text{ МДж}/\text{м}^2$ .

Годовой ход радиационного баланса (рис. 2.9) подобен ходу своей основной составляющей — по-

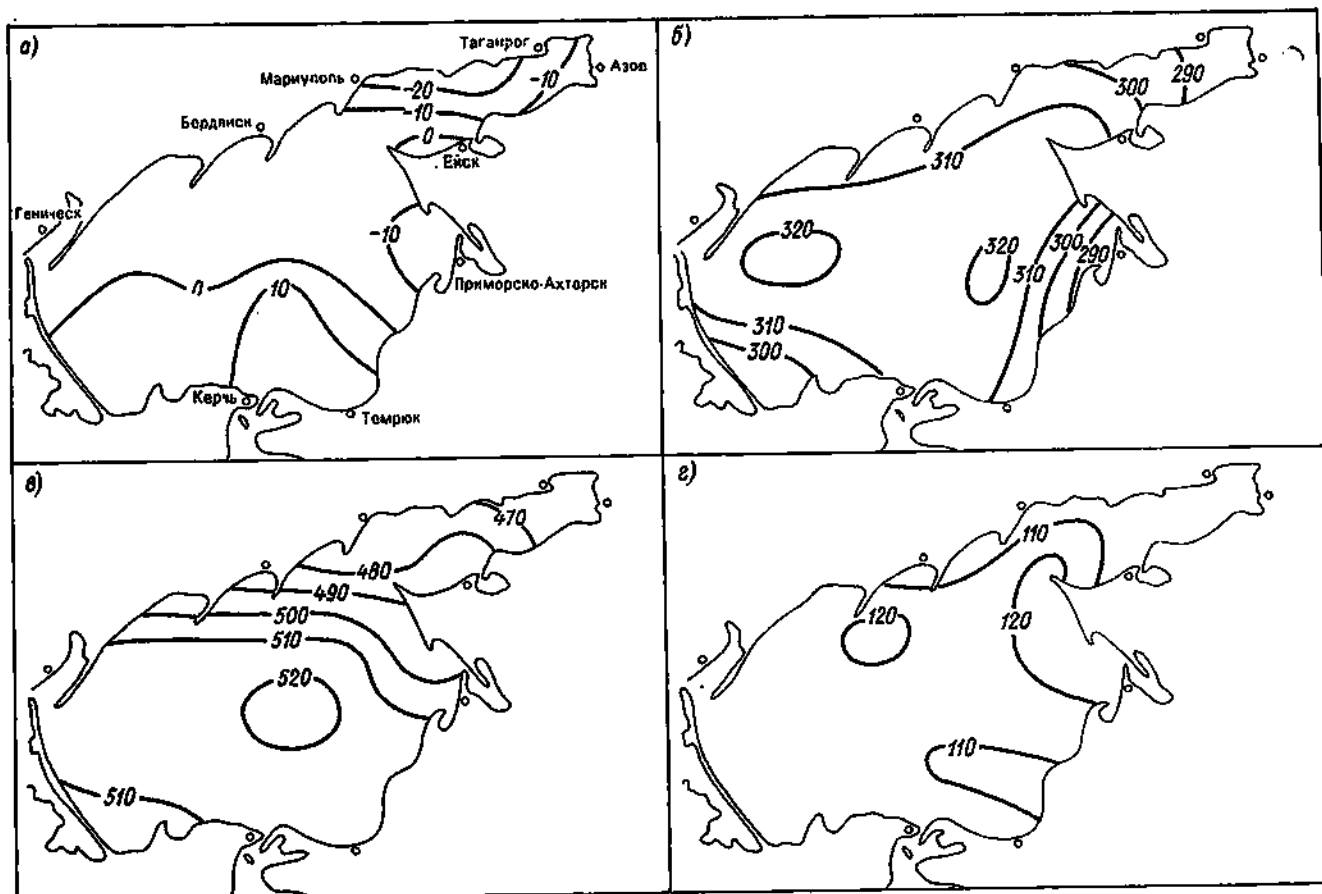


Рис. 2.8. Радиационный баланс (МДж/(м<sup>2</sup> · мес)) в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) и за год (МДж/(м<sup>2</sup> · год)) (д).

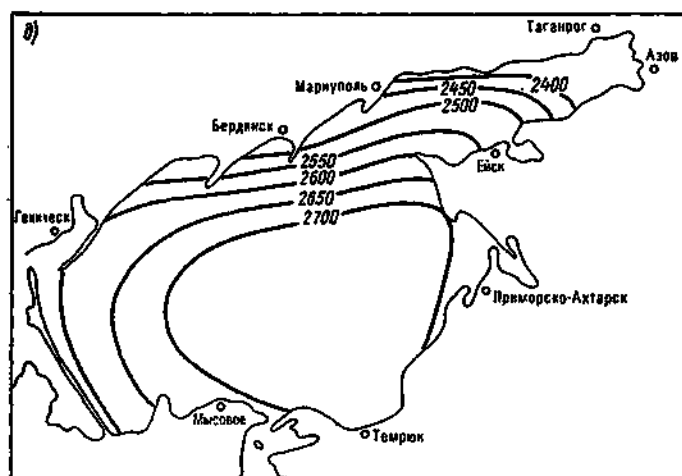
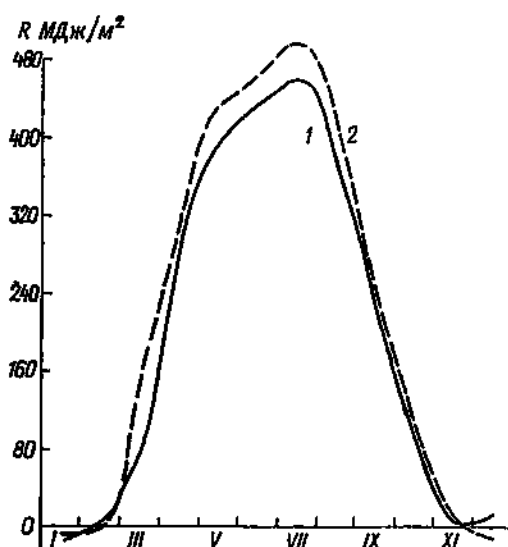


Рис. 2.9. Годовой ход радиационного баланса  $R$ .

1 — Таганрогский залив, 2 — открытое море.



### 2.3. Тепловой баланс Азовского моря

Расчет составляющих теплового баланса проводился по методике ГГО [54] с использованием среднемесячных климатических данных по 45 квадратам Азовского моря.

Уравнение теплового баланса поверхности моря записывается в следующем виде:

$$B = R - Q_n - Q_t \pm Q_l + Q_{ч.м} - Q_p, \quad (2.2)$$

где  $B$  — тепловой баланс поверхности моря,  $R$  — радиационный баланс поверхности моря,  $Q_t$  — турбулентный теплообмен между поверхностью моря и атмосферой,  $Q_n$  — тепло, затраченное на испарение или выделенное при конденсации пара,  $Q_l$  — тепло, затраченное при таянии или выделенное при образовании льда,  $Q_{ч.м}$  — теплообмен с Черным морем,  $Q_p$  — тепло, затраченное на нагревание речных вод.

Последние два члена уравнения малы ( $Q_{ч.м} \sim 10$  МДж/м<sup>2</sup> в год,  $Q_p \sim 5$  МДж/м<sup>2</sup> в год) и различны по знаку. Их совместный вклад в тепловой баланс за год составляет 0,05 %. Поэтому в дальнейшем можно пренебречь влиянием речного стока и теплообменом с Черным морем.

Образование и таяние льда сопровождается выделением и поглощением тепла. За весь период ледообразования в Таганрогском заливе и северной части моря выделяется 80–100 МДж/м<sup>2</sup>, а в южной и центральной части моря 40–60 МДж/м<sup>2</sup>. Такое же количество тепла поглощается весной при таянии льда.

Расход тепла на испарение с водной поверхности определяется произведением скрытой теплоты  $L$  на испарение

$$Q_n = LE. \quad (2.3)$$

Интенсивность испарения зависит от скорости ветра, дефицита влажности, температуры воды, а в холодное полугодие от количества и распределения льда. Зависимость от скорости ветра и дефицита влажности вызывает значительные пространственные изменения интенсивности испарения.

Наибольшее количество воды испаряется летом в связи с высокими температурами воздуха и воды, способствующими повышению дефицита влажности. Зимой, несмотря на большие скорости ветра, испарение намного меньше:

|                  |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Месяц            | ..... | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   |
| $E \text{ км}^3$ | ..... | 0,09 | 0,16 | 0,65 | 0,47 | 2,22 | 4,96 | 6,39 | 6,56 | 6,04 |
| Месяц            | ..... | X    | XI   | XII  |      |      |      |      |      |      |
| $E \text{ км}^3$ | ..... | 3,95 | 2,44 | 1,34 |      |      |      |      |      |      |

Это обуславливается малыми значениями дефицита влажности и наличием ледяного покрова, замедляющего испарение. Сочетание небольшого дефицита влажности и относительно малых скоростей ветра в центральных районах моря в апреле и марте создает благоприятные условия для конденсации водяного пара.

Со всей поверхности Азовского моря за год испаряется  $34,6 \text{ км}^3$  воды, что составляет около  $1/9$  объема и характерно для небольших и мелководных водоемов.

Зимой расход тепла на испарение не превышает  $-40 \text{ МДж/м}^2$ . В январе в Таганрогском заливе отмечается даже конденсация водяного пара. В феврале пространственные изменения затрат

тепла на испарение малы, все значения лежат в интервале  $0 \dots -15 \text{ МДж/м}^2$ .

В марте и апреле в Таганрогском заливе наблюдается рост расхода тепла на испарение; в марте в центральных и южных районах моря возникают условия для конденсации водяного пара, т. е. прихода тепла за счет конденсации ( $10-20 \text{ МДж/м}^2$ ), а в апреле такие условия возникают только в центральных районах ( $5-20 \text{ МДж/м}^2$ ).

С апреля по июль в Таганрогском заливе и с мая по август в открытом море расход тепла на испарение резко увеличивается и достигает максимума  $500 \text{ МДж/м}^2$  для Таганрогского залива в июле и  $400 \text{ МДж/м}^2$  для открытого моря в августе. В эти месяцы (кроме августа) наблюдается следующее пространственное распределение расхода тепла на испарение: максимум отмечается в Таганрогском заливе и на юго-западе моря, минимум — в центральных районах моря; расход тепла на испарение увеличивается в прибрежных районах: с мая по июнь — на  $150-170 \text{ МДж/м}^2$  в месяц.

В августе—сентябре начинается уменьшение расхода тепла на испарение. В Азовском море наблюдается в основном зональное распределение расхода тепла. В Таганрогском заливе с августа по ноябрь расход тепла на испарение уменьшается с  $-480$  до  $-100 \text{ МДж/м}^2$  в месяц. Для открытого моря расход тепла на испарение убывает с  $-400 \text{ МДж/м}^2$  в сентябре до  $-100 \text{ МДж/м}^2$  в декабре. С октября по декабрь максимум расхода тепла на испарение смещается в центральные районы моря, поэтому в открытой части моря расход тепла на испарение в эти месяцы больше,

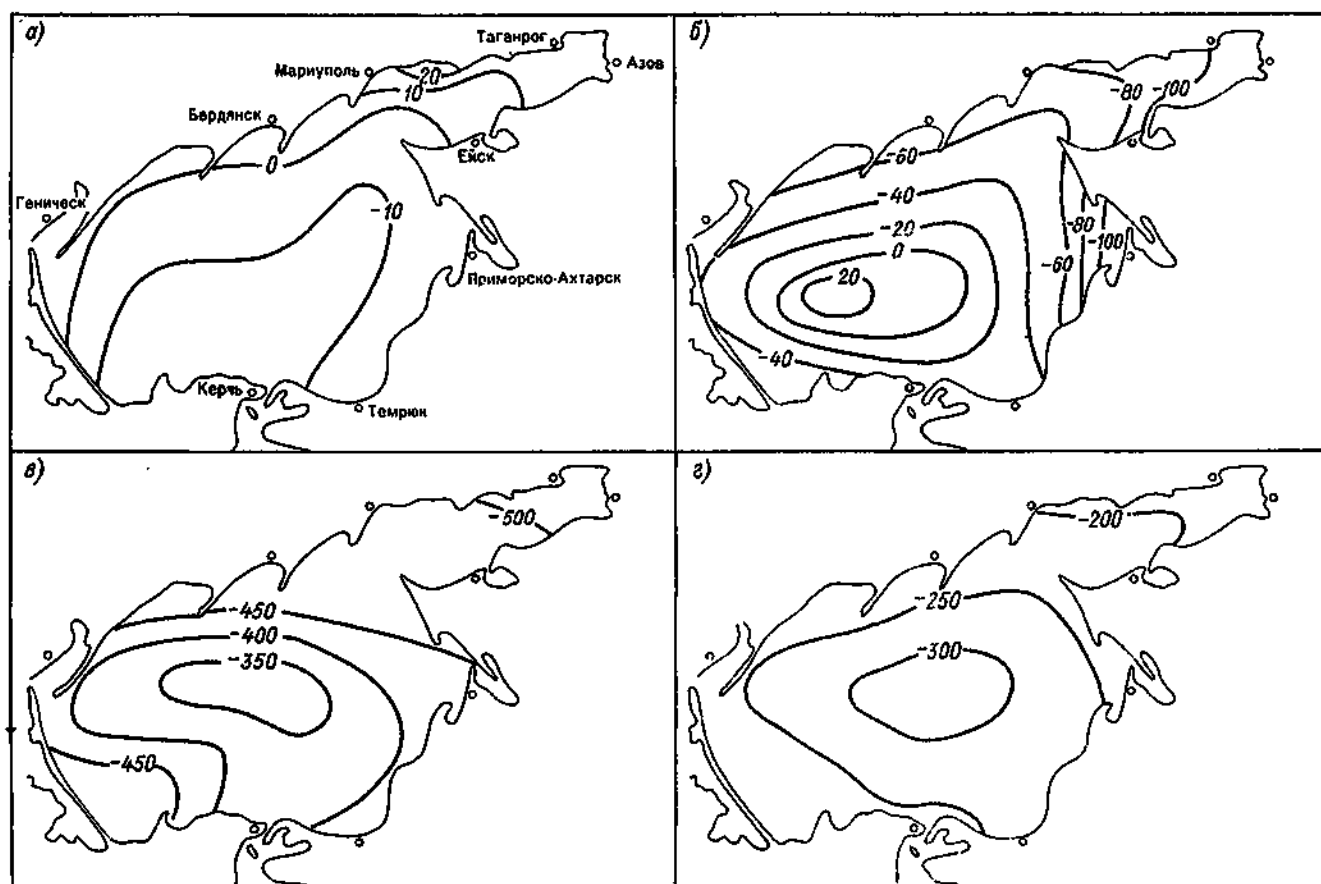


Рис. 2.10. Затраты тепла на испарение ( $\text{МДж/м}^2 \cdot \text{мес}$ ) в январе (а), апреле (б), июле (в) и октябре (г).

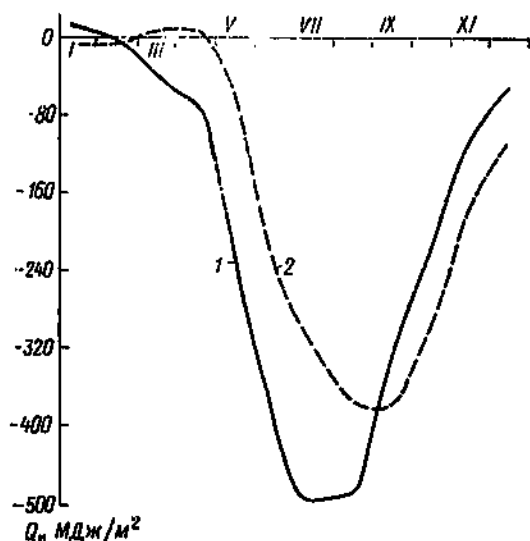


Рис. 2.11. Годовой ход расхода тепла на испарение  $Q_{и}$ .

1 — Таганрогский залив, 2 — открытое море.

чем в прибрежных районах, но в целом по всему морю его значения быстро уменьшаются. Распределение скрытого тепла для центральных месяцев сезона представлено на рис. 2.10.

Годовой ход расхода тепла на испарение в открытом море запаздывает по сравнению с таковым в Таганрогском заливе примерно на месяц, так как центральный район моря глубоководнее Таганрогского залива (рис. 2.11). Вся толща воды в этом районе медленнее прогревается, что вызывает уменьшение дефицита влажности и расхода тепла на испарение весной, и медленнее остывает, вызывая некоторое увеличение расхода тепла на испарение осенью.

Наибольшее количество тепла на испарение за год затрачивается в юго-западной части Таганрогского залива ( $-2500$  МДж/м²). Меньше всего расход тепла на испарение в центральном районе ( $-2000$  МДж/м²) в районе Керченского пролива ( $-2000$  МДж/м²) и в устье Таганрогского залива ( $-2200$  МДж/м²) (рис. 2.12). Минимум скрытого тепла в центре моря вызван тем, что весной здесь происходит конденсация пара. Поток тепла за

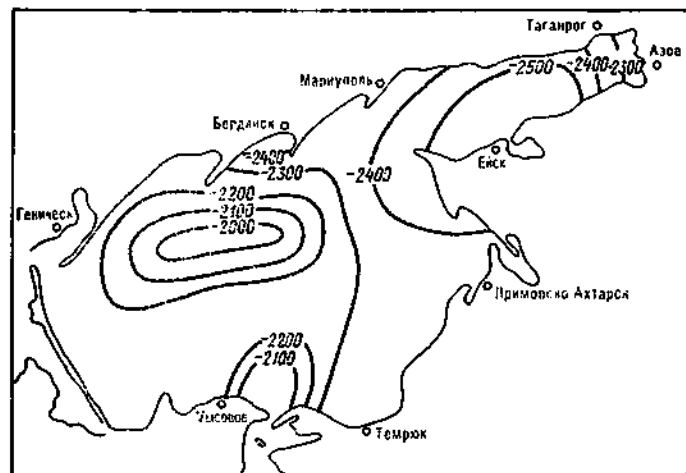


Рис. 2.12. Затраты тепла на испарение (МДж/(м² · год)).

счет испарения при этом направлен к воде и, следовательно, в целом за год уменьшает отдачу скрытого тепла атмосфере в центре моря.

Турбулентный теплообмен — это количество тепла, которое отдает или получает поверхность моря в результате турбулентного обмена в приземном слое воздуха. Интенсивность турбулентного теплообмена зависит в основном от разности температур воды и воздуха, а также от скорости ветра

$$Q_{\tau} = \rho c_p c_h (T_w - T_a) u, \quad (2.4)$$

где  $\rho$  — плотность воздуха,  $c_p$  — удельная теплоемкость,  $c_h$  — коэффициент теплообмена,  $T_w$  — температура воды,  $T_a$  — температура воздуха,  $u$  — скорость ветра.

В холодный период года происходит наибольшая отдача тепла от водной поверхности в атмосферу. Максимум ( $-140$  МДж/м²) отмечается в ноябре в центральном районе моря. В январе или феврале зона максимальных значений турбулентного обмена перемещается ко входу в Таганрогский залив (рис. 2.13 а).

Для теплого периода года характерно обратное распределение турбулентного теплообмена по отношению к распределению затрат тепла на испарение, т. е. областям с минимальным испарением соответствуют области максимальных значений турбулентного теплообмена, и наоборот. В период с марта по июнь максимум потока тепла за счет турбулентного обмена составляет  $60-65$  МДж/м² (рис. 2.13 б). В июне область положительного теплообмена занимает центральную часть моря. В июле и августе турбулентный теплообмен снова становится отрицательным (рис. 2.13 в).

С сентября начинается увеличение потока тепла в атмосферу, причем значения турбулентного теплообмена растут быстрее в открытом море, чем в Таганрогском заливе.

Несмотря на то что потоки явного тепла малы по сравнению с другими составляющими теплового баланса (доля явного тепла составляет около 4 % теплового баланса), турбулентный теплообмен с атмосферой в отдельные периоды может играть важную роль, так с ноября по февраль доля явного тепла составляет в среднем 26 % теплового баланса, доходя до 40 % в январе.

Наибольший за год расход тепла на турбулентный теплообмен наблюдается в северо-восточной части моря и составляет  $-520$  МДж/м², наименьший  $-150 \dots -200$  МДж/м² в районе Керченского пролива (рис. 2.13 д).

Годовой ход турбулентного теплообмена имеет довольно сложный вид (рис. 2.14). Максимум прихода тепла к воде за счет турбулентного теплообмена (положительный поток) приходится на апрель, максимум отдачи тепла от воды атмосфере (отрицательный поток) — на ноябрь. Размах годового хода турбулентного потока тепла для открытого моря превышает его размах для Таганрогского залива на  $60-70$  МДж/м².

В течение года тепловой баланс в различных районах моря не остается постоянным. Его колебания зависят от многих гидрометеорологических факторов, находящихся в тесной связи друг с другом, но по-разному оказывающих влияние на тепловой баланс.



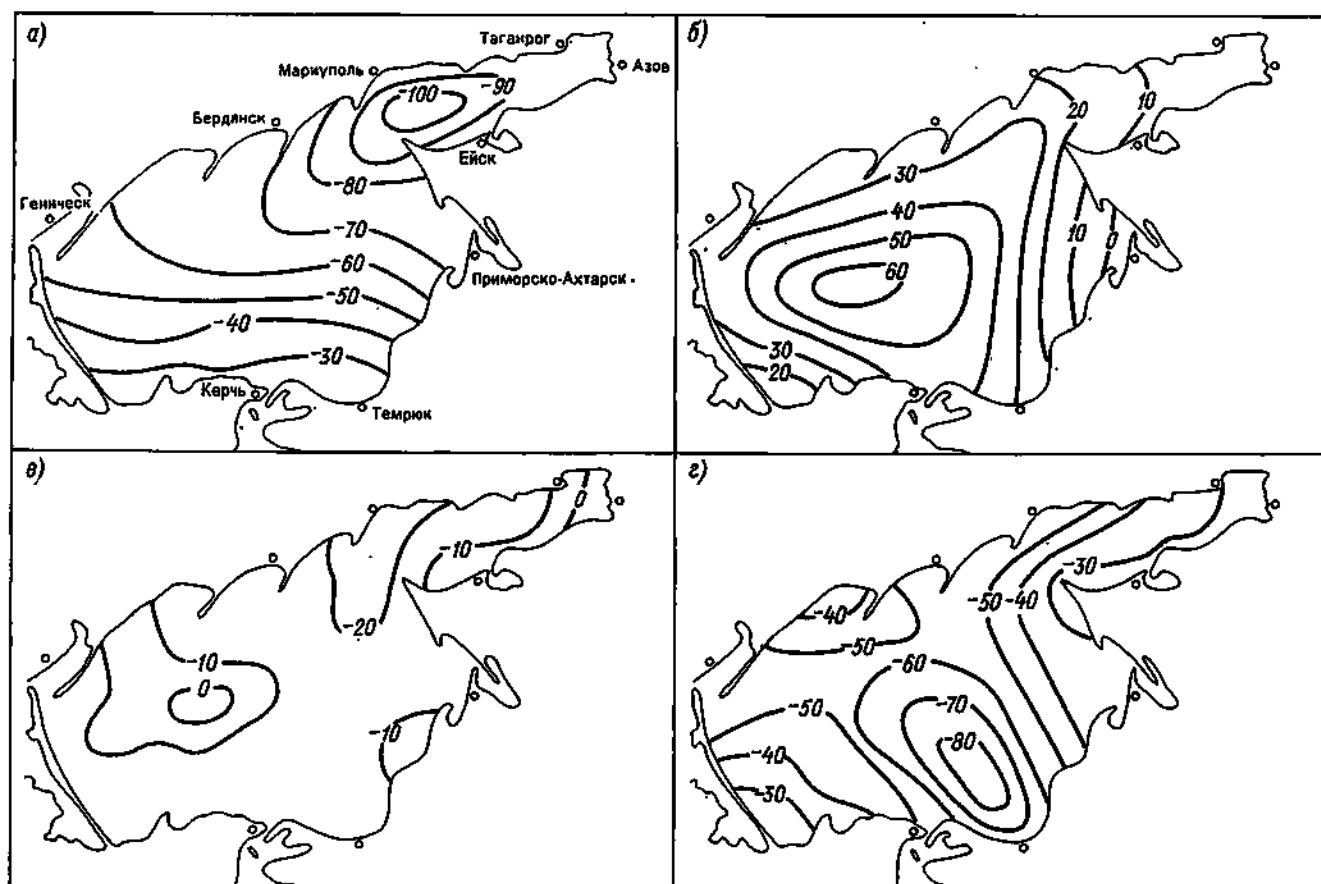


Рис. 2.13. Турбулентный теплообмен с атмосферой ( $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{мес})$ ) в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) и за год ( $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) (д).

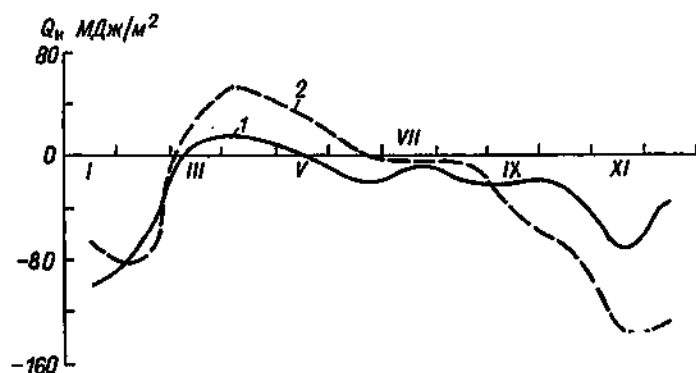
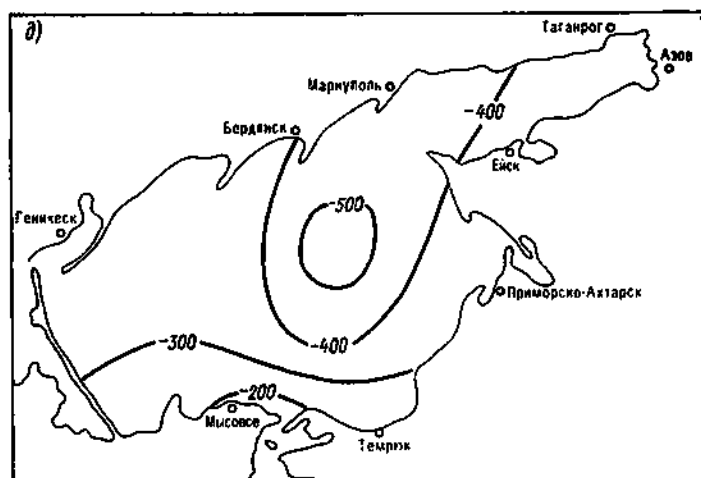


Рис. 2.14. Годовой ход турбулентного теплообмена между водной поверхностью и атмосферой  $Q_n$ .  
1 — Таганрогский залив, 2 — открытое море.

Нагревание моря начинается с марта. Быстрее прогреваются южные районы, где тепловой баланс доходит до  $250 \text{ МДж}/\text{м}^2$  в месяц. В северном районе тепловой баланс также положителен, но его значение меньше, около  $40 \text{ МДж}/\text{м}^2$  в месяц. В апреле резко увеличивается поступление солнечной радиации ко всей поверхности моря. При этом количественные значения баланса увеличиваются от периферии к центру моря, где достигают  $400 \text{ МДж}/\text{м}^2$ . В Таганрогском заливе тепловой баланс составляет около  $200 \text{ МДж}/\text{м}^2$  (рис. 2.15 б).

Ход изолиний теплового баланса в мае, июне и июле примерно такой же, как в апреле. Различие состоит только в том, что с каждым месяцем меняется значение теплового баланса. В мае в центре моря тепловой баланс равен  $480 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в западной части моря  $210\text{--}290 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , на востоке, в прибрежных районах  $160\text{--}210 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в Таганрогском заливе около  $100 \text{ МДж}/\text{м}^2$ . С июня значения теплового баланса начинают уменьшаться: в центральной части до  $250\text{--}300 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в Таганрогском заливе до  $-25 \text{ МДж}/\text{м}^2$ . В июле продолжается уменьшение теплового баланса: в центральной части моря до  $165 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , а в Таганрогском заливе до  $-60 \text{ МДж}/\text{м}^2$  (рис. 2.15 в).

В августе нет ярко выраженной зональности в распределении теплового баланса. На большей части моря наблюдается отрицательный тепловой баланс с минимумом в юго-западном районе моря и в центре Таганрогского залива (до  $-140 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ). Положительный баланс сохраня-

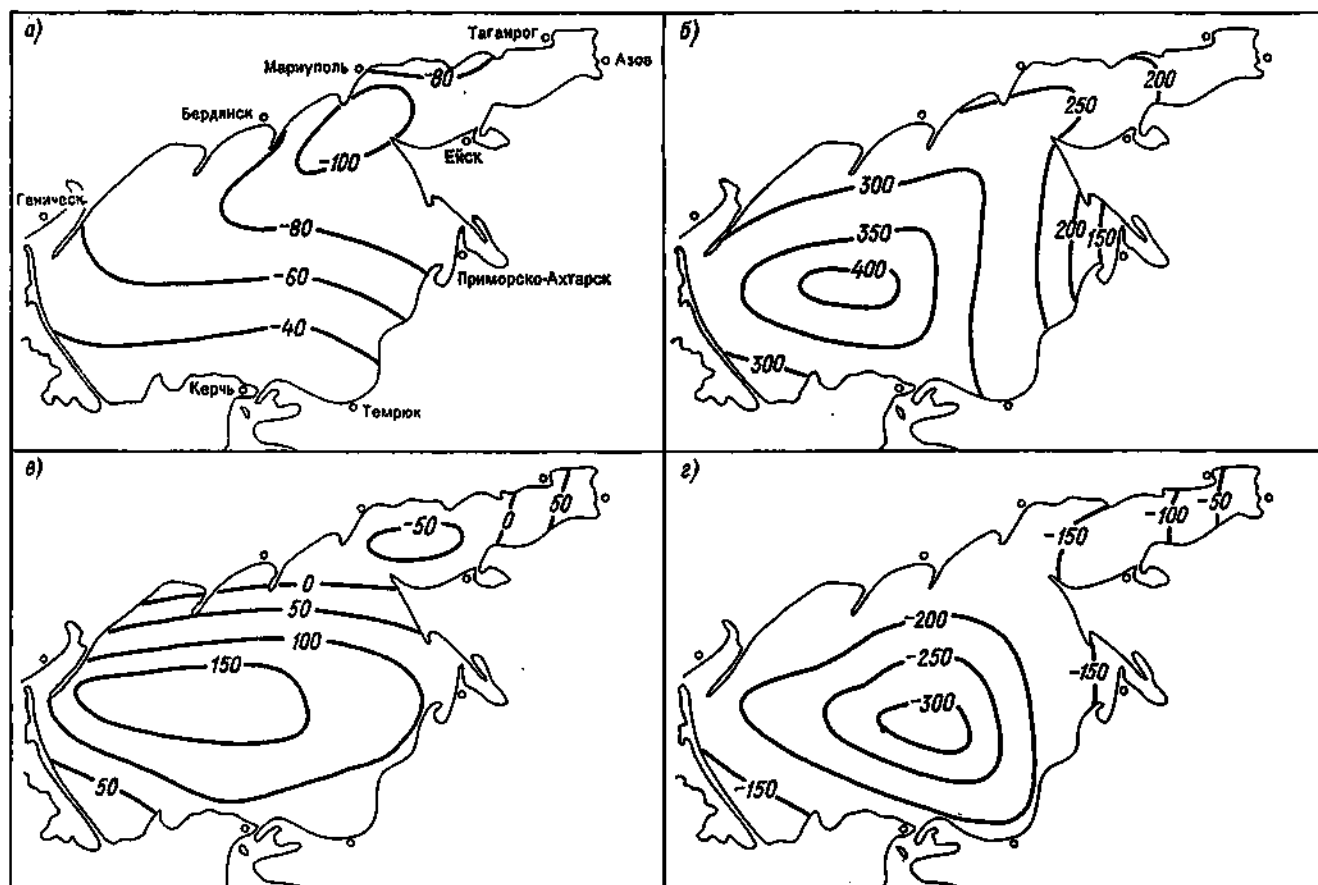
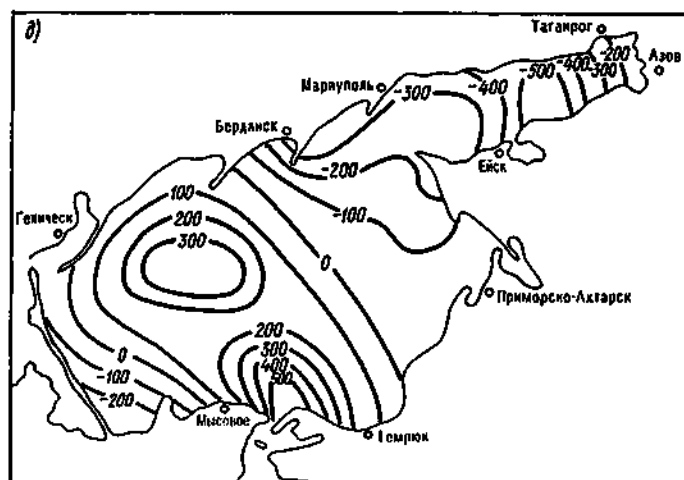


Рис. 2.15. Тепловой баланс ( $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{мес})$ ) в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г) и за год ( $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) (д).



В январе и феврале тепловой баланс по всему морю отрицателен, но его значения меньше: в январе в северной половине моря около  $-80 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в южной — около  $-40 \text{ МДж}/\text{м}^2$  (см. рис. 2.15 а), в феврале в центральном районе моря около  $-100 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в остальной части моря  $-60 \dots -70 \text{ МДж}/\text{м}^2$ . Такое распределение теплового баланса в зимние месяцы можно объяснить уменьшением испарения из-за наличия ледяного покрова. Годовые значения баланса даны на рис. 2.15 д.

Зимой и осенью вследствие незначительного поступления тепла от солнца тепловой баланс отрицательный, весной и летом, несмотря на большую потерю тепла на испарение, — положительный (рис. 2.16). Равновесие теплового баланса (когда приход равен расходу) наступает дважды в году: в Азовском море в марте и августе, а в Таганрогском заливе в марте и июле. Переход теплового баланса через ноль весной в центральном районе моря отмечается несколько раньше, а летом намного позже, чем в Таганрогском заливе. Вследствие этого период, в течение которого тепловой баланс положительный, в центре моря больше (5,5—5 мес), чем в Таганрогском заливе (около 3 мес). Годовые максимум и минимум теплового баланса в открытом море выше, чем в Таганрогском заливе, что объясняется главным образом большими затратами тепла на испарение в мелководных районах.

Главная роль в тепловом балансе, как видно из табл. 2.1, принадлежит солнечной радиации. На ее долю приходится около половины годовой

ется лишь в северо-западных районах ( $20 \dots 50 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ).

В сентябре тепловой баланс отрицателен по всему морю. Распределение теплового баланса имеет зональный характер и сходно с его распределением в марте. Северная половина моря расходует тепла меньше ( $-80 \dots -160 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ), чем южная ( $-200 \dots -250 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ).

Ход изолиний теплового баланса в октябре, ноябре и декабре аналогичен их ходу в апреле, мае и июне. Меняется только знак теплового баланса. В центральном районе моря в октябре тепловой баланс около  $-270 \text{ МДж}/\text{м}^2$  (рис. 2.15 г), в ноябре около  $-310 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в декабре около  $-250 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ; в Таганрогском заливе в октябре  $-50 \dots -150 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в ноябре  $-100 \dots -170 \text{ МДж}/\text{м}^2$ , в декабре  $-65 \dots -105 \text{ МДж}/\text{м}^2$ .

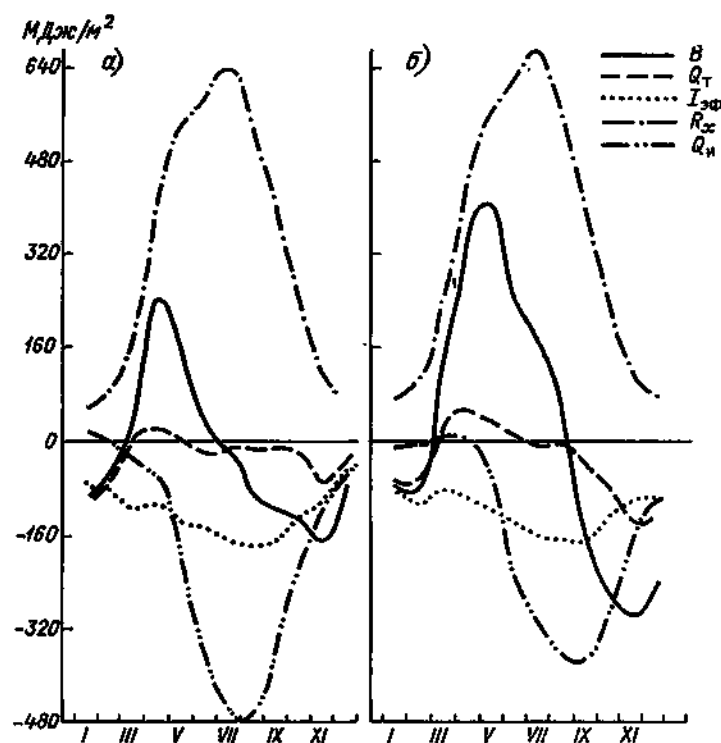


Рис. 2.16. Годовой ход составляющих теплового баланса в Таганрогском заливе (а) и открытом море (б).

$B$  — тепловой баланс,  $R_с$  — поглощенная солнечная радиация,  $I_{эф}$  — эффективное излучение,  $Q_T$  — турбулентный теплообмен,  $Q_и$  — потеря тепла на испарение.

суммы тепла, участвующего в тепловом балансе. Далее следует тепло, затрачиваемое на испарение (25—30 %), эффективное излучение (около 20 %) и теплообмен с атмосферой (до 5 %). В течение года соотношение составляющих теплового баланса не остается постоянным. Зимой преобладает турбулентный теплообмен, эффективное излучение и солнечная радиация. Затрата тепла на испарение незначительна. Весной наибольшую роль в тепловом балансе играет солнечная радиация, на долю которой приходится 55—70 % от суммы всех составляющих. Летом и осенью существенное изме-

нение в соотношении составляющих теплового баланса вносит испарение, которое достигает 25—40 %. Роль турбулентного теплообмена с атмосферой в формировании теплового баланса повышается в ноябре—феврале (до 40 % в месяц). Однако с учетом того, что в этот период вообще тепловой баланс небольшой, эта цифра не может свидетельствовать о большом влиянии теплообмена в целом на тепловой баланс моря.

На годовой карте теплового баланса ясно выделяются две зоны, отличающиеся друг от друга (см. рис. 2.15 б). К первой из них относится центральная глубокая часть моря, поверхность которой за год получает тепла больше, чем отдает (тепловой баланс положительный), ко второй — прибрежная мелководная зона, где поверхность моря получает тепла меньше, чем отдает атмосфере (тепловой баланс отрицательный). Максимальная разность между упомянутыми зонами достигает 1190 МДж/м². Наибольший отрицательный тепловой баланс наблюдается в центральной части Таганрогского залива (—500 МДж/м²), а наибольший положительный (около 500 МДж/м²) — в районе Керченского пролива. Характерно, что экстремальные значения годового испарения наблюдаются в тех же районах. Это обстоятельство лишний раз подтверждает большое влияние испарения на тепловой баланс Азовского моря.

## 2.4. Циркуляционные факторы климата. Типы синоптических процессов для района Азовского моря

На основе работ А. П. Черняковой [89] и дополнительных исследований, проведенных в ГОИН, выделено четыре основных типа синоптических процессов, определяющих метеорологический режим моря и один дополнительный пятый тип, объединяющий все случаи малоградиентных барических полей.

**Тип I.** Антициклон расположен над центральными районами европейской части СССР. На юго-востоке Черного моря при этом развивается циклоническая деятельность (рис. 2.17 а). Над районом Азовского моря преобладают ветры северного, северо-восточного и восточного направлений. Штормы возможны при выходе средиземноморских циклонов на юго-восток Черного моря и усилении антициклона. Например, в феврале 1979 г. взаимодействие антициклона над европейской частью СССР и циклона на юго-востоке Черного моря с разницей давления в центрах этих образований 40 гПа обусловило усиление восточных и северо-восточных ветров до 18—23 м/с на Азовском море и в северной части Черного моря и до 40 м/с в районе между Керчью и Туапсе. В районе Азовского моря температура воздуха при этом понижалась до —10... —14 °С.

Образование антициклона с центром над ЕЧС зимой связано с усилением сибирского антициклона, отрог которого при этом распространяется на Украину. Нередко в его систему входят антициклоны с запада, северо-запада или северо-востока.

Летом ядра высокого давления представляют собой отдельные образования азовского антициклона или местные образования, возникшие за счет

Таблица 2.1

Соотношение между составляющими теплового баланса  
(в % от абсолютных величин)

| Составляющая баланса | I  | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX | X  | XI | XII | Год |
|----------------------|----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|
| Таганрогский залив   |    |    |     |    |    |    |     |      |    |    |    |     |     |
| $R_с$                | 25 | 36 | 54  | 68 | 59 | 51 | 49  | 46   | 44 | 39 | 28 | 31  | 48  |
| $I_{эф}$             | 30 | 36 | 32  | 18 | 15 | 13 | 13  | 15   | 18 | 21 | 27 | 22  | 18  |
| $Q_и$                | 40 | 28 | 3   | 3  | 0  | 2  | 1   | 1    | 2  | 4  | 18 | 20  | 4   |
| $Q_T$                | 5  | 0  | 11  | 11 | 26 | 34 | 37  | 38   | 36 | 36 | 27 | 27  | 30  |
| Открытое море        |    |    |     |    |    |    |     |      |    |    |    |     |     |
| $R_с$                | 32 | 35 | 65  | 72 | 73 | 62 | 58  | 52   | 41 | 32 | 22 | 20  | 51  |
| $I_{эф}$             | 36 | 36 | 25  | 18 | 16 | 14 | 15  | 15   | 18 | 18 | 20 | 23  | 19  |
| $Q_и$                | 29 | 26 | 8   | 9  | 4  | 0  | 0   | 0    | 4  | 10 | 26 | 31  | 5   |
| $Q_T$                | 3  | 3  | 2   | 1  | 7  | 24 | 27  | 33   | 37 | 40 | 32 | 26  | 25  |

Примечание.  $R_с$  — поглощенная суммарная радиация,  $I_{эф}$  — эффективное излучение,  $Q_и$  — затраты тепла на испарение,  $Q_T$  — турбулентный теплообмен.

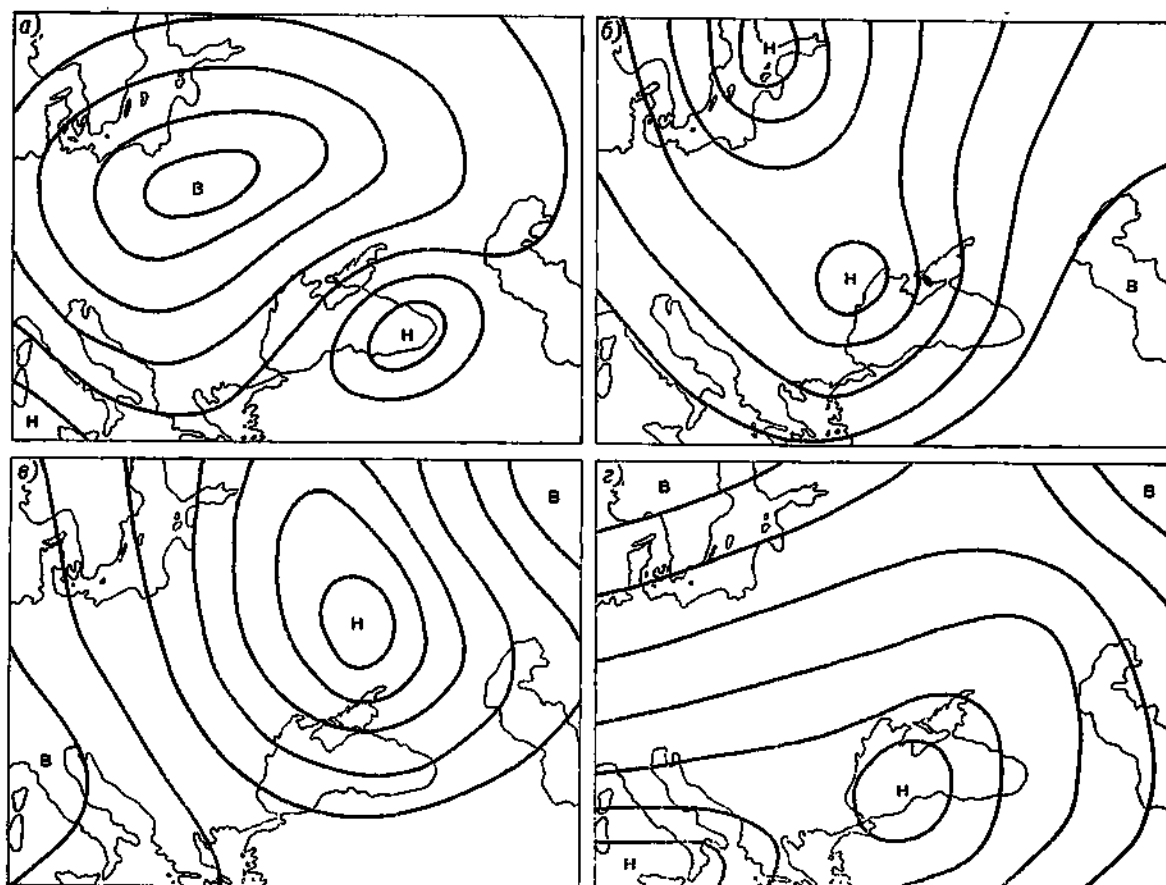


Рис. 2.17. Типы синоптических процессов.  
а — тип I, б — тип II, в — тип III, г — тип IV.

Таблица 2.2

Повторяемость (%) различных типов синоптических процессов по месяцам и за год

| Тип | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь | Год |
|-----|--------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|-----|
| I   | 47     | 44      | 39   | 39     | 31  | 28   | 39   | 36     | 47       | 42      | 35     | 28      | 39  |
| II  | 14     | 24      | 16   | 17     | 19  | 16   | 10   | 8      | 10       | 16      | 28     | 21      | 17  |
| III | 17     | 12      | 15   | 11     | 10  | 19   | 17   | 20     | 14       | 18      | 16     | 17      | 15  |
| IV  | 7      | 8       | 8    | 9      | 5   | 5    | 4    | 7      | 2        | 5       | 6      | 6       | 6   |
| Σ   | 85     | 88      | 78   | 76     | 65  | 68   | 70   | 71     | 73       | 81      | 85     | 82      | 77  |
| V   | 15     | 12      | 22   | 24     | 35  | 32   | 30   | 29     | 27       | 19      | 15     | 18      | 23  |

орографии и термических неоднородностей подстилающей поверхности.

Данный тип имеет наибольшую повторяемость по сравнению с другими в холодную часть года (табл. 2.2), он обуславливает похолодание в районе Азовского моря за счет как выноса сюда континентального холодного воздуха с Казахстана и Сибири, так и радиационного выхолаживания подстилающей поверхности. В теплое полугодие, наоборот, при данном типе синоптических процессов идет интенсивное прогревание подстилающей поверхности, особенно при небольших барических градиентах.

По продолжительности действия этот тип также наиболее устойчив из всех рассматриваемых: в среднем он удерживается от 3 до 12 сут.

В 70 % случаев зимой и до 90 % случаев летом тип I переходит в малоградиентное барическое поле. В остальных случаях он чаще сменяется типом III или типом IV (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Преемственность (%) типов синоптических процессов по сезонам

| Исходный тип процесса | Последующий тип процесса |    |     |    |    |    |    |     |    |    |
|-----------------------|--------------------------|----|-----|----|----|----|----|-----|----|----|
|                       | I                        | II | III | IV | V  | I  | II | III | IV | V  |
| Зима                  |                          |    |     |    |    |    |    |     |    |    |
| I                     | —                        | 5  | 11  | 14 | 70 | —  | 2  | 9   | 6  | 83 |
| II                    | 6                        | —  | 41  | 11 | 42 | 5  | —  | 26  | 6  | 73 |
| III                   | 35                       | 12 | —   | 1  | 52 | 18 | 10 | —   | 2  | 70 |
| IV                    | 49                       | 18 | 12  | —  | 21 | 43 | —  | 28  | —  | 29 |
| V                     | 34                       | 39 | 12  | 15 | —  | 44 | 38 | 9   | 9  | —  |
| Лето                  |                          |    |     |    |    |    |    |     |    |    |
| I                     | —                        | —  | 5   | 6  | 89 | —  | 1  | 7   | 5  | 87 |
| II                    | —                        | —  | 32  | 2  | 66 | 11 | —  | 26  | 5  | 58 |
| III                   | 11                       | 7  | —   | 1  | 81 | 21 | 8  | —   | —  | 71 |
| IV                    | —                        | —  | 100 | —  | —  | 23 | 27 | 28  | —  | 22 |
| V                     | 58                       | 13 | 25  | 4  | —  | 47 | 31 | 14  | 8  | —  |
| Осень                 |                          |    |     |    |    |    |    |     |    |    |

**Тип II.** Циклоническая деятельность развивается над районом Балтийского моря. Ложбина от циклона с центром над Балтийским морем направлена на Черное море. При развитии в ложбине частного циклона возникают сильные южные и юго-западные ветры. Антициклоническое поле располагается над Малой Азией и Казахстаном (см. рис. 2.17 б). Например, в начале октября 1980 г. погода на Черном и Азовском морях определялась ложбинами циклонов, траектория движения которых проходила над Балтийским морем и севером ЕЧС. Отмечалось усиление южных, юго-западных и юго-восточных ветров до 20—24 м/с, выпадали интенсивные осадки.

Повторяемость типа II изменяется в довольно широких пределах — от 8 (август) до 28 % (ноябрь) (см. табл. 2.2). В холодную часть года морской тропический воздух, распространяющийся со Средиземного моря в теплых секторах циклонов, вызывает оттепели, сменяющиеся затем резким похолоданием.

Этот тип наиболее устойчив в период с ноября по февраль, в теплую половину года теряет устойчивость, особенно с июля по сентябрь. В среднем он удерживается 1—5 сут. В 66 % случаев летом и в 23 % случаев весной тип II сменяется малоградиентным барическим полем, в остальных случаях наиболее часто типом III (см. табл. 2.3).

**Тип III.** Обширный циклон охватывает всю европейскую часть СССР; Казахстан и Сибирь заняты антициклонами; над Западной Европой располагается антициклон с отрогом над Балканским полуостровом (см. рис. 2.17 в).

Циклоны перемещаются на центральные районы ЕЧС с запада и северо-запада. В холодное время года они вызывают кратковременное потепление в районе Азовского моря за счет выноса в теплых секторах морского воздуха умеренных широт. Происходит усиление ветра западного и северо-западного направлений. Нередко циклоны стационарируют над Нижним Поволжьем. При этом в район Азовского моря происходит заток арктического воздуха в холодных секторах этих стационарирующих циклонов, обуславливающий значительное похолодание на рассматриваемой территории. Например, в результате активного ультраполярного вторжения при скорости ветра до 18—25 м/с с 7 по 9 января 1979 г. в районе Азовского моря повсеместно отмечался абсолютный минимум температуры воздуха (—14... —19 °C).

Летом западные и северо-западные циклоны проникают на рассматриваемую территорию довольно редко, однако они могут задерживаться надолго, если блокируются с запада и востока областями высокого давления.

В среднем этот тип удерживается 1—5 сут. В 50 % случаев зимой и в 80 % случаев летом сменяется малоградиентным барическим полем, в остальных случаях наиболее часто типом I (см. табл. 2.3).

**Тип IV.** Антициклоны занимают Западный Казахстан и восточные районы ЕЧС; Средиземное море и Балканский полуостров заняты депрессией (см. рис. 2.17 г).

Зимой выход циклонов со Средиземного моря вызывает наиболее интенсивные оттепели в районе Азовского моря, поскольку циклоны в теплых секторах приносят морской тропический воздух. На-

пример, в первой половине февраля 1978 г. и его последней пятидневке прохождение средиземноморских циклонов сопровождалось усилением южных ветров до 12—20 м/с и повышением температуры воздуха до 10—15 °C. Количество выпавших осадков местами превысило месячную норму.

Мощные выносы морского тропического воздуха являются признаком начала весны. Летом повторяемость типа IV меньше, чем зимой, из-за уменьшения повторяемости средиземноморских циклонов.

В среднем тип IV удерживается 1—4 сут. Повторяемость по сравнению с другими типами мала (менее 10 %) (см. табл. 2.2). После типа IV малоградиентное барическое поле встречается довольно редко (не более чем в 30 % случаев). Зимой и весной тип IV чаще сменяется типом I, летом — типом III. Осенью тип IV может сменяться любым из типов примерно с равной вероятностью (см. табл. 2.3).

**Тип V.** Барическое поле представляет собой слаборазвитые размытые области повышенного и пониженного давления.

В холодный период года доля малоградиентных барических полей мала и составляет 12—18 % (см. табл. 2.2). В конце весны, в мае, в связи с ослаблением межширотного обмена доля этого типа возрастает до 35 %. Летом из-за образования на юго-востоке ЕЧС местных циклонов и смещения их на Украину доля малоградиентных барических полей из-за увеличения повторяемости циклонов несколько уменьшается.

Рассмотренные типы синоптических процессов тесно связаны с основными путями перемещения циклонов и антициклонов.

Циклоны перемещаются в район Азовского моря в течение всего года, но чаще всего зимой и весной (с ноября по март) (рис. 2.18). Наиболее часто циклоны приходят на рассматриваемую территорию из западных районов Черного моря, низовьев Дуная и севера Италии, несколько реже — из центральных районов Европы и Венгерской низменности (западные циклоны), а также из Малой Азии и с Черного моря (южные). Северо-западные «пыряющие» циклоны преобладают зимой и осенью, а северные (с Баренцева моря) перемещаются в район Азовского моря только зимой.

В конце весны и в начале лета общее число циклонов резко уменьшается, а летом циклоническая деятельность снова усиливается за счет образования местных циклонов. В летние месяцы наиболее часто наблюдаются юго-восточные циклоны, возникающие на юго-востоке ЕЧС под действием местных факторов.

Значительное место среди барических систем занимают незамкнутые области пониженного давления — ложбины. Чаще всего наблюдаются ложбины, ориентированные с востока на запад. При них «ныряющие» циклоны проходят над Нижним Поволжьем, а их ложбины перемещаются через район Азовского моря в меридиональном направлении — с севера на юг. Большую повторяемость имеют также ложбины, направленные с севера на юг. Их циклонические центры перемещаются вдоль высотной фронтальной зоны с запада на восток через Белоруссию и центральные районы ЕЧС. Эти процессы встречаются в течение года по 4—5 случаев за сезон.

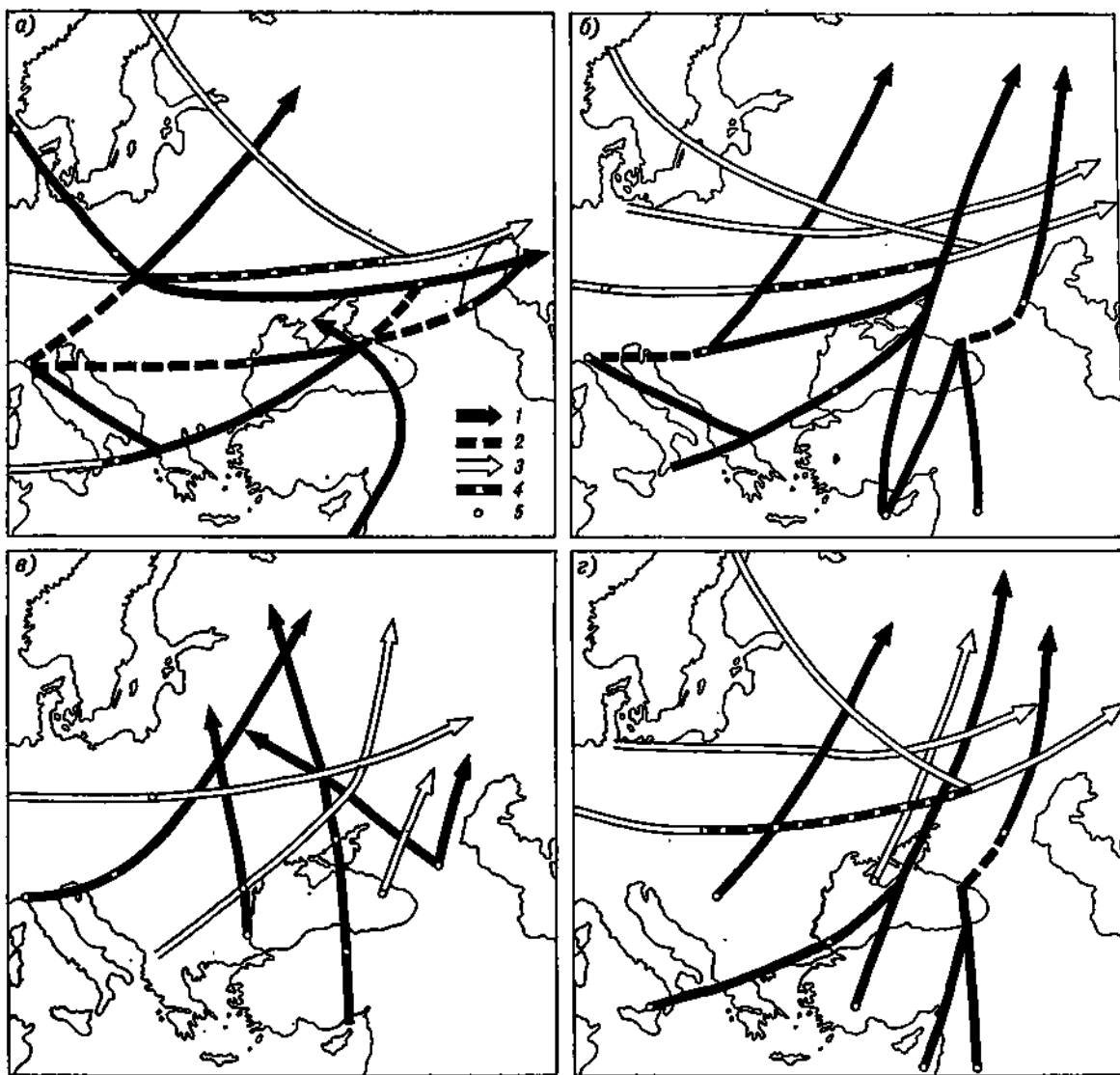


Рис. 2.18. Основные пути перемещения циклонов и антициклонов зимой (а), весной (б), летом (в) и осенью (г).

1 — траектории циклонов; 2 — участки орографической сегментации циклонов; 3 — траектории антициклонов; 4 — участки орографической миграции антициклонов; 5 — районы возникновения циклонов и антициклонов.

Стационарирование антициклонов на юго-востоке ЕЧС зимой вызывает обычно обострение черноморской депрессии, которая оказывает влияние на погодные условия района Азовского моря в течение длительных периодов.

Антициклоны, гребни и отроги встречаются реже, чем циклоны и ложбины.

Наиболее часто антициклоны проходят с запада, особенно летом и осенью (рис. 2.18 в и г). Это, как правило, ядра азовского антициклона, перемещающиеся в тылу серии циклонов (западных) или их ложбин.

Северо-восточные антициклоны, приходящие с Каспийского моря или с северо-востока ЕЧС, бывают по одному разу только зимой и ранней весной.

Важную роль в формировании климата играют отроги и гребни. Наиболее распространенными из них являются отроги и гребни, ориентированные с запада на восток, которые в основном представляют собой восточную периферию азовских антициклонов. Летом антициклоны стационарируют над Центральной Европой. Смещаясь к востоку, антициклон способствует превращению малоградиент-

ного размытого отрога в гребень с большими барическими градиентами.

Отроги и гребни ориентированные с востока на запад чаще наблюдаются зимой и осенью. Они распространяются от стационарных антициклонов на юго-востоке ЕЧС или над Северным Казахстаном. Значительно реже встречаются гребни, направленные с севера и юга.

Несмотря на то что повторяемость циклонических образований больше, чем антициклонических, на юге ЕЧС наблюдается более высокое давление, чем в центральных и северных районах ЕЧС. Это объясняется общим ослаблением циклонической деятельности на юге ЕЧС и усилением антициклонической. Ослабление циклонической деятельности проявляется в уменьшении интенсивности и скорости перемещения циклонических образований.

Сезонные особенности атмосферной циркуляции определяются циркуляционными и радиационными факторами.

В холодное полугодие преобладает роль циркуляционного фактора. Зимой очень развита циклоническая деятельность, и поэтому наблюдается интенсивный межширотный обмен воздуха. Значе-



ние радиационного фактора уменьшается вследствие относительно малой высоты солнца над горизонтом, небольшой продолжительности дня и значительной облачности.

Переход к зимнему сезону осуществляется тогда, когда подстилающая поверхность бывает уже значительно выхолажена и начинаются регулярные вторжения арктического воздуха на юг ЕЧС. Арктический воздух обычно распространяется в район Азовского моря при перемещении антициклонов с северо-востока или северо-запада в тылу серии «пыряющих» циклонов. Похолодание обуславливается смещением антициклона с района Великобритании на Центральную Европу, по западной периферии которого нередко происходит вторжение арктического воздуха в южные районы ЕЧС со стороны Скандинавии. Циклоническая деятельность наблюдается над восточными районами ЕЧС и Западной Европой. Обширный антициклон над Британскими островами медленно перемещается к востоку или к юго-востоку. Воздушные массы, циркулирующие в его системе, испытывают радиационное выхолаживание над холодной подстилающей поверхностью Европы. Под входом высотной фронтальной зоны, образованной над севером Скандинавии при адвекции холодных масс воздуха из арктического бассейна, оформляется ядро повышенного давления. Смещаясь по ведущему потоку на юго-восток, это ядро обуславливает дополнительное похолодание на юге ЕЧС.

При этих процессах минимальная температура воздуха в районе Азовского моря может понижаться до  $-5^{\circ}\text{C}$ . Во второй половине периода отмечается более сильное понижение температуры, достигающее на прибрежных станциях севера и северо-востока Азовского моря  $-12^{\circ}\text{C}$ .

Похолодание вызывается также синоптическими процессами, характеризующимися перемещением холодного антициклона с севера Скандинавии на юг ЕЧС.

Хорошо развитая ложбина, расположенная над восточной половиной ЕЧС и Западной Сибирью, связана с циклонической системой над Таймыром. В приземных слоях под входом ВФЗ над Карским морем и прилежащими к нему районами при хорошо выраженной сходимости изогипс и адвекции холодных воздушных масс с Баренцева моря оформляется антициклон или барическое ядро. Этот антициклон, усиливаясь и распространяясь в тылу развитых циклонов, смещается по ведущему потоку на юго-восток.

При продвижении антициклона над сушей происходит дополнительное охлаждение воздушных масс за счет радиационного выхолаживания. При этих процессах минимальная температура воздуха на побережье Азовского моря достигает  $-14^{\circ}\text{C}$ .

Другим характерным для зимы процессом являются восточные воздействия, связанные с усилением восточного антициклона. При этом в район Азовского моря происходит заток холодных масс воздуха: прежнего арктического или холодного континентального полярного воздуха с Казахстана по восточной периферии этого антициклона.

Над Азовским морем устанавливаются значительные барические градиенты, вызывающие сильные холодные ветра восточной четверти, поскольку при данном процессе преобладает антициклогенез на северо-востоке ЕЧС и циклогенез над Черным

морем. Минимальная температура на побережье Азовского моря достигает  $-15^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Отличительной особенностью холодного полугодия (октябрь—март) в районе Азовского моря являются частые оттепели. Они наступают после холодной погоды и сменяются затем резкими похолоданиями.

Наиболее интенсивные оттепели, значительные осадки, гололеды и метели наблюдаются при выходе на Азовское море южных и юго-западных циклонов, приносящих в теплых секторах морской тропический воздух со Средиземного и Черного морей.

Эти циклоны часто являются низкими барическими образованиями, перемещаются сериями (по 2—3 члена в серии) и при выходе с акватории Черного моря быстро заполняются.

Термобарическое поле данных процессов характеризуется теплым гребнем, направленным с района о. Мадейра на Британские острова, и обширной ложбиной, направленной с востока Баренцева моря на центральную часть Средиземного моря.

Частные циклоны на юго-западе Черного моря появляются преимущественно на юго-восточной периферии обширного циклона над Средиземным морем, под зоной расходимости воздушных течений при скорости ветра в средиземноморской ветви полярной ВФЗ более  $50-60\text{ км/ч}$  и контрасте температур более  $10^{\circ}\text{C}$  на  $1000\text{ км}$ .

Возникающие циклоны перемещаются с северо-запада Черного моря на северо-восток со средней скоростью  $30-60\text{ км/ч}$ . В январе—марте, когда ВФЗ наиболее активна, скорость их перемещения достигает  $70-80\text{ км/ч}$ .

Переход к весеннему сезону характеризуется повышением роли радиационного фактора с усилением влияния подстилающей поверхности. По условиям циркуляции начало весны связано с ослаблением северо-восточных процессов и усилением западных.

В связи с прогреванием Евразийского материка разрушается восточный антициклон. Его влияние еще сказывается в марте и апреле, когда в систему антициклона входят ядра с запада и северо-запада. Так, в первую половину весны условия для стационарирования антициклонов над юго-востоком ЕЧС еще сохраняются, продолжительность существования этих процессов и характер погоды в них полностью соответствуют зимним.

Весенний сезон характеризуется усилением азорского антициклона, который постепенно распространяется к востоку и северу.

Вынос тропического воздуха в рассматриваемый район происходит обычно начиная с апреля, когда наблюдается ослабление обширного антициклона над Сибирью и Казахстаном. Тропические воздушные массы выносятся в район Азовского моря южными циклонами ежегодно. Эти циклоны выходят на юго-восток Черного моря и Северный Кавказ из Малой Азии и Ирака. Больше всего южных циклонов наблюдается в апреле (30 %), а меньше всего в сентябре.

Наличие устойчивого высотного гребня над Западной и Центральной Европой при этих процессах способствует проникновению холодных воздушных масс на Балканский полуостров и западную часть Турции. При этом над территорией Кавказа наблюдается адвекция тепла.

Во вторую половину весеннего сезона межширотный обмен над югом ЕЧС ослабевает. Усиливается азорский антициклон, повторяемость циклонов уменьшается. В мае характер погоды приближается к летнему.

Летний сезон характеризуется высокой интенсивностью солнечной радиации и слабой адвекцией. Район Азовского моря попадает в сферу влияния южных, юго-западных и западных синоптических процессов и значительно реже северо-западных. В этот сезон для барического поля характерны слабо развитые размытые области повышенного и пониженного давления. Небольшие циклонические возмущения возникают под влиянием орографии и термической неоднородности подстилающей поверхности. Ядра высокого давления образуются над морями или являются отдельными образованиями азорского антициклона. Вторжения арктического воздуха летом полностью прекращаются. Азорский антициклон постепенно распространяется на восток. Выход антициклонов азорского происхождения на Европу характеризует начало летнего сезона. Над югом ЕЧС образуется широкая полоса повышенного давления. Чаще всего она представлена в виде отрогов, ориентированных с запада на восток от стационарных антициклонов над Центральной Европой.

Высотная фронтальная зона поднимается к северу и распространяется над центральными и северными районами ЕЧС, поэтому западные и северо-западные циклоны летом встречаются редко.

Над обширными районами Средней Азии формируется термическая депрессия, нередко распространяющаяся на юго-восток ЕЧС. По северной периферии этой депрессии поступает сухой континентальный воздух умеренных широт, а иногда тропический континентальный воздух. При этом устанавливается жаркая сухая погода.

Летний сезон, особенно его вторая половина, характеризуется преобладанием областей повышенного давления. Области низкого давления представлены преимущественно слабо выраженными циклонами и ложбинами.

Атмосферные процессы осенью и весной сходны, но развиваются в обратном порядке. В начале

осени азорский антициклон начинает ослабевать, его ядра все реже выходят на территорию Европы.

Высотная фронтальная зона, постепенно опускаясь к югу, располагается над центральными районами ЕЧС. Спускаются ниже и траектории исландских циклонов, но над рассматриваемой территорией еще наблюдается антициклогенез. В этом основное различие весеннего и осеннего сезонов. В сентябре начинаются вторжения арктического воздуха, но небольшие и кратковременные. В основном они захватывают восточную часть ЕЧС. Постепенно их повторяемость и интенсивность увеличиваются, достигая максимума зимой.

В течение осени влияние азорского антициклона на район Азовского моря полностью прекращается и вместо него в октябре—ноябре начинает оказывать влияние развивающийся сибирский антициклон. На юго-востоке ЕЧС частично создаются условия для стационарирования антициклонов.

Во вторую половину осени усиливается циклоническая деятельность. Растет повторяемость южных и западных циклонов. Таким образом условия циркуляции атмосферы во вторую половину осени приближаются к условиям зимнего сезона.

## 2.5. Атмосферное давление и ветер

При составлении раздела использованы следующие источники и материалы: справочники по климату СССР [76—81], «Гидрометеорологический справочник Азовского моря» [40], «Регистр СССР. Ветер и волны в океанах и морях» [58], справочник «Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР» [39], ежемесячники за 1961—1976 гг., ежегодники за 1978—1986 гг., данные судовых наблюдений за 1923—1975 гг.

Обработка и анализ исходной метеорологической информации выполнены Севастопольским отделением ГОИН, ГОИН и ВНИИГМИ—МЦД.

### 2.5.1. Атмосферное давление

Среднегодовое давление на береговых станциях Азовского моря составляет 1017,4—1016,2 гПа и убывает с севера на юг и с востока на запад

Таблица 2.4

Экстремальные и средние (месячные, годовые) значения давления (гПа)

| Станция           | Характеристика | I      | II     | III    | IV     | V      | VI     | VII    | VIII   | IX     | X      | XI     | XII    | Год    |
|-------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Геничск           | Средняя        | 1020,3 | 1019,3 | 1017,2 | 1014,8 | 1014,5 | 1012,5 | 1011,1 | 1013,1 | 1017,2 | 1020,0 | 1020,3 | 1020,4 | 1016,7 |
|                   | Минимальная    | 983    | 981    | 985    | 987    | 991    | 994    | 995    | 994    | 996    | 995    | 989    | 984    | 981    |
|                   | Максимальная   | 1050   | 1045   | 1045   | 1035   | 1034   | 1027   | 1025   | 1026   | 1034   | 1041   | 1044   | 1044   | 1050   |
| Бердяиск          | Средняя        | 1020,8 | 1019,8 | 1018,2 | 1015,2 | 1014,9 | 1012,3 | 1011,0 | 1012,6 | 1017,1 | 1020,0 | 1021,0 | 1020,9 | 1017,0 |
|                   | Минимальная    | 985    | 980    | 987    | 991    | 996    | 994    | 995    | 996    | 997    | 996    | 990    | 985    | 980    |
|                   | Максимальная   | 1049   | 1045   | 1047   | 1034   | 1031   | 1028   | 1024   | 1028   | 1037   | 1042   | 1045   | 1044   | 1049   |
| Мариуполь         | Средняя        | 1020,8 | 1020,7 | 1017,8 | 1015,3 | 1014,8 | 1012,0 | 1010,8 | 1012,8 | 1016,8 | 1020,2 | 1020,7 | 1020,8 | 1016,9 |
|                   | Минимальная    | 978    | 990    | 988    | 990    | 988    | 993    | 993    | 996    | 998    | 992    | 989    | 981    | 978    |
|                   | Максимальная   | 1046   | 1044   | 1048   | 1033   | 1032   | 1027   | 1023   | 1026   | 1034   | 1043   | 1044   | 1049   | 1049   |
| Таганрог          | Средняя        | 1021,5 | 1021,2 | 1018,4 | 1015,9 | 1015,1 | 1012,1 | 1010,8 | 1013,0 | 1017,2 | 1020,5 | 1021,1 | 1021,5 | 1017,4 |
|                   | Минимальная    | 984    | 990    | 987    | 993    | 991    | 995    | 994    | 997    | 995    | 996    | 990    | 986    | 981    |
|                   | Максимальная   | 1045   | 1043   | 1044   | 1032   | 1032   | 1028   | 1021   | 1026   | 1039   | 1043   | 1045   | 1050   | 1050   |
| Приморско-Ахтарск | Средняя        | 1020,0 | 1019,0 | 1017,4 | 1014,9 | 1014,5 | 1012,0 | 1010,9 | 1012,9 | 1016,7 | 1020,2 | 1020,7 | 1020,9 | 1016,7 |
|                   | Минимальная    | 983    | 983    | 987    | 992    | 993    | 997    | 994    | 997    | 997    | 998    | 989    | 988    | 983    |
|                   | Максимальная   | 1048   | 1043   | 1045   | 1035   | 1030   | 1028   | 1023   | 1026   | 1036   | 1041   | 1045   | 1046   | 1048   |
| Керчь             | Средняя        | 1019,8 | 1018,5 | 1016,8 | 1014,7 | 1014,2 | 1011,9 | 1010,6 | 1012,3 | 1016,5 | 1019,0 | 1020,0 | 1020,1 | 1016,2 |
|                   | Минимальная    | 984    | 982    | 981    | 988    | 987    | 991    | 991    | 996    | 993    | 993    | 988    | 982    | 981    |
|                   | Максимальная   | 1048   | 1040   | 1041   | 1034   | 1033   | 1028   | 1023   | 1026   | 1032   | 1039   | 1042   | 1044   | 1048   |

(табл. 2.4). По распределению давления год делится на два периода: октябрь—апрель и июнь—август. Май и сентябрь являются переходными.

В сентябре давление к северу и востоку от моря начинает расти. Над Черным морем образуется область пониженного давления, которая будет существовать весь холодный период. Такое распределение обуславливает убывание атмосферного давления над Азовским морем с севера на юг. Среднемесячное давление в сентябре составляет 1016,5—1017,2 гПа. В октябре полностью формируется отрог, направленный с востока. Прирост давления составляет 3 гПа на северном берегу и 2,5 гПа на юге. В ноябре давление продолжает повышаться и достигает 1021,1 гПа в вершине Таганрогского залива и 1020,0 гПа на юге. Максимум давления приходится на декабрь—январь: 1020,1 гПа в Керчи и 1021,5 гПа в Таганроге. В феврале отмечается общее небольшое понижение давления. В марте в связи со значительным прогреванием и ослаблением отрога сибирского антициклона начинается интенсивное падение давления. В апреле заполняется депрессия над Черным морем, отрог сибирского антициклона еще больше ослабевает, но давление на востоке моря остается выше, чем на западе. Среднемесячное давление составляет 1014,7 гПа в Керчи и 1015,9 гПа в Таганроге. В мае происходит перестройка барического поля: отрог азорского антициклона усиливается и распространяется на восток. Падение давления несколько замедляется из-за динамического фактора — роста атмосферного давления за счет перемещения в район Азовского моря отрога азорского антициклона. В июне атмосферное давление продолжает падать и в июле достигает минимума: 1010,6 гПа в Керчи и 1010,8 гПа в Таганроге. При этом давление на западе моря в период с июня по август несколько выше по сравнению с давлением на востоке. В августе в результате снижения температуры воздуха начинается рост атмосферного давления.

Годовой размах давления максимальный в вершине Таганрогского залива — 10,7 гПа и убывает до 9,5 гПа на южном берегу и 9,3 гПа в западной части моря.

Так как годовой размах растет с ростом континентальности климата, можно сделать вывод: климат северного побережья и Таганрогского залива имеет более континентальный характер по сравнению с климатом южного и западного берега моря. Максимум давления для всех станций моря приходится на зимние месяцы, т. е. все станции характеризуются континентальным типом распределения атмосферного давления.

Среднее месячное давление изменяется от года к году довольно значительно: зимой, особенно в феврале, колебания достигают 15—20 гПа, летом 5—11 гПа. Значительно более устойчивы годовые значения атмосферного давления. Максимальная их разность не превышает 6—8 гПа.

Абсолютные экстремумы атмосферного давления наблюдались на береговых станциях Азовского моря в холодный период года: минимумы на севере в январе—феврале (978—984 гПа), на юге — в марте (981 гПа); максимумы — в декабре—январе (1048—1050 гПа) (см. табл. 2.5). За счет сезонных колебаний интенсивности атмосферной циркуляции максимумы в холодный период значи-

тельно выше, а минимумы ниже по сравнению с таковыми в теплый период. Поэтому абсолютные месячные амплитуды в декабре—январе (64—68 гПа) более чем в два раза превышают амплитуды в июле—августе (27—30 гПа). Межсезонные изменения давления также в два раза выше зимой по сравнению с изменением давления летом.

## 2.5.2. Ветер

Для построения карт распределения средней скорости ветра над открытым морем были использованы данные 27 295 судовых наблюдений. Данные наблюдений обобщались по 45 квадратам моря (рис. 2.19). При малом числе наблюдений в отдельных квадратах моря осреднение проводилось с учетом данных смежных квадратов. Методика вычисления средней скорости ветра для открытой части Азовского моря разработана в СО ГОИН А. П. Черняковой: при расчетах средняя скорость ветра умножалась на коэффициенты (один для скорости ветра 8,0—9,9 м/с, другой для 10 м/с и выше). Для расчета поправочных коэффициентов были использованы данные наблюдений береговых метеостанций.

Для береговых метеостанций учитывалась степень открытости флюгера. С этой целью была использована классификация В. Ю. Милевского, которая учитывает рельеф местности и защищенность метеоплощадки. Из рассмотренных метеостанций нет ни одной площадки, открытой со всех сторон горизонта.

В справочнике «Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР» [39] достаточно подробно освещен режим ветра на Азовском море. Поэтому в настоящее издание с целью избежать дублирования не включены некоторые расчетные таблицы, а типы полей ветра представлены в сжатом виде. К сожалению, в справочнике [39] допущена ошибка: в табл. 3.3 скорости ветра по береговым станциям существенно завышены. Аналогичная таблица в настоящем издании, выполненная на том же материале с последующим дополнением ряда наблюдений до 1986 г., хорошо согласуется с ранее полученными климатическими средними.

Режим ветра тесно связан с распределением атмосферного давления и его сезонными измене-



Рис. 2.19. Схема квадратов Азовского моря.

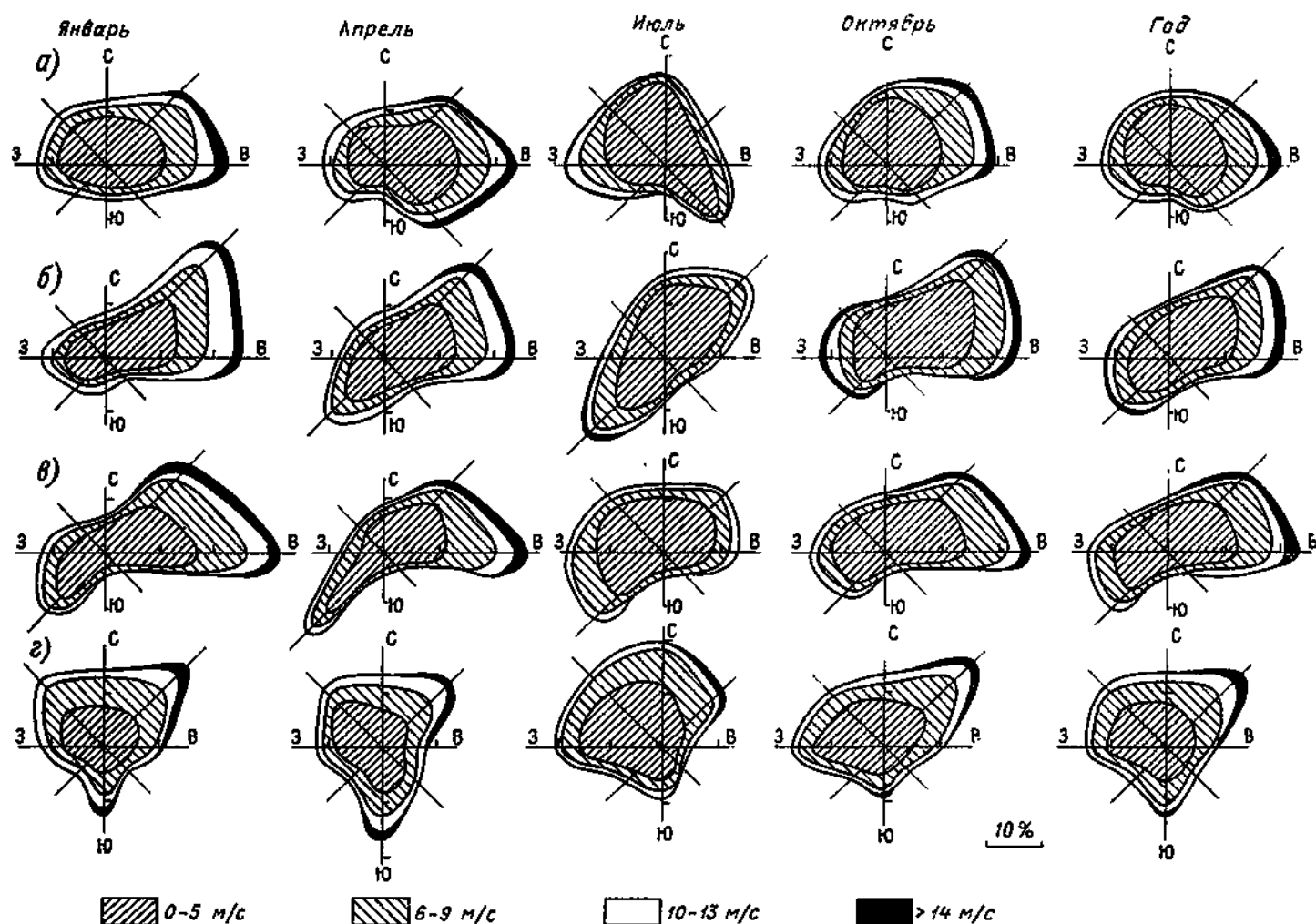


Рис. 2.20. Розы ветров по береговым станциям Азовского моря.

а — Генический, б — Бердянский, в — Таганрог, г — Керчь.

ниями. Преобладающими для побережья и открытой части Азовского моря являются восточные и северо-восточные ветры (рис. 2.20). Среднегодовая скорость ветра составляет 4,5—5,5 м/с на побережье и 7,5 м/с в центральной части Азовского моря (рис. 2.21). Средняя скорость ветра зимой больше, чем летом (см. рис. 2.21).

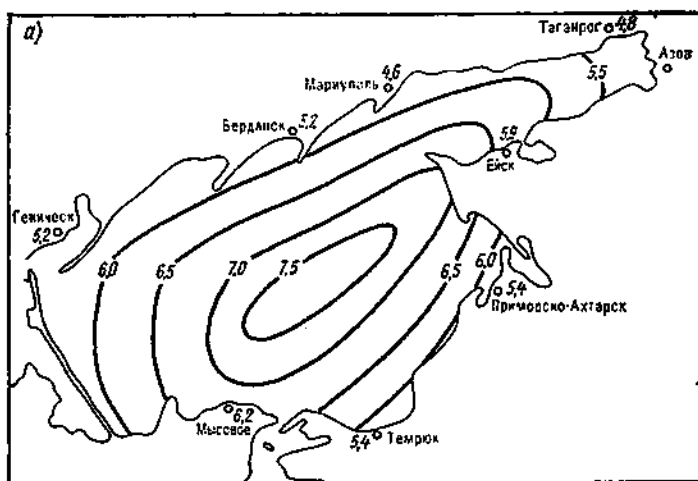
Восточные и северо-восточные ветры преобладают в период, когда Азовское море находится под влиянием отрога сибирского антициклона — с октября по апрель. Суммарная повторяемость этих двух направлений в январе составляет 41—54 % на северном побережье, 36 % в Керчи. Весной и осенью повторяемость восточных и северо-восточных ветров несколько ниже: в апреле 40—46 % на северном побережье, 31 % в Керчи; в октябре 39—51 % в северных районах моря, 25 % в Керчи. При активизации азовского антициклона и ослаблении отрога сибирского антициклона, в период с июня по август, господствующими направлениями становятся северо-западное, западное и юго-западное. Ветровой режим теплого периода является более однородным — преобладание господствующих ветров выражено менее резко, чем с октября по апрель.

В Геническом, Мариуполе и Керчи повторяемость двух направлений — западного и северо-западного — составляет в июле 32—38 %. В Бердянске и Таганроге суммарная повторяемость юго-западного и за-

падного ветра возрастает до 31—34 %. Юго-восточное и южное направления ветра почти на всех станциях имеют повторяемость 4—7 % каждое во все сезоны года. Лишь в Геническом и Керчи повторяемость этих направлений несколько выше. Преобладание южного ветра в Керчи обусловлено географическим положением станции на побережье Керченского пролива, ориентированного в меридиональном направлении. Повышение повторяемости юго-восточного ветра в Геническом вызвано влиянием бриза в теплый период. Кстати, влияние бризов прослеживается на всех станциях, кроме станций южного берега и Таганрогского залива.

Скорость ветра зависит прежде всего от барического градиента и характера подстилающей поверхности. Последний фактор обуславливает значительное увеличение средней месячной и годовой скорости ветра над открытым морем по сравнению с таковой на побережье. Такое увеличение вызвано малым трением воздушного потока о водную поверхность. На береговых станциях скорость ветра также несколько выше, чем на более удаленных от моря станциях.

Наибольшая средняя месячная скорость ветра приходится на холодный период. Повышение средней скорости в холодный период обусловлено значительным градиентом давления между отрогом сибирского антициклона и депрессией над Черным



тельности. В результате минимальная средняя месячная скорость ветра наблюдается в августе—сентябре: для центра моря она составляет 6,5—6,7 м/с, для Таганрогского залива 4,4—5,2 м/с, для побережья 3,7—5,3 м/с.

Годовой размах колебаний средней месячной скорости не превышает 1,2—2,0 м/с. В отдельные годы средняя месячная скорость может значительно отличаться от нормы. Так, в Геническом при февральской норме скорости ветра 5,8 м/с она колебалась от 3 до 12 м/с. В целом изменчивость скорости ветра наибольшая зимой и весной, наименьшая — летом (табл. 2.5). На станциях Мысовое и Должанская среднегодовая скорость ветра равна соответственно 6,2 и 6,4 м/с при среднегодовой скорости ветра на всем побережье 4,6—5,9 м/с. Такое усиление скорости ветра на 0,5—0,7 м/с объяс-

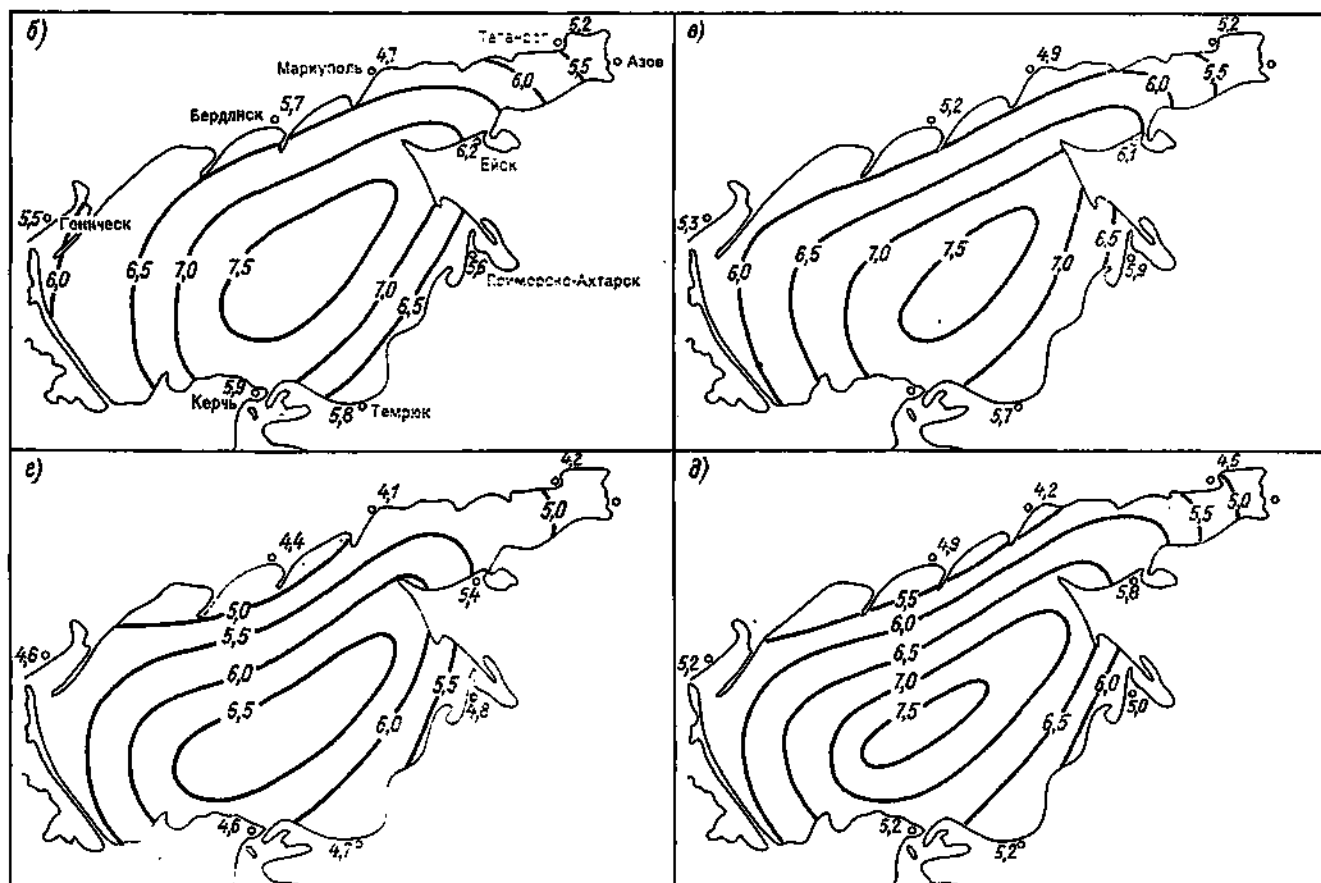


Рис. 2.21. Средняя скорость ветра (м/с) за год (а), январь (б), апрель (в), июль (г) и октябрь (д).

морем. В сезонном ходе существует два максимума — в декабре и марте. Второй максимум (мартовский) связан с некоторым усилением циклонической деятельности. Скорость ветра в декабре в центральном районе моря составляет 8,3 м/с, для береговых станций 6—7 м/с. Мартовский максимум для центра моря равен декабрьскому, а для побережья несколько ниже.

В теплый период происходит значительное уменьшение барических градиентов над районом Азовского моря за счет как смены восточного влияния на западное, так и заполнения черноморской депрессии. Кроме того, происходит значительное снижение интенсивности циклонической дея-

няется эффектом усиления ветра на мысу. Мысовый эффект отражается в увеличении повторяемости скорости ветра 6—9 м/с и снижении повторяемости скорости ветра 2—5 м/с.

Штилевые условия наиболее часто отмечаются в районе Мариуполя — в 25 % случаев. На этой же станции среднегодовая скорость ветра наименьшая на всем побережье и составляет 4,5 м/с. Наиболее редко штилевые условия наблюдаются в районе Мысового и Должанской — в 10 % случаев. В среднем за год повторяемость штилей на побережье Азовского моря составляет около 16 % с незначительным увеличением зимой до 18 % и уменьшением летом до 14 %.

Таблица 2.5

Средние (месячные, годовые) скорости ветра ( $u$ ) и квадратические отклонения ( $\sigma$ ) по направлениям (м/с)

| Характеристики   | Направление ветра |     |     |     |     |     |     |     | Все направ-<br>ления |
|------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|
|                  | С                 | СВ  | В   | ЮВ  | Ю   | ЮЗ  | З   | СЗ  |                      |
| Геническ         |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| Январь           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 4,2               | 5,8 | 6,8 | 4,7 | 5,6 | 5,3 | 5,0 | 4,2 | 5,4                  |
| $\sigma$         | 2,7               | 3,6 | 4,3 | 3,1 | 3,4 | 3,5 | 3,3 | 2,7 | 3,6                  |
| Повторяемость, % | 12                | 19  | 22  | 8   | 6   | 7   | 14  | 12  | 100                  |
| Апрель           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 4,3               | 5,2 | 6,1 | 5,0 | 4,5 | 6,2 | 5,2 | 4,2 | 5,3                  |
| $\sigma$         | 2,7               | 3,5 | 4,1 | 3,4 | 3,2 | 4,3 | 3,2 | 2,8 | 3,6                  |
| Повторяемость, % | 10                | 17  | 23  | 15  | 4   | 10  | 11  | 10  | 100                  |
| Июль             |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,4               | 4,4 | 4,8 | 3,6 | 3,9 | 5,5 | 5,3 | 3,9 | 4,3                  |
| $\sigma$         | 1,8               | 2,9 | 3,1 | 2,0 | 2,4 | 3,8 | 3,2 | 2,4 | 2,8                  |
| Повторяемость, % | 17                | 11  | 11  | 15  | 5   | 9   | 16  | 16  | 100                  |
| Октябрь          |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,7               | 5,5 | 6,2 | 4,7 | 4,5 | 5,3 | 5,0 | 4,1 | 5,0                  |
| $\sigma$         | 2,1               | 3,5 | 3,7 | 3,2 | 3,4 | 3,8 | 3,2 | 2,7 | 3,4                  |
| Повторяемость, % | 15                | 20  | 19  | 8   | 6   | 9   | 12  | 11  | 100                  |
| Год              |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 4,3               | 5,4 | 6,4 | 4,5 | 4,6 | 5,6 | 5,0 | 4,0 | 5,0                  |
| $\sigma$         | 2,2               | 3,5 | 4,2 | 3,0 | 3,3 | 3,9 | 3,2 | 2,6 | 3,5                  |
| Повторяемость, % | 13                | 16  | 20  | 12  | 5   | 9   | 12  | 12  | 100                  |
| Бердянск         |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| Январь           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 4,3               | 5,9 | 6,5 | 4,6 | 5,9 | 5,2 | 5,5 | 4,4 | 5,6                  |
| $\sigma$         | 3,2               | 4,1 | 4,5 | 3,8 | 4,2 | 3,9 | 4,0 | 3,7 | 4,1                  |
| Повторяемость, % | 8                 | 29  | 25  | 4   | 5   | 7   | 13  | 9   | 100                  |
| Апрель           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 4,0               | 5,4 | 6,1 | 3,5 | 4,7 | 4,8 | 4,7 | 4,5 | 5,0                  |
| $\sigma$         | 3,1               | 4,0 | 4,2 | 2,6 | 3,5 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,8                  |
| Повторяемость, % | 8                 | 23  | 23  | 7   | 9   | 14  | 8   | 8   | 100                  |
| Июль             |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,5               | 3,6 | 4,3 | 3,4 | 3,5 | 5,3 | 5,1 | 4,2 | 4,2                  |
| $\sigma$         | 2,3               | 2,4 | 3,1 | 2,2 | 2,2 | 3,8 | 3,6 | 3,4 | 3,1                  |
| Повторяемость, % | 16                | 20  | 10  | 4   | 8   | 19  | 12  | 11  | 100                  |
| Октябрь          |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,3               | 4,3 | 5,1 | 3,9 | 4,3 | 5,6 | 7,2 | 4,3 | 4,9                  |
| $\sigma$         | 2,1               | 3,2 | 3,8 | 2,7 | 3,2 | 4,2 | 4,6 | 3,2 | 3,7                  |
| Повторяемость, % | 11                | 28  | 23  | 5   | 3   | 9   | 10  | 11  | 100                  |
| Год              |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,4               | 5,2 | 6,3 | 3,7 | 4,3 | 5,2 | 5,4 | 4,0 | 5,0                  |
| $\sigma$         | 2,5               | 3,7 | 4,4 | 2,6 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 3,0 | 3,8                  |
| Повторяемость, % | 11                | 24  | 20  | 6   | 7   | 12  | 11  | 9   | 100                  |
| Маріуполь        |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| Январь           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,7               | 5,0 | 6,3 | 4,2 | 3,5 | 4,4 | 4,2 | 3,8 | 4,7                  |
| $\sigma$         | 2,9               | 3,8 | 5,2 | 4,3 | 2,8 | 3,9 | 3,4 | 3,9 | 4,2                  |
| Повторяемость, % | 10                | 21  | 23  | 3   | 4   | 10  | 14  | 15  | 100                  |
| Апрель           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 4,2               | 5,5 | 7,2 | 2,7 | 3,3 | 4,6 | 3,7 | 3,6 | 4,9                  |
| $\sigma$         | 3,5               | 4,4 | 5,6 | 2,6 | 2,4 | 3,6 | 3,3 | 3,1 | 4,3                  |
| Повторяемость, % | 9                 | 19  | 23  | 6   | 9   | 11  | 10  | 13  | 100                  |
| Июль             |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,9               | 4,2 | 4,2 | 3,0 | 4,0 | 4,7 | 4,1 | 3,3 | 4,2                  |
| $\sigma$         | 2,5               | 2,9 | 3,2 | 2,2 | 2,6 | 3,4 | 3,1 | 2,5 | 3,5                  |
| Повторяемость, % | 14                | 11  | 9   | 6   | 10  | 14  | 13  | 23  | 100                  |
| Октябрь          |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $u$              | 3,4               | 5,5 | 5,3 | 3,6 | 2,9 | 4,7 | 4,1 | 3,3 | 4,2                  |
| $\sigma$         | 2,7               | 4,4 | 3,8 | 3,1 | 2,6 | 3,9 | 3,1 | 3,0 | 3,4                  |
| Повторяемость, % | 11                | 20  | 19  | 5   | 4   | 8   | 13  | 20  | 100                  |

| Характеристики   | Направление ветра |     |     |     |     |     |     |     | Все направ-<br>ления |
|------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|
|                  | С                 | СВ  | В   | ЮВ  | Ю   | ЮЗ  | З   | СЗ  |                      |
| Год              |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 3,8               | 5,4 | 6,3 | 3,5 | 3,4 | 4,6 | 3,7 | 3,3 | 4,5                  |
| $\sigma$         | 3,0               | 4,0 | 4,8 | 3,1 | 2,6 | 3,7 | 3,0 | 3,0 | 3,8                  |
| Повторяемость, % | 10                | 18  | 19  | 6   | 7   | 11  | 12  | 17  | 100                  |
| Таганрог         |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| Январь           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 3,8               | 6,1 | 6,0 | 4,7 | 4,7 | 4,1 | 4,5 | 3,9 | 5,2                  |
| $\sigma$         | 2,4               | 4,1 | 3,9 | 2,9 | 3,1 | 2,6 | 2,8 | 2,4 | 3,6                  |
| Повторяемость, % | 6                 | 22  | 31  | 4   | 3   | 15  | 12  | 7   | 100                  |
| Апрель           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 4,0               | 5,1 | 6,9 | 5,2 | 4,6 | 4,9 | 5,7 | 3,9 | 5,3                  |
| $\sigma$         | 3,2               | 4,0 | 4,2 | 3,8 | 4,1 | 3,6 | 3,6 | 2,8 | 3,9                  |
| Повторяемость, % | 9                 | 19  | 26  | 5   | 4   | 22  | 9   | 6   | 100                  |
| Июль             |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 3,6               | 4,4 | 4,8 | 3,3 | 3,9 | 5,1 | 4,4 | 3,6 | 4,2                  |
| $\sigma$         | 2,1               | 2,8 | 3,1 | 1,8 | 2,8 | 3,1 | 2,8 | 2,3 | 2,8                  |
| Повторяемость, % | 13                | 15  | 14  | 5   | 4   | 17  | 17  | 15  | 100                  |
| Октябрь          |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 3,4               | 5,1 | 5,8 | 3,7 | 4,1 | 4,6 | 4,3 | 3,8 | 4,7                  |
| $\sigma$         | 2,4               | 3,7 | 3,9 | 2,1 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 2,5 | 3,4                  |
| Повторяемость, % | 11                | 20  | 26  | 4   | 3   | 11  | 14  | 11  | 100                  |
| Год              |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 3,5               | 5,5 | 6,3 | 4,0 | 3,8 | 4,8 | 4,3 | 3,7 | 4,9                  |
| $\sigma$         | 2,3               | 3,8 | 4,3 | 3,0 | 2,9 | 3,3 | 3,0 | 2,3 | 3,6                  |
| Повторяемость, % | 10                | 20  | 23  | 7   | 4   | 14  | 14  | 8   | 100                  |
| Керчь            |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| Январь           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 5,6               | 7,4 | 5,9 | 4,8 | 7,5 | 5,5 | 5,0 | 5,3 | 6,0                  |
| $\sigma$         | 3,6               | 4,5 | 4,3 | 3,7 | 4,4 | 3,9 | 3,6 | 3,4 | 4,1                  |
| Повторяемость, % | 15                | 21  | 10  | 6   | 12  | 8   | 11  | 17  | 100                  |
| Апрель           |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 5,6               | 7,3 | 6,6 | 4,6 | 6,4 | 5,2 | 4,1 | 4,2 | 5,6                  |
| $\sigma$         | 3,9               | 4,3 | 4,5 | 3,2 | 4,2 | 3,8 | 3,0 | 3,2 | 4,0                  |
| Повторяемость, % | 14                | 17  | 8   | 9   | 17  | 9   | 11  | 15  | 100                  |
| Октябрь          |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 4,9               | 6,4 | 5,5 | 4,2 | 5,1 | 4,5 | 3,9 | 4,3 | 4,8                  |
| $\sigma$         | 3,1               | 3,7 | 3,7 | 2,5 | 3,4 | 3,1 | 2,4 | 2,7 | 3,2                  |
| Повторяемость, % | 19                | 15  | 5   | 6   | 8   | 9   | 19  | 19  | 100                  |
| Июль             |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 4,8               | 6,7 | 6,1 | 4,2 | 6,3 | 4,6 | 3,8 | 4,3 | 5,2                  |
| $\sigma$         | 3,5               | 4,3 | 4,0 | 3,3 | 4,3 | 3,4 | 2,8 | 3,2 | 3,9                  |
| Повторяемость, % | 14                | 23  | 10  | 6   | 8   | 8   | 16  | 15  | 100                  |
| Год              |                   |     |     |     |     |     |     |     |                      |
| $\mu$            | 5,3               | 7,4 | 6,3 | 4,5 | 6,3 | 5,0 | 4,2 | 4,5 | 5,5                  |
| $\sigma$         | 3,3               | 4,2 | 4,2 | 3,3 | 4,1 | 3,5 | 3,0 | 3,2 | 3,8                  |
| Повторяемость, % | 14                | 19  | 9   | 7   | 13  | 8   | 14  | 16  | 100                  |

Суточный ход скорости ветра в районе Азовского моря явно выражен только в теплый период. Так, в Геническом с ноября по февраль скорость ветра к 13 ч возрастает на 0,3—0,7 м/с, а к 19 ч на столько же уменьшается. В теплый период амплитуда суточного хода возрастает более чем в два раза и становится равной 1,0—1,7 м/с. Слабые ветры (0—6 м/с) чаще наблюдаются ночью, а умеренные (6—9 м/с) и сильные (10—13 м/с) — днем. Днем также несколько выше повторяемость ветров со скоростью 14—17 м/с. Повторяемость ветра со скоростью более 18 м/с от времени суток не зависит.

В течение года на Азовском море преобладают слабые ветры. Их повторяемость составляет 60—

70 %. Лишь в Мысовом и Должанской повторяемость несколько ниже и равна 45—50 %. На долю умеренных ветров приходится несколько меньше 20 % (в Мысовом до 33 %), на долю сильных — 7—10 %. Ветер со скоростью 20—24 м/с может отмечаться в любое время года, а со скоростью больше 24 м/с только в период с октября по апрель (см. рис. 2.20).

Ветры со скоростью больше 14 м/с имеют преимущественно северо-восточное и восточное направление. В Керчи такой ветер может отмечаться и с юга. В теплый период происходит усиление западного и юго-западного ветра.

Скорость ветра без учета направления, полученная расчетным путем, возможная один раз в год,



Среднее и максимальное число дней со скоростью ветра  $u \geq 10, 15$  м/с

| Станция           | u<br>м/с | Январь  |              | Апрель  |              | Июль    |              | Октябрь |              | Год     |              |
|-------------------|----------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
|                   |          | Среднее | Максимальное | Среднее | Максимальное | Среднее | Максимальное | Среднее | Максимальное | Среднее | Максимальное |
| Геничск           | 10       | 9,0     | 16           | 8,0     | 15           | 4,0     | 7            | 6,0     | 14           | 76      | 100          |
|                   | 15       | 2,0     | 8            | 2,0     | 10           | 1,3     | 6            | 2,2     | 10           | 24      | 60           |
| Бердянск          | 10       | 10,0    | 15           | 9,0     | 20           | 6,3     | 20           | 6,0     | 18           | 91      | 198          |
|                   | 15       | 2,5     | 10           | 2,2     | 8            | 1,3     | 7            | 2,0     | 13           | 25      | 89           |
| Мариуполь         | 10       | 12,0    | 22           | 9,0     | 20           | 5,0     | 10           | 7,0     | 11           | 106     | 171          |
|                   | 15       | 2,8     | 10           | 2,3     | 11           | 1,2     | 5            | 2,3     | 8            | 26      | 98           |
| Таганрог          | 10       | 8,0     | 13           | 8,0     | 14           | 3,0     | 7            | 4,0     | 11           | 72      | 94           |
|                   | 15       | 2,5     | 9            | 3,0     | 9            | 1,2     | 5            | 2,1     | 9            | 29      | 55           |
| Приморско-Ахтарск | 10       | 10,0    | 16           | 8,0     | 16           | 5,0     | 13           | 6,0     | 15           | 88      | 127          |
|                   | 15       | 2,8     | 12           | 3,1     | 9            | 1,6     | 7            | 2,4     | 10           | 30      | 66           |
| Мысовое           | 10       | 16,0    | 22           | 12,0    | 17           | 8,0     | 15           | 12,0    | 20           | 145     | 174          |
|                   | 15       | 3,9     | 13           | 2,5     | 9            | 1,5     | 8            | 2,7     | 12           | 34      | 63           |

близка к 25 м/с, один раз в 10 лет — к 30 м/с, один раз в 20 лет — к 34 м/с.

Штормовые ветры со скоростью больше 25 м/с представляют большую опасность. В феврале 1953 г. на многих станциях отмечался ветер со скоростью 25—30 м/с, в Мариуполе скорость ветра при порывах достигала 40 м/с — максимального значения, которое может быть определено по флюгеру с тяжелой доской.

Среднее годовое число дней со скоростью ветра больше или равной 10 м/с колеблется от 76 в Геничске до 145 в Мысовом (табл. 2.6), максимальное число дней (198) — в Бердянске. Среднее годовое число дней со скоростью ветра больше или равной 15 м/с составляет 24—34. Максимальное возможное число дней (98) отмечается в Мариуполе.

Штормы силой 9 баллов наблюдаются 2—8 раз в год. Чаще всего они бывают в феврале—марте и реже всего в августе—сентябре. Штормы силой 10 баллов наблюдаются один раз в пять лет. Штормы такой силы охватывают обычно всю акваторию моря. Средняя продолжительность штормов меняется от 12 ч в августе до 28 ч в декабре и марте. Наибольшая непрерывная продолжительность колеблется от 40 ч в июле до 200 ч в ноябре. Наибольшей повторяемостью и продолжительностью, особенно в холодный период, отличаются восточные и северо-восточные шторма.

Работа по типизации полей ветра для района Азовского моря выполнена А. П. Черняковой (СО ГОИН), а затем несколько доработана и обобщена В. П. Беловым (ГОИН). Основой для типизации послужили 29 тысяч синоптических карт за десятилетний период.

В результате выделено восемь типов полей ветра над Азовским морем, соответствующих восьми основным румбам. Внутри всех типов выделено четыре-пять подтипов, соответствующих различным градиентам скорости ветра. На рис. 2.22 приведено пространственное распределение скоростей ветра для всех восьми типов.

Рисунки для всех подтипов полей ветра опубликованы ранее в справочнике «Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР» [39].

Тип 1. Северные с переходом на северо-северо-восточные ветры. Повторяемость типа зимой

9,5 %, летом 14,5 %. Такое увеличение обусловлено ростом повторяемости градиции 0—5 м/с с 5,7 % зимой до 11,2 % летом (табл. 2.7). Средняя про-

Таблица 2.7

Повторяемость (%) типовых полей ветра по сезонам

| Градиции скорости ветра, м/с | Тип ветра |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                              | С         | СВ  | В   | ЮВ  | Ю   | ЮЗ  | З   | СЗ  |
| Весна                        |           |     |     |     |     |     |     |     |
| 0—5                          | 6,3       | 6,4 | 8,9 | 6,3 | 7,2 | 6,9 | 7,5 | 5,6 |
| 5—10                         | 2,9       | 3,9 | 6,4 | 1,5 | 2,9 | 5,1 | 2,9 | 3,8 |
| 10—15                        | 1,2       | 2,3 | 2,4 | 0,3 | 1,8 | 2,4 | 1,1 | 1,6 |
| 15—20                        | 0,1       | 0,2 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| Лето                         |           |     |     |     |     |     |     |     |
| 0—5                          | 11,2      | 8,9 | 7,2 | 5,2 | 5,1 | 6,9 | 9,6 | 6,8 |
| 5—10                         | 2,8       | 5,8 | 7,6 | 0,4 | 2,1 | 2,6 | 3,3 | 4,4 |
| 10—15                        | 0,3       | 2,0 | 4,7 | 0   | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| 15—20                        | 0         | 0,1 | 0,1 | 0   | 0   | 0,1 | 0,1 | 0   |
| Осень                        |           |     |     |     |     |     |     |     |
| 0—5                          | 7,3       | 8,1 | 8,4 | 4,9 | 5,7 | 7,1 | 7,7 | 7,1 |
| 5—10                         | 3,5       | 4,4 | 4,8 | 0,7 | 3,4 | 5,0 | 3,3 | 4,8 |
| 10—15                        | 1,0       | 2,7 | 1,6 | 0   | 1,5 | 1,7 | 0,9 | 2,5 |
| 15—20                        | 0,3       | 0,4 | 0,4 | 0   | 0   | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| 20—25                        | 0         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0,1 |
| Зима                         |           |     |     |     |     |     |     |     |
| 0—5                          | 5,7       | 5,7 | 8,7 | 5,4 | 5,5 | 3,7 | 4,9 | 5,0 |
| 5—10                         | 2,9       | 5,1 | 7,2 | 1,9 | 3,6 | 2,7 | 2,6 | 5,1 |
| 10—15                        | 0,6       | 3,7 | 2,4 | 0,4 | 3,5 | 2,6 | 2,5 | 3,7 |
| 15—20                        | 0,3       | 0,8 | 1,1 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| 20—25                        | 0         | 0   | 0,2 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |

должительность действия этого типа для подтипа 0—5 м/с несколько меньше суток летом и осенью и 14—16 ч весной и зимой, для подтипа 15—20 м/с — 6—8 ч во все сезоны, кроме лета (табл. 2.8). Максимальная продолжительность для подтипа 0—5 м/с колеблется от 2 до 4 сут (табл. 2.9).

Тип 2. Северо-восточные с переходом на восточно-северо-восточные ветры. Повторяемость этого типа довольно высокая и составляет 12,8—16,8 % в зависимости от сезона (см. табл. 2.7). Средняя про-

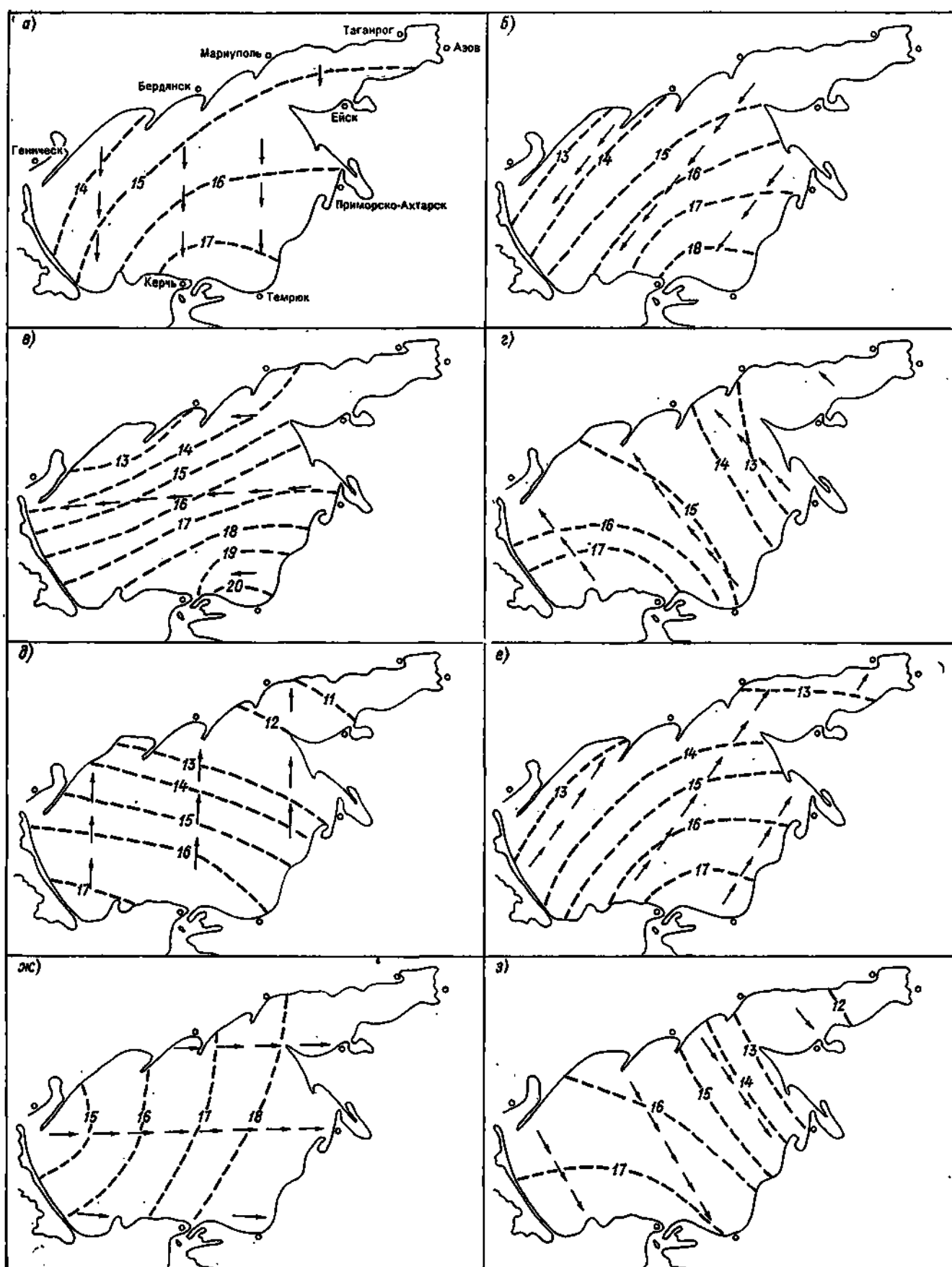


Рис. 2.22. Типы полей ветра (подтип 15—20 м/с).

а — тип 1 (северный), б — тип 2 (северо-восточный), в — тип 3 (восточный), г — тип 4 (юго-восточный), д — тип 5 (южный), е — тип 6 (юго-западный), ж — тип 7 (западный), з — тип 8 (северо-западный).

Таблица 2.8

Средняя продолжительность (ч) действия различных типов ветра

| Градации скорости ветра, м/с | Тип ветра |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
|                              | С         | СВ | В  | ЮВ | Ю  | ЮЗ | З  | СЗ |
| Весна                        |           |    |    |    |    |    |    |    |
| 0—5                          | 14        | 16 | 25 | 24 | 16 | 17 | 13 | 16 |
| 5—10                         | 14        | 18 | 22 | 16 | 16 | 14 | 13 | 15 |
| 10—15                        | 11        | 22 | 19 | 20 | 18 | 16 | 13 | 9  |
| 15—20                        | 6         | 0  | 15 | 0  | 18 | 12 | 12 | 21 |
| Лето                         |           |    |    |    |    |    |    |    |
| 0—5                          | 23        | 29 | 16 | 20 | 15 | 24 | 18 | 23 |
| 5—10                         | 15        | 20 | 15 | 20 | 15 | 19 | 18 | 16 |
| 10—15                        | 12        | 22 | 20 | 0  | 11 | 17 | 15 | 14 |
| 15—20                        | 0         | 12 | 12 | 0  | 0  | 36 | 12 | 0  |
| Осень                        |           |    |    |    |    |    |    |    |
| 0—5                          | 20        | 22 | 26 | 21 | 13 | 18 | 13 | 14 |
| 5—10                         | 17        | 18 | 19 | 18 | 17 | 14 | 12 | 14 |
| 10—15                        | 13        | 19 | 20 | 0  | 12 | 14 | 14 | 11 |
| 15—20                        | 8         | 14 | 19 | 0  | 0  | 6  | 6  | 11 |
| 20—25                        | 0         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 6  |
| Зима                         |           |    |    |    |    |    |    |    |
| 0—5                          | 16        | 25 | 22 | 24 | 18 | 12 | 13 | 13 |
| 5—10                         | 14        | 18 | 20 | 17 | 28 | 15 | 11 | 15 |
| 10—15                        | 10        | 23 | 18 | 10 | 15 | 14 | 12 | 15 |
| 15—20                        | 8         | 21 | 29 | 12 | 10 | 10 | 8  | 10 |
| 20—25                        | 0         | 0  | 41 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Таблица 2.9

Наибольшая продолжительность (ч) действия различных типов ветра

| Градации скорости ветра, м/с | Тип ветра |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------------|-----------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                              | С         | СВ  | В   | ЮВ  | Ю  | ЮЗ | З  | СЗ |
| Весна                        |           |     |     |     |    |    |    |    |
| 0—5                          | 48        | 48  | 180 | 90  | 54 | 48 | 36 | 42 |
| 5—10                         | 30        | 57  | 84  | 42  | 60 | 48 | 30 | 36 |
| 10—15                        | 27        | 112 | 42  | 24  | 45 | 36 | 30 | 21 |
| 15—20                        | 6         | 36  | 60  | 0   | 24 | 21 | 12 | 24 |
| Лето                         |           |     |     |     |    |    |    |    |
| 0—5                          | 90        | 72  | 60  | 60  | 24 | 90 | 72 | 72 |
| 5—10                         | 36        | 72  | 48  | 24  | 24 | 60 | 42 | 42 |
| 10—15                        | 18        | 60  | 36  | 0   | 12 | 30 | 24 | 24 |
| 15—20                        | 0         | 12  | 12  | 0   | 0  | 36 | 12 | 0  |
| Осень                        |           |     |     |     |    |    |    |    |
| 0—5                          | 60        | 48  | 120 | 69  | 78 | 21 | 66 | 42 |
| 5—10                         | 60        | 75  | 72  | 36  | 81 | 42 | 42 | 48 |
| 10—15                        | 30        | 39  | 48  | 0   | 24 | 33 | 21 | 36 |
| 15—20                        | 12        | 30  | 32  | 0   | 0  | 6  | 6  | 24 |
| 20—25                        | 0         | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 6  |
| Зима                         |           |     |     |     |    |    |    |    |
| 0—5                          | 48        | 96  | 120 | 114 | 36 | 24 | 36 | 36 |
| 5—10                         | 24        | 96  | 66  | 42  | 72 | 60 | 42 | 66 |
| 10—15                        | 18        | 81  | 96  | 24  | 48 | 48 | 30 | 63 |
| 15—20                        | 9         | 48  | 96  | 12  | 12 | 12 | 12 | 21 |
| 20—25                        | 0         | 0   | 60  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  |

должительность для первых трех подтипов скорости ветра составляет около 1 сут, максимальная — 2—5 сут. Тип 2 устойчив и может удерживаться 10—13 сут подряд, однако при этом скорость ветра может существенно меняться.

Пространственное распределение скоростей ветра над Азовским морем для типов 1 и 2 сходно: при обоих типах происходит рост скорости ветра с северо-запада на юго-восток (рис. 2.22 а, б).

Тип 3. Восточные ветры. Повторяемость данного типа самая высокая и составляет 15,2—19,6 %. Повторяемость типа 3 вместе с типом 2 составляет 30—36 % в зависимости от сезона, что обусловлено господством над акваторией Азовского моря восточных, северо-восточных ветров. Зимой повторяемость восточного ветра со скоростью 20—25 м/с составляет 0,2 % при средней продолжительности около 2 сут и максимальной 2,5 сут. Средняя продолжительность для первых трех подтипов, так же как и для типа 2, составляет около суток, а для подтипа 15—20 м/с колеблется от 12 до 29 ч в зависимости от сезона. Наибольшая продолжительность действия ветра скоростью больше 10 м/с особенно велика зимой (см. табл. 2.9). Тип 3 устойчив и может удерживаться до 5—9 сут. Пространственное распределение скорости ветра мало отличается от распределения при типах 1 и 2: скорость ветра возрастает с северо-северо-запада на юго-юго-восток (рис. 2.22 в).

Тип 4. Юго-восточные с переходом на юго-юго-восточные ветры. Данный тип имеет наименьшую из всех восьми типов повторяемость: 5,6 % летом и осенью и 7,8—8,2 % зимой и весной, причем с увеличением градации скорости ветра повторяемость резко падает. Летом и осенью ветры скоростью 10—15 м/с юго-восточного направления встречаются крайне редко (см. табл. 2.7). Средняя продолжительность типа в зависимости от подтипа и сезона лежит в пределах от 10 ч до 1 сут (см. табл. 2.8). Максимальная продолжительность зимой для подтипа 0—5 м/с составляет около 5 сут (см. табл. 2.9). Скорость ветра при данном типе возрастает в направлении с северо-востока на юго-запад (рис. 2.22 г).

Тип 5. Южные с переходом на юго-западные ветры. Повторяемость этого типа невелика, особенно летом и осенью (см. табл. 2.7), средняя продолжительность действия, как правило, меньше суток (см. табл. 2.8). Максимальная продолжительность действия типа не превышает 3,5 сут (см. табл. 2.9). Пространственное распределение скорости ветра над акваторией Азовского моря при типе 5 сходно с распределением скорости ветра при типе 4 (рис. 2.22 д).

Тип 6. Юго-западные ветры. Повторяемость данного типа зависит от сезона года и увеличивается с 9,8 % зимой до 14,9 % весной. Такое увеличение происходит в основном за счет роста повторяемости подтипов скоростей ветра 0—5 и 5—10 м/с (см. табл. 2.7). Средняя продолжительность действия типа не превышает, как правило, суток. Летом отмечен один случай за десять лет со скоростью ветра, соответствующей подтипу 15—20 м/с, продолжительностью 36 ч (июль 1969 г.). Максимальная продолжительность типа составляет 2—3 сут (см. табл. 2.9). Пространственное распределение скорости ветра над акваторией моря сходно с ее распределением при типах 1 и 2 (рис. 2.22 е).

Тип 7. Западные с переходом на западно-северо-западные ветры. Повторяемость типа 7 также зависит от сезона и несколько возрастает от зимы к лету (см. табл. 2.7). Средняя продолжительность

действия типа для первых трех подтипов составляет 11—18 ч, для подтипа 15—20 м/с 6—12 ч, максимальная продолжительность летом может достигать 3 сут. Весной и летом отмечено по одному случаю со скоростью ветра, соответствующей подтипу 15—20 м/с, продолжительностью 12 ч (см. табл. 2.7, 2.8). Скорость ветра при типе 7 равномерно возрастает от западного к восточному побережью (рис. 2.22 ж).

Тип 8. Северо-западные ветры. Повторяемость типа 8 составляет 11,1—12,1 % весной и летом, 14,8—14,5 % осенью и зимой, причем на подтипы 0—5 и 5—10 м/с приходится 9—12 % (см. табл. 2.7). Осенью отмечен один случай со скоростью ветра, соответствующей подтипу 20—25 м/с, продолжительностью 6 ч (октябрь 1969 г.), а весной один случай со скоростью, соответствующей подтипу 15—20 м/с, продолжительностью 1 сут (см. табл. 2.8). Максимальная продолжительность действия типа 8 не превышает 3 сут (см. табл. 2.9). Пространственное распределение скорости ветра над Азовским морем при данном типе сходно с распределением скорости ветра при типах 4 и 5 (рис. 2.22 д).

В качестве дополнительных характеристик ветрового режима далее приводятся данные, полученные по методике обработки и анализа векторных временных рядов, разработанной в ЛО ГОИН под руководством В. А. Рожкова. По этой методике для семи береговых станций Азовского моря по розам ветров были рассчитаны математическое ожидание  $m_v$  (резльтирующая) и дисперсия  $D_v$  двумерного вектора процесса  $v(t)$ :

$$m_v(t) = M\{v(t)\} = m_{v_1}(t)e_1 + m_{v_2}(t)e_2; \quad (2.5)$$

$$D_v(t) = M\{\dot{v}(t) \otimes \dot{v}(t)\}, \begin{pmatrix} D_{v_1v_1} & D_{v_1v_2} \\ D_{v_2v_1} & D_{v_2v_2} \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

где  $\dot{v} = v(t) - m(t)$  — центрированный векторный процесс.

Для удобства  $D_v$  целесообразно записать через его инварианты  $\lambda_{1,2}$  и базис  $\{e_1^{(D)}, e_2^{(D)}\}$  в виде

$$D_v = \lambda_1^{(D)}(e_1^{(D)} \otimes e_1^{(D)}) + \lambda_2^{(D)}(e_2^{(D)} \otimes e_2^{(D)}) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix},$$

где  $e_1$  направлен на север ( $v_1$  — проекция на меридиан), а  $e_2$  — на восток ( $v_2$  — проекция на параллель). Базис  $e_i$  повернут относительно базиса  $e_i$  на угол

$$\alpha^{(D)} = 0,5 \arctg [2D_{v_1v_2}(D_{v_1v_1} - D_{v_2v_2})].$$

Инварианты  $\lambda_{1,2}^{(D)}$  являются экстремальными значениями дисперсий проекций  $v(t)$  на оси  $e_i^{(D)}$ .

Для сопоставления между собой дисперсий анализируемых процессов удобно использовать следующие инварианты.

1.  $I_1 = \lambda_1 + \lambda_2$  является количественной характеристикой общей изменчивости векторного процесса независимо от того, меняется ли модуль или направление векторов  $v(t)$ ;

2.  $\chi = \lambda_2/\lambda_1$  уточняет степень вытянутости эллипса дисперсии и может меняться от 0 до 1. Вытянутость эллипса определяет преобладание изменчивости в направлении  $\alpha^{(D)}$ ; при  $\chi = 1$

(эллипс превращается в окружность) изменения во всех направлениях равновероятны.

3.  $Y = |\sqrt{I_1}|/|m_v|$  дает соотношение постоянной и переменной составляющих потока; чем меньше  $Y$ , тем устойчивее поток.

Из табл. 2.10 видно, что годовые значения  $m_v$  для всех семи станций побережья Азовского моря лежат в пределах 1,4—1,0 м/с, причем наибольшая результирующая скорость отмечается в Мысовом, где проявляется эффект усиления ветра на мысу. Летом  $m_v$  на станциях южного побережья (Мысовое, Темрюк, Керчь) увеличивается, а на всем остальном побережье уменьшается. Видимо, такие изменения математического ожидания связаны с бризовым эффектом, который наблюдается на Азовском море в теплый период года. Вектора, отложенные на рис. 2.23, указывают на преобладающее направление ветра. Из рисунка видно, что летом имеется слабый перенос с запада и северо-запада. Во все остальные сезоны существует более значимый перенос с востока, северо-востока, т. е. восточные воздействия более продолжительны и сильны по сравнению с западными.

Общая интенсивность изменений ветра  $I_1$  уменьшается летом и увеличивается зимой, что связано с общим ослаблением или усилением атмосферной

Таблица 2.10

Сезонное изменение средней скорости ветра  $m_v$  и дисперсии  $D_v$

| Центральный<br>месяц сезона,<br>год | $ m_v $ | $\varphi^*$ | $\sqrt{\lambda_1^{(D)}}$ | $\sqrt{\lambda_2^{(D)}}$ | $\alpha^*$ | $I_1$ | $\sqrt{\chi}$ | $\gamma$ |
|-------------------------------------|---------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------|-------|---------------|----------|
| Мысовое                             |         |             |                          |                          |            |       |               |          |
| Январь                              | 1,6     | 50,1        | 6,7                      | 4,7                      | 87,3       | 66,1  | 0,70          | 5,1      |
| Апрель                              | 1,6     | 74,3        | 5,6                      | 4,7                      | 62,8       | 53,5  | 0,83          | 4,5      |
| Июль                                | 2,0     | 332,2       | 5,2                      | 3,6                      | 78,6       | 40,1  | 0,68          | 3,1      |
| Октябрь                             | 1,5     | 34,5        | 6,4                      | 4,3                      | 89,9       | 59,3  | 0,68          | 5,2      |
| Год                                 | 1,4     | 53,4        | 6,0                      | 4,5                      | 80,9       | 55,7  | 0,74          | 5,4      |
| Бердянск                            |         |             |                          |                          |            |       |               |          |
| Январь                              | 2,0     | 57,0        | 5,6                      | 3,7                      | 72,0       | 44,5  | 0,66          | 3,3      |
| Апрель                              | 1,4     | 74,3        | 5,1                      | 3,5                      | 64,0       | 38,1  | 0,68          | 4,4      |
| Июль                                | 0,6     | 295,8       | 4,2                      | 3,0                      | 55,7       | 26,9  | 0,71          | 8,1      |
| Октябрь                             | 1,1     | 34,6        | 5,1                      | 3,1                      | 78,5       | 45,8  | 0,60          | 5,6      |
| Год                                 | 1,2     | 59,4        | 5,2                      | 3,3                      | 70,5       | 37,6  | 0,64          | 5,1      |
| Таганрог                            |         |             |                          |                          |            |       |               |          |
| Январь                              | 1,9     | 72,0        | 5,2                      | 3,0                      | 71,6       | 35,8  | 0,59          | 3,1      |
| Апрель                              | 1,2     | 88,5        | 5,6                      | 3,4                      | 71,4       | 42,6  | 0,61          | 5,4      |
| Июль                                | 0,7     | 316,9       | 4,2                      | 2,8                      | 64,4       | 25,1  | 0,67          | 7,3      |
| Октябрь                             | 1,4     | 54,7        | 4,8                      | 2,9                      | 76,6       | 31,7  | 0,61          | 4,2      |
| Год                                 | 1,2     | 61,6        | 5,1                      | 3,0                      | 73,2       | 35,3  | 0,60          | 4,8      |
| Темрюк                              |         |             |                          |                          |            |       |               |          |
| Январь                              | 1,3     | 73,9        | 5,2                      | 4,2                      | 57,3       | 44,9  | 0,81          | 5,0      |
| Апрель                              | 0,5     | 56,6        | 5,2                      | 4,2                      | 38,7       | 45,8  | 0,81          | 12,5     |
| Июль                                | 1,5     | 343,8       | 4,3                      | 3,3                      | 29,4       | 29,5  | 0,78          | 3,6      |
| Октябрь                             | 1,4     | 46,6        | 4,9                      | 3,9                      | 55,4       | 39,0  | 0,78          | 4,3      |
| Год                                 | 1,0     | 43,2        | 5,0                      | 4,0                      | 48,8       | 41,0  | 0,81          | 6,7      |
| Керчь                               |         |             |                          |                          |            |       |               |          |
| Январь                              | 1,3     | 23,0        | 5,6                      | 4,6                      | 30,9       | 52,1  | 0,83          | 5,7      |
| Апрель                              | 0,6     | 55,8        | 5,4                      | 4,2                      | 22,7       | 46,9  | 0,77          | 10,7     |
| Июль                                | 1,4     | 342,1       | 4,3                      | 3,5                      | 33,4       | 31,0  | 0,81          | 4,6      |
| Октябрь                             | 1,3     | 25,5        | 5,0                      | 3,9                      | 46,3       | 40,4  | 0,78          | 5,0      |
| Год                                 | 1,0     | 22,8        | 5,2                      | 4,2                      | 35,5       | 44,1  | 0,81          | 6,6      |

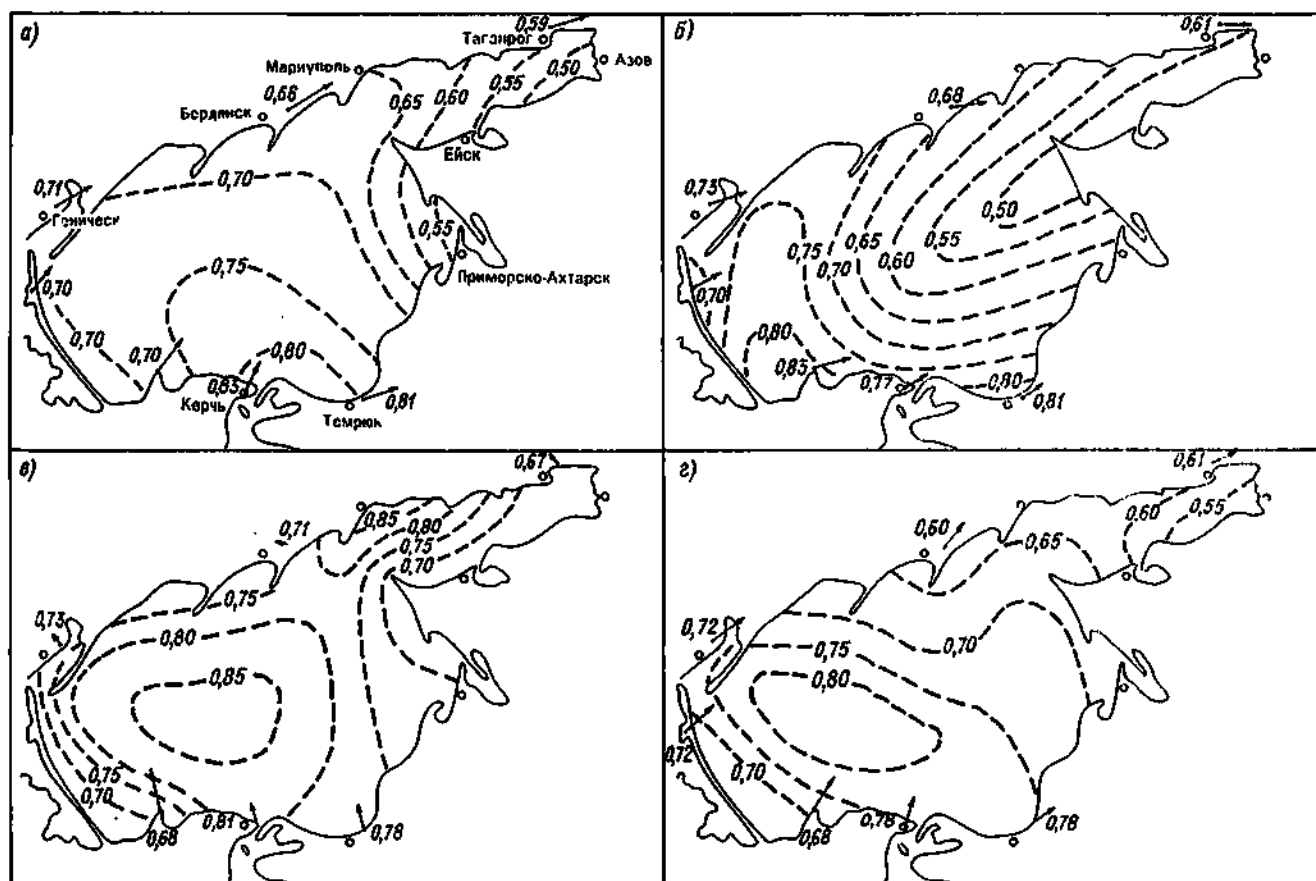


Рис. 2.23. Распределение  $\sqrt{x}$  по акватории Азовского моря в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г).

Значения  $\sqrt{x}$  нанесены пунктиром, стрелка показывает величину и направление результирующего ветра на станции в масштабе 2 м/с в 1 см.

циркуляции в соответствующие периоды. Летом также наблюдается некоторая тенденция к уменьшению вытянутости эллипса дисперсии и общее уменьшение изменчивости как вдоль меридиана, так и вдоль параллели.

Для открытого моря (см. рис. 2.23) характерно слабо эллиптическое распределение ветра в западной части (особенно летом и осенью) и хорошо выраженная эллиптичность в Таганрогском заливе (значения  $\sqrt{x}$ ).

Инвариант  $Y$  существенно больше единицы, что говорит о неустойчивости потока и значительном преобладании во все сезоны переменной части потока над постоянной.

## 2.6. Температура воздуха

Для характеристики режима температуры воздуха над Азовским морем использованы «Климатический и гидрологический атлас Черного и Азовского морей» [46], «Гидрометеорологический справочник Азовского моря» [40], «Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР» [39], а также накопленный к настоящему времени большой дополнительный материал. Кроме того, на основании ежемесячников и ежегодников за 1961—1986 гг. уточнены средние многолетние значения температуры воздуха по береговым наблюдениям.

Для построения карт распределения температуры воздуха над морем были использованы данные 21 747 судовых наблюдений. Поскольку судовые и экспедиционные наблюдения носят эпизодический характер, их распределение по акватории и сезонам года очень неравномерно (табл. 2.11). Кроме того, наблюдения неравномерно распределяются в течение суток, преобладают дневные наблюдения.

В СО ГОИН по данным судовых наблюдений были построены гистограммы. С гистограмм снимались средние значения температуры воздуха на 15-е число каждого месяца, затем вводились поправки на суточный ход. По этим данным построены карты распределения температуры воздуха по акватории моря (рис. 2.24). Для контроля построения и анализа карт использовались данные синхронных наблюдений, подобранные для центральной части моря и для некоторых прибрежных квадратов.

В среднем за год температура воздуха над Азовским морем возрастает от 9 °C у северного берега Таганрогского залива до 11 °C в южной части моря (рис. 2.24 а). Изотермы расположены почти вдоль широтных кругов, поскольку влияние моря в сезоны прогрева и охлаждения в среднем за год компенсируется. Несколько пониженные температуры воздуха в западной части моря по сравнению с таковой в восточной обусловлены распределением суммарной радиации, которое в свою очередь зависит от облачности.

Число наблюдений за температурой воздуха по квадратам

| Квадрат | I   | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X    | XI  | XII |
|---------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|
| 1       | 1   | 0  | 0   | 0   | 3   | 1   | 0   | 0    | 0   | 0    | 0   | 0   |
| 2       | 6   | 4  | 3   | 67  | 91  | 249 | 322 | 106  | 305 | 202  | 62  | 1   |
| 3       | 1   | 0  | 0   | 19  | 42  | 18  | 96  | 20   | 116 | 55   | 7   | 3   |
| 4       | 2   | 0  | 0   | 69  | 195 | 114 | 283 | 103  | 186 | 321  | 30  | 10  |
| 5       | 0   | 0  | 0   | 19  | 14  | 28  | 140 | 47   | 129 | 107  | 1   | 1   |
| 6       | 3   | 0  | 2   | 18  | 31  | 55  | 142 | 37   | 75  | 93   | 14  | 5   |
| 7       | 0   | 1  | 4   | 68  | 99  | 124 | 318 | 127  | 211 | 301  | 48  | 7   |
| 8       | 0   | 1  | 2   | 76  | 159 | 30  | 293 | 35   | 276 | 391  | 24  | 4   |
| 9       | 0   | 0  | 0   | 6   | 2   | 6   | 13  | 7    | 23  | 23   | 0   | 0   |
| 10      | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 2    | 0   | 0    | 0   | 0   |
| 11      | 0   | 0  | 0   | 30  | 23  | 41  | 44  | 59   | 55  | 56   | 37  | 2   |
| 12      | 0   | 0  | 0   | 42  | 30  | 29  | 65  | 95   | 65  | 52   | 55  | 16  |
| 13      | 4   | 1  | 4   | 37  | 57  | 44  | 11  | 40   | 22  | 45   | 17  | 22  |
| 14      | 0   | 2  | 2   | 39  | 30  | 78  | 18  | 21   | 4   | 96   | 12  | 5   |
| 15      | 0   | 0  | 0   | 23  | 163 | 100 | 2   | 88   | 7   | 67   | 37  | 12  |
| 16      | 0   | 0  | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0    | 17  | 0    | 0   | 0   |
| 17      | 0   | 0  | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0    | 17  | 0    | 0   | 0   |
| 18      | 0   | 0  | 2   | 19  | 33  | 13  | 23  | 25   | 22  | 12   | 4   | 2   |
| 19      | 1   | 0  | 0   | 23  | 46  | 20  | 8   | 19   | 75  | 11   | 9   | 1   |
| 20      | 1   | 3  | 11  | 41  | 59  | 51  | 48  | 58   | 37  | 42   | 47  | 14  |
| 21      | 2   | 0  | 6   | 42  | 65  | 137 | 54  | 71   | 155 | 42   | 33  | 21  |
| 22      | 0   | 0  | 1   | 26  | 26  | 38  | 23  | 20   | 35  | 48   | 8   | 5   |
| 23      | 0   | 0  | 0   | 0   | 30  | 19  | 22  | 27   | 18  | 17   | 8   | 0   |
| 24      | 0   | 0  | 1   | 24  | 32  | 36  | 17  | 39   | 13  | 15   | 15  | 0   |
| 25      | 0   | 0  | 2   | 13  | 10  | 54  | 20  | 50   | 0   | 9    | 4   | 2   |
| 26      | 0   | 0  | 0   | 12  | 18  | 16  | 14  | 22   | 0   | 6    | 3   | 0   |
| 27      | 2   | 3  | 7   | 34  | 43  | 32  | 30  | 39   | 5   | 31   | 40  | 19  |
| 28      | 2   | 0  | 4   | 54  | 37  | 33  | 21  | 31   | 0   | 11   | 30  | 10  |
| 29      | 0   | 3  | 2   | 44  | 12  | 62  | 28  | 17   | 0   | 48   | 7   | 3   |
| 30      | 0   | 0  | 1   | 12  | 19  | 13  | 6   | 10   | 0   | 1    | 2   | 0   |
| 31      | 0   | 0  | 1   | 0   | 2   | 1   | 2   | 1    | 0   | 0    | 0   | 0   |
| 32      | 0   | 3  | 5   | 19  | 18  | 25  | 37  | 38   | 4   | 24   | 21  | 7   |
| 33      | 0   | 2  | 4   | 29  | 20  | 15  | 53  | 63   | 3   | 37   | 27  | 8   |
| 34      | 0   | 6  | 2   | 30  | 18  | 15  | 21  | 22   | 1   | 18   | 15  | 3   |
| 35      | 5   | 6  | 11  | 42  | 73  | 42  | 44  | 55   | 5   | 55   | 51  | 25  |
| 36      | 1   | 4  | 10  | 49  | 19  | 31  | 59  | 14   | 3   | 45   | 27  | 11  |
| 37      | 2   | 1  | 5   | 39  | 17  | 100 | 65  | 21   | 2   | 72   | 13  | 6   |
| 38      | 0   | 0  | 0   | 4   | 43  | 51  | 47  | 3    | 0   | 6    | 5   | 1   |
| 39      | 12  | 1  | 11  | 51  | 64  | 79  | 47  | 146  | 0   | 96   | 37  | 22  |
| 40      | 0   | 1  | 1   | 14  | 14  | 33  | 9   | 38   | 0   | 73   | 10  | 0   |
| 41      | 2   | 0  | 4   | 33  | 31  | 31  | 19  | 97   | 2   | 99   | 39  | 16  |
| 42      | 0   | 0  | 5   | 18  | 5   | 24  | 17  | 17   | 0   | 50   | 6   | 1   |
| 43      | 0   | 0  | 1   | 4   | 1   | 5   | 0   | 10   | 0   | 69   | 0   | 0   |
| 44      | 181 | 87 | 85  | 330 | 225 | 450 | 400 | 438  | 314 | 1023 | 315 | 295 |

Годовой ход температуры воздуха существенно зависит от количества поступающей солнечной радиации, а пространственное распределение — от циркуляционного фактора и свойств подстилающей поверхности.

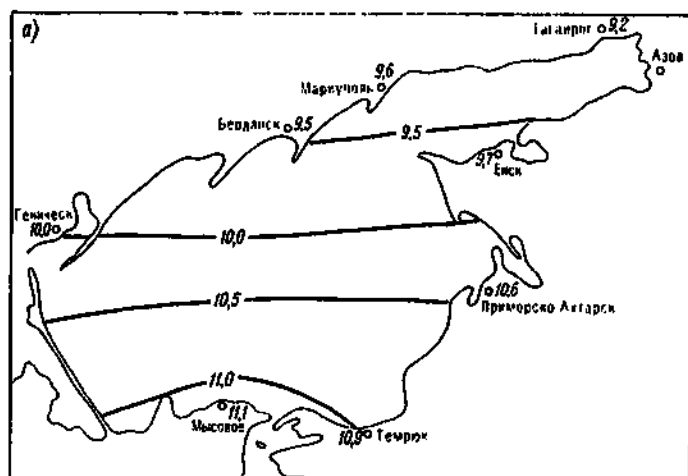
В период с января по март, когда все Азовское море или его большая часть покрыты льдом, распределение температуры воздуха отличается от распределения в другие месяцы: изотермы расположены зонально, температура понижается в направлении с юга на север (рис. 2.24 б). В этот период тепловое влияние моря на атмосферу и окружающую территорию сведено почти к нулю. Наиболее низкие температуры в среднем за месяц наблюдаются в январе: от  $-5,1^{\circ}\text{C}$  в Таганроге до  $-0,5^{\circ}\text{C}$  в Керчи. Немного теплее в февраль. Дополнительному охлаждению способствуют лед и снег, как за счет теплового излучения, так и за счет большого отражения. Если в январе и феврале практически по всему побережью и открытому морю отмечаются отрицательные температуры, то в марте температура воздуха уже выше

нуля и изменяется от  $0,5^{\circ}\text{C}$  в северной части до  $3,6^{\circ}\text{C}$  в южной.

В апреле существенно увеличивается приток солнечной радиации, что вызывает интенсивный рост температуры воздуха. Происходит окончательное таяние льда, но температура воды существенно ниже температуры воздуха. Поэтому рост температуры воздуха на побережье опережает рост температуры воздуха над морем (рис. 2.24 в). В результате над морем образуется зона с пониженными (по сравнению с берегом на  $1,5-2,5^{\circ}\text{C}$ ) значениями температуры. Прирост температуры за месяц составляет  $6-9^{\circ}\text{C}$ .

В мае продолжается интенсивный рост температуры воздуха. Температура на  $6-8^{\circ}\text{C}$  выше апрельской и в центральной части моря составляет  $14-14,5^{\circ}\text{C}$ , увеличиваясь на побережье до  $15,8-17,0^{\circ}\text{C}$ . Зона пониженной температуры воздуха над морем сохраняется, постепенно ослабевая до августа.

Сезонный ход температуры воздуха несколько отличается по сравнению с ходом суммарной



ление циклонической деятельности, что также приводит к понижению температуры воздуха. Над морем в этот период образуется зона повышенных значений температуры воздуха, поскольку вода гораздо медленнее, чем воздух, отдает накопленное за лето тепло. Эта зона сохраняется до полного замерзания моря, причем горизонтальные разности температуры воздуха между центральной частью моря и побережьем непрерывно возрастают от 0,5—1,0 °C в сентябре до 5,0—6,0 °C в декабре. В октябре значения температуры воздуха в результате быстрого их падения составляют около половины июльских значений (рис. 2.24 д). В Таганрогском заливе и на северном побережье моря в ноябре устанавливаются отрицательные температуры воздуха.

Изменчивость среднемесячных температур воздуха особенно велика осенью и зимой, когда

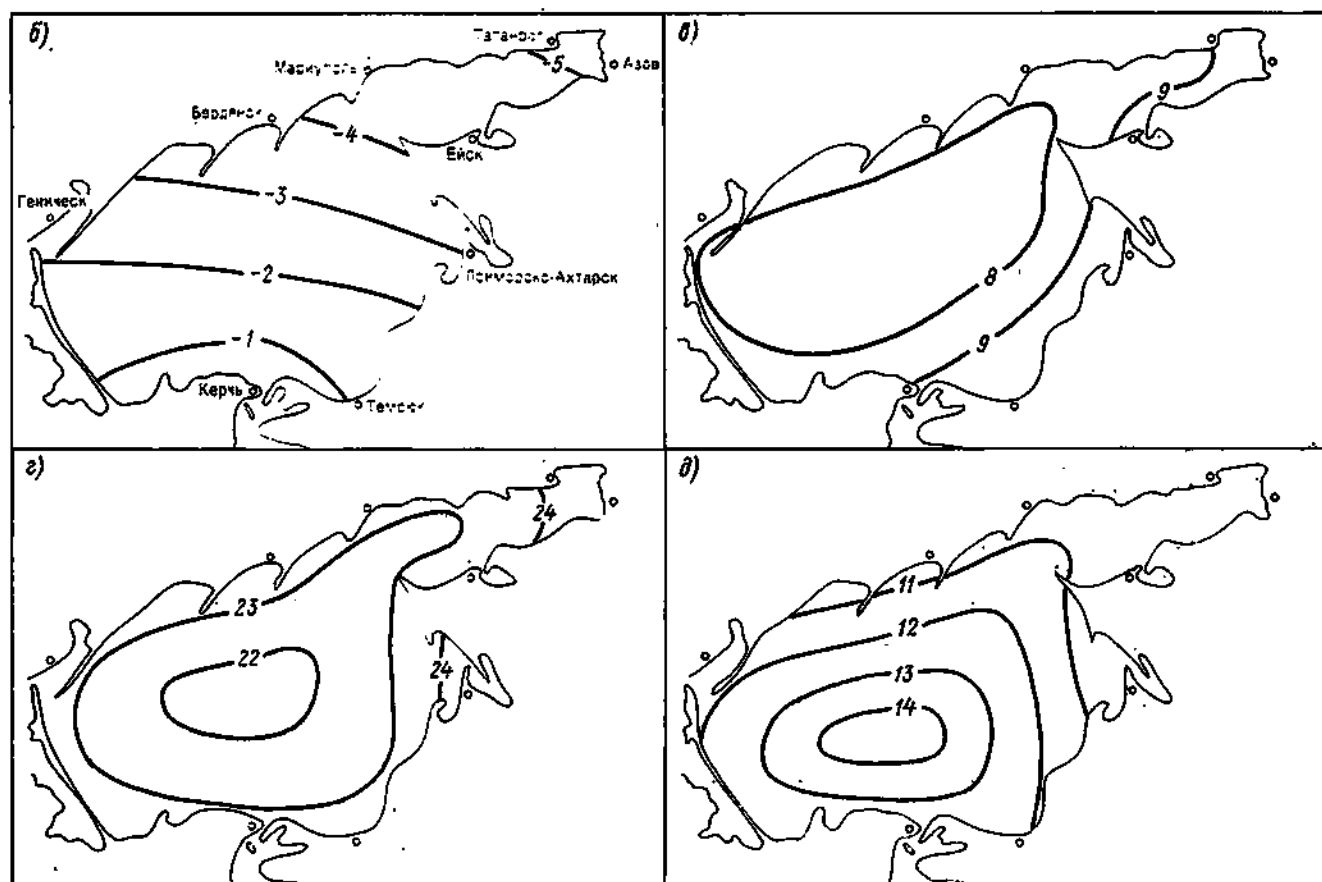


Рис. 2.24. Средняя температура воздуха (°C) за год (а) и средняя температура воздуха над морем в январе (б), апреле (в), июле (г) и октябре (д).

солнечной радиации. Поэтому максимум температуры воздуха приходится не на июнь — июль, а на июль — август (рис. 2.25). На побережье Азовского моря температура воздуха в июле составляет 23,0—23,7 °C. За счет ослабления циклонической деятельности пространственное распределение ее становится более однородным.

С августа — сентября в связи с уменьшением притока солнечной радиации начинается понижение температуры воздуха. В сентябре возрастает роль циркуляционного фактора — происходит смена западного воздействия на восточное и уси-

отклонения от нормы могут составлять до 10 °C, резко уменьшаясь летом.

Размах годового хода на побережье наибольший в Таганроге (14,4 °C), уменьшаясь к западу до 13,0 °C и югу до 12,1 °C. В центре моря размах годового хода минимальный. Такое распределение годового хода температуры воздуха, так же как и атмосферного давления, говорит о большей континентальности северного берега по сравнению с южным. Кроме уже отмеченного сдвига годового хода температуры воздуха относительно хода солнечной радиации существует разность фаз между темпера-



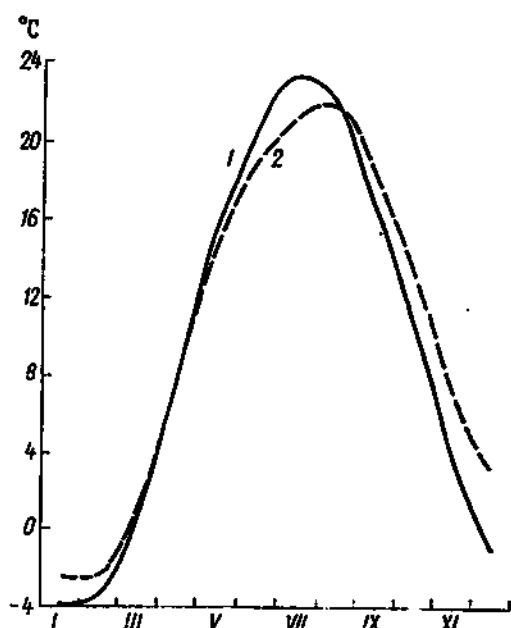


Рис. 2.25. Годовой ход температуры воздуха (°C).  
1 — Бердянск, 2 — центр моря.

турами воды и воздуха. Температура воздуха обгоняет температуру воды в годовом ходе на 8 сут в центральной части моря. К побережью разность фаз уменьшается до 5 сут.

Самые низкие суточные температуры наблюдаются в январе и феврале при вторжениях арктического воздуха в тылу циклонов. Температура воздуха при этом может понижаться до  $-32^{\circ}\text{C}$  на севере и до  $-26\ldots -29^{\circ}\text{C}$  на южном побережье. Абсолютные минимумы в открытом море охарактеризовать нельзя, так как в наиболее суровые зимы судовые наблюдения не производятся. Последние отрицательные значения минимальных температур отмечаются на прибрежных станциях в мае, а первые — в октябре (табл. 2.12).

Наиболее высокие суточные температуры зимой наблюдаются при вторжении тропического воздуха из Малой Азии или морского тропического воздуха с Северной Атлантики. При этом на побережье в декабре может отмечаться повышение температуры воздуха до  $26^{\circ}\text{C}$ , в январе, феврале до  $14\text{--}16^{\circ}\text{C}$ . Летом максимальные температуры отмечаются при длительном сохранении антициклонической погоды. Абсолютный максимум

Таблица 2.12

Экстремальные и средние (месячные, годовые) температуры (°C) воздуха

| Станция   | Характеристика | I    | II   | III | IV  | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI  | XII  | Год  |
|-----------|----------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| Геничск   | Средняя        | -2,7 | -2,7 | 1,6 | 8,6 | 16,0 | 20,9 | 23,3 | 22,3 | 17,1 | 11,3 | 4,9 | 0,0  | 10,0 |
|           | Минимальная    | -30  | -32  | -22 | -7  | -3   | 4    | 8    | 6    | -5   | -13  | -21 | -22  | -32  |
|           | Максимальная   | 14   | 15   | 22  | 29  | 32   | 37   | 37   | 38   | 34   | 29   | 22  | 16   | 38   |
| Бердянск  | Средняя        | -3,6 | -3,5 | 0,8 | 8,1 | 16,0 | 20,7 | 23,3 | 22,3 | 17,1 | 10,7 | 4,2 | -1,1 | 9,6  |
|           | Минимальная    | -29  | -28  | -22 | -8  | -2   | 4    | 8    | 6    | -2   | -12  | -20 | -22  | -29  |
|           | Максимальная   | 10   | 11   | 19  | 26  | 32   | 37   | 39   | 38   | 37   | 28   | 21  | 12   | 39   |
| Мариуполь | Средняя        | -4,5 | -4,0 | 0,8 | 8,5 | 16,2 | 20,3 | 23,0 | 21,9 | 16,3 | 9,5  | 3,0 | -1,8 | 9,1  |
|           | Минимальная    | -30  | -29  | -22 | -12 | -3   | 3    | 7    | 5    | -3   | -13  | -22 | -24  | -30  |
|           | Максимальная   | 11   | 14   | 18  | 26  | 32   | 36   | 40   | 38   | 33   | 26   | 20  | 12   | 40   |
| Таганрог  | Средняя        | -5,1 | -4,6 | 0,6 | 9,3 | 17,0 | 21,1 | 23,7 | 21,7 | 16,9 | 9,6  | 2,8 | -2,4 | 9,2  |
|           | Минимальная    | -32  | -30  | -24 | -9  | -1   | 5    | 9    | 7    | -2   | -10  | -21 | -27  | -3,2 |
|           | Максимальная   | 11   | 16   | 25  | 28  | 34   | 37   | 40   | 39   | 35   | 31   | 23  | 12   | 40   |
| Темрюк    | Средняя        | -1,2 | -0,8 | 3,6 | 9,8 | 16,0 | 20,0 | 23,4 | 22,9 | 17,8 | 12,1 | 5,8 | 1,2  | 10,9 |
|           | Минимальная    | -26  | -29  | -18 | -4  | 2    | 7    | 12   | 8    | 0    | -7   | -19 | -24  | -29  |
|           | Максимальная   | 16   | 20   | 29  | 33  | 33   | 34   | 37   | 37   | 34   | 30   | 26  | 21   | 37   |
| Керчь     | Средняя        | -0,5 | -0,7 | 3,3 | 9,1 | 15,8 | 20,5 | 23,6 | 23,0 | 18,1 | 12,3 | 6,7 | 2,2  | 11,1 |
|           | Минимальная    | -22  | -23  | -19 | -7  | -2   | 6    | 10   | 8    | -1   | -5   | -14 | -18  | -23  |
|           | Максимальная   | 14   | 16   | 23  | 28  | 29   | 34   | 37   | 35   | 33   | 29   | 22  | 26   | 37   |

в июле в Приморско-Ахтарске при этом достиг  $43^{\circ}\text{C}$ . Для других станций побережья максимальные значения в этот месяц также достаточно велики:  $37\text{--}40^{\circ}\text{C}$  (см. табл. 2.12). Максимальные температуры воздуха в открытом море не регистрируются, поэтому для каждого района можно лишь

Таблица 2.13

Максимальные температуры воздуха в открытых районах моря

| Район                                     | Наибольшая температура, °C |
|-------------------------------------------|----------------------------|
| 16—19, 23—26, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45  | 29—30                      |
| 2, 4, 5, 7, 9, 14, 20, 27, 33, 37, 39, 43 | 31—32                      |
| 1, 6, 13, 35, 41, 44                      | 33—34                      |
| 3, 8, 15, 21, 22, 28—30                   | 35—36                      |

приблизительно определить наивысшие значения из всего ряда судовых наблюдений (табл. 2.13).

Началом холодного периода принято считать переход температуры через ноль. Из прибрежных станций самый ранний переход отмечается 28 ноября в Таганроге, самый поздний — 06 января — в Керчи (табл. 2.14). Зимний сезон наиболее длителен на северном побережье — 108 дней в Таганроге. На южном берегу его длительность существенно меньше и составляет 78—80 дней. Устойчивый переход через  $-5^{\circ}\text{C}$  отмечается только в Мариуполе, Таганроге и небольшой части Таганрогского залива. На побережье длительность указанного периода составляет 35—36 дней. Устойчивый переход через  $-10^{\circ}\text{C}$  и ниже для Азовского моря отсутствует. Поэтому за период 1935—1965 гг. была рассчитана условная вероятность

Таблица 2.14

Даты наступления средней суточной температуры воздуха выше и ниже определенных пределов

| Станция, квадрат | Температура, °C |                   |                 |               |               |                  |
|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|---------------|------------------|
|                  | -5              | 0                 | 5               | 10            | 15            | 20               |
| Геничск          |                 | 7 III<br>14 XII   | 3 IV<br>14 XI   | 20 IV<br>23 X | 11 V<br>26 IX | 10 VI<br>1 IX    |
| Бердянск         |                 | 13 III<br>6 XII   | 3 IV<br>9 XI    | 22 IV<br>19 X | 10 V<br>26 IX | 8 VI<br>31 VIII  |
| Мариуполь        | 6 II<br>2 I     | 13 III<br>1 XII   | 5 IV<br>5 XI    | 20 IV<br>15 X | 10 V<br>23 IX | 13 VI<br>29 VIII |
| Таганрог         | 11 II<br>6 I    | 16 III<br>28 XI   | 2 IV<br>5 XI    | 18 IV<br>15 X | 6 V<br>24 IX  | 6 VI<br>31 VIII  |
| Ейск             |                 | 11 III<br>7 XII   | 1 IV<br>9 XI    | 17 IV<br>18 X | 6 V<br>28 IX  | 4 VI<br>3 IX     |
| Должанская       |                 | 11 III<br>6 XII   | 3 IV<br>10 XI   | 21 IV<br>18 X | 10 V<br>26 IX | 7 VI<br>2 IX     |
| Темрюк           |                 | 25 II<br>27 XII   | 23 III<br>19 XI | 16 IV<br>25 X | 9 V<br>1 X    | 12 VI<br>5 IX    |
| Керчь            |                 | 23 II<br>6 I      | 27 III<br>24 XI | 20 IV<br>29 X | 12 V<br>3 X   | 13 VI<br>5 IX    |
| Мысовое          |                 | 26 II<br>2 I      | 31 III<br>25 XI | 21 IV<br>29 X | 12 V<br>4 X   | 12 VI<br>8 IX    |
| 5                | 16 I<br>14 I    | 13 III<br>1 XII   | 31 III<br>6 XI  | 19 IV<br>14 X | 8 V<br>22 IX  | 8 VI<br>28 VIII  |
| 7                |                 | 12 III<br>11 XII  | 2 IV<br>10 XI   | 23 IV<br>18 X | 13 V<br>24 IX | 17 VI<br>28 VIII |
| 21               |                 | 10 VIII<br>23 XII | 2 IV<br>19 XI   | 23 IV<br>25 X | 14 V<br>30 IX | 17 VI<br>31 VIII |
| 24               |                 | 3 III<br>23 XII   | 31 III<br>18 VI | 23 IV<br>24 X | 13 V<br>29 IX | 15 VI<br>29 VIII |
| 26               |                 | 3 III<br>30 XII   | 2 V<br>27 XI    | 25 IV<br>29 X | 16 V<br>2 X   | 23 VI<br>1 IX    |
| 36               |                 | 28 II<br>3 I      | 30 III<br>30 XI | 23 IV<br>31 X | 15 V<br>6 X   | 22 VI<br>6 IX    |
| 39               |                 | 24 II<br>5 I      | 29 III<br>27 XI | 22 IV<br>30 X | 15 V<br>03 X  | 16 VI<br>05 IX   |

периодов ниже  $-10$  и  $-20$  °C различной продолжительности (табл. 2.15). Наибольшее число периодов с температурой ниже  $-10$  и  $-20$  °C в Таганроге равно соответственно 14,7 и 2,8, наименьшее в Мысовом — 3,2 и 0,4. Больше половины пе-

риодов с температурой ниже  $-10$  °C и около трех четвертей периодов с температурой ниже  $-20$  °C имеют длительность 12 ч и менее. Абсолютное число периодов ниже  $-10$  °C с продолжительностью 5 сут и более в Таганроге составляет 10, в Керчи и Мысовом 4, в Темрюке 5 и в Бердянске 6 (см. табл. 2.15). Отсюда можно сделать вывод, что продолжительное похолодание охватывает сразу все Азовское море и лишь в вершине Таганрогского залива может отмечаться самостоятельно.

Концом зимы и переходом к весне принято считать переход температуры воздуха через ноль в область положительных температур. На Азовском море такой переход начинается 16 марта на северном побережье и 23 февраля на южном. Начало летнего сезона связано с устойчивым переходом температуры воздуха через  $15$  °C в область повышения, а конец — в область понижения. Такой переход осуществляется в близкие сроки как в южной, так и в северной части моря — 12 и 6 мая. На северном побережье лето длится около 3,5 мес, на южном — более 5 мес.

В суточном ходе температуры воздуха на побережье Азовского моря отмечается один максимум и один минимум. Максимум в течение большей части года наступает в 13—14 ч, лишь летом он отмечается примерно на 1—2 ч позже. Минимум температуры воздуха летом наступает в 4—5 ч, весной и осенью в 5—6 ч и зимой в 6—8 ч. Над открытой частью моря в связи с недостаточным количеством наблюдений установить время наступления максимума и минимума температуры трудно. Можно лишь сказать, что наступление суточных экстремальных значений здесь несколько запаздывает по сравнению с таковыми на побережье.

Средний многолетний размах суточного хода температуры воздуха наибольший на северном и северо-восточном побережье моря летом ( $5$ — $10$  °C), наименьший ( $1,5$ — $2,5$  °C) наблюдается в основном зимой на южном побережье. В переходные сезоны суточный ход температуры воздуха на Азовском море колеблется в пределах  $3$ — $6$  °C.

О суточном размахе температуры в открытой части моря можно судить лишь ориентировочно. Наибольшие суточные изменения приходятся здесь

Таблица 2.15

Среднее за год число периодов с непрерывной продолжительностью температур ниже указанных пределов и их условная повторяемость (%)

| Станция  | Предел температуры, °C | Всего периодов | Продолжительность периода, ч |       |       |       |       |        |     |
|----------|------------------------|----------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|
|          |                        |                | 12                           | 13—24 | 25—48 | 49—72 | 73—96 | 97—120 | 120 |
| Темрюк   | $-10$                  | 6,7            | 56,7                         | 28,8  | 7,0   | 2,0   | 2,0   | 1,0    | 2,5 |
|          | $-20$                  | 1,1            | 81,2                         | 12,5  | 6,3   |       |       |        |     |
| Мысовое  | $-10$                  | 3,2            | 50,5                         | 24,2  | 8,4   | 8,4   | 3,2   | 1,1    | 4,2 |
|          | $-20$                  | 0,4            | 83,3                         | 16,7  |       |       |       |        |     |
| Керчь    | $-10$                  | 5,1            | 56,6                         | 27,6  | 7,2   | 2,0   | 3,3   | 0,7    | 2,6 |
|          | $-20$                  | 0,4            | 91,7                         | 8,3   |       |       |       |        |     |
| Таганрог | $-10$                  | 14,7           | 53,2                         | 29,5  | 8,4   | 4,3   | 1,6   | 0,7    | 2,3 |
|          | $-20$                  | 2,8            | 73,5                         | 20,5  | 2,4   | 3,6   |       |        |     |
| Бердянск | $-10$                  | 10,7           | 63,0                         | 20,8  | 9,0   | 2,5   | 1,6   | 1,2    | 1,9 |
|          | $-20$                  | 1,4            | 76,5                         | 12,2  | 9,8   | 2,4   |       |        |     |

Примечание. Десятые доли в третьей графе появились из-за осреднения всех периодов за 30 лет. Цифра 6,7 означает, что на станции Темрюк за 30 лет встретился 201 период с температурой ниже  $-10$  °C.

на осень. Особенно они велики в мелководных районах, в частности в Таганрогском заливе. Наименьшие суточные изменения отмечаются весной и в начале лета.

## 2.7. Характеристики влажности воздуха

Для получения климатических характеристик влажности воздуха по данным береговых станций Азовского моря были использованы те же источники, как и в разделе о температуре воздуха.

Карты распределения характеристик влажности над акваторией моря построены на основе данных 12 276 судовых наблюдений. Распределение данных наблюдений как по квадратам так и по месяцам очень неравномерно. Поэтому после вы-

числения среднемесячной влажности графики годового хода были построены по объединенным квадратам. Затем графики сглаживались и с них снимались средние значения влажности, соответствующие 15-му числу каждого месяца.

Абсолютное содержание влаги в воздухе характеризуется парциальным давлением водяного пара. В годовом ходе максимум парциального давления водяного пара (20,5 гПа) приходится на июль, минимум (4,5 гПа) — на февраль (рис. 2.26). В целом во все месяцы парциальное давление водяного пара возрастает в направлении с севера на юг. С января по апрель расположение изолний парциального давления близко к зональному. Различия между его значениями в северной и южной частях моря при этом минимальны — не более

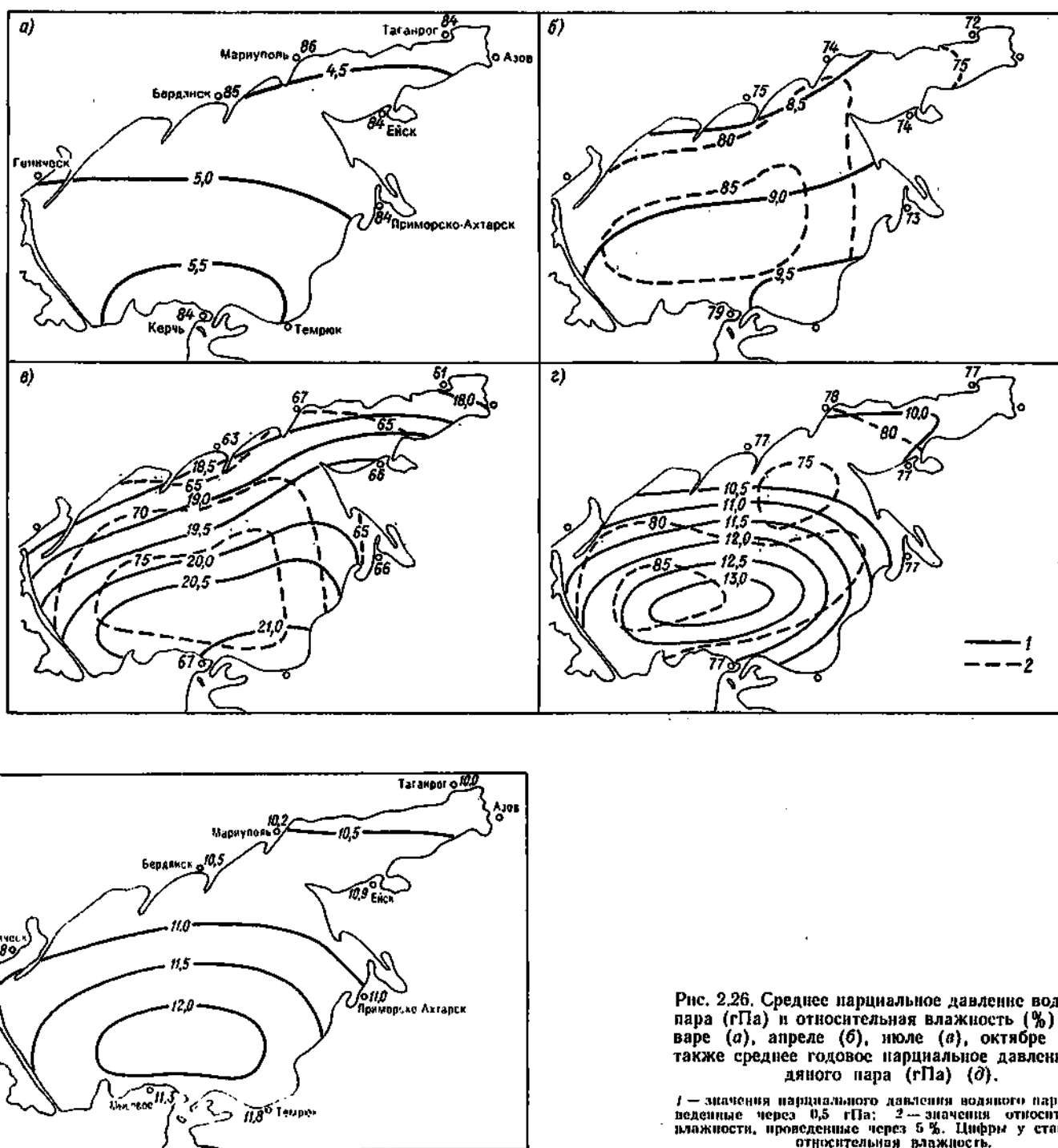


Рис. 2.26. Среднее парциальное давление водяного пара (гПа) и относительная влажность (%) в январе (а), апреле (б), июле (в), октябре (г), а также среднее годовое парциальное давление водяного пара (гПа) (д).

1 — значения парциального давления водяного пара, проведенные через 0,5 гПа; 2 — значения относительной влажности, проведенные через 5%. Цифры у станций — относительная влажность.

1 гПа. Такое распределение обусловлено наличием в этот период ледяного покрова и зональным распределением температуры воздуха. Кроме того, изменения парциального давления водяного пара при отрицательных и близких к нулю температурах воздуха малы.

С мая по декабрь в районе южнее центральной части моря образуется область повышенных значений парциального давления водяного пара. В августе, сентябре и октябре различие между его значениями в центре этой области и побережьем достигает максимума (3 гПа).

Изменение парциального давления водяного пара от месяца к месяцу составляет 0—3 гПа и лишь с мая по июнь и с сентября по октябрь достигает 4—5 гПа. При этом от мая к июню оно возрастает, а с сентября по октябрь уменьшается.

Среднегодовое парциальное давление водяного пара плавно изменяется от 10 гПа в вершине Таганрогского залива до 12 гПа в южной части моря (рис. 2.26 б).

Сезонный ход парциального давления водяного пара в центральной части моря мало отличается от его хода на побережье (рис. 2.27). Оба графика имеют максимум в июле и минимум в феврале, причем значения для центральной части моря во все месяцы превышают значения для берега на 0,5—1 гПа. Размах годового хода в обоих случаях составляет 14—16 гПа.

Средний размах суточного хода парциального давления водяного пара в январе составляет 1—2 гПа, в июле 2—4 гПа, максимальный 6 и 12 гПа соответственно.

Относительная влажность, выраженная в % и рассматриваемая как отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к парциальному давлению насыщающего пара при той же температуре, характеризует состояние воздуха по отношению к состоянию его насыщения.

Данные о распределении относительной влажности над акваторией моря зимой отсутствуют, но

для приближенной оценки можно воспользоваться данными береговых станций, так как различия между ее значениями над морем и побережьем в это время года минимальны (1—2 %). В среднем за год относительная влажность в море несколько выше, чем на побережье (на 5—10 %). С декабря по апрель воздух наиболее близок к состоянию насыщения (относительная влажность 80—95 %) (рис. 2.27). В марте и апреле может даже наблюдаться конденсация водяного пара. Затем в связи с повышением температуры воздуха относительная влажность начинает уменьшаться. Минимальные значения относительной влажности наблюдаются с июня по август на побережье (60—67 %) и с июля по сентябрь в открытом море (65—75 %). С сентября по ноябрь относительная влажность быстро растет (прирост 8—10 % за 1 мес). Этот рост обусловлен понижением температуры воздуха и приближением ее значений к значениям температуры воды.

Годовой ход относительной влажности обратен годовому ходу парциального давления водяного пара (см. рис. 2.27). Размах годового хода на береговых станциях составляет 20—28 %, в открытом море 15—20 %. Кроме этого, годовой ход относительной влажности на побережье опережает по фазе ее годовой ход в открытом море на 1—1,5 мес.

Наибольший размах суточного хода относительной влажности отмечается летом 40—45 %, иногда достигая 65 %. Зимой средний размах составляет 10—15 %.

## 2.8. Облачность

При составлении раздела использованы данные «Гидрометеорологического справочника Азовского моря» [40], ежемесячников и ежегодников до 1986 г. Наблюдения за облачностью в открытом море производятся сравнительно редко. Особенно мало данных для периода декабрь—март, когда Азовское море покрыто льдом. Однако анализ данных прибрежных наблюдений за облачностью показывает небольшую пространственную изменчивость характеристик облачности. Это позволяет оценить распределение облачности над морем в основном по данным береговых гидрометстанций (табл. 2.16, 2.17).

В климатологии для количественной характеристики облачности используется повторяемость ясного и пасмурного состояния неба по общей и нижней облачности, а также среднее месячное число пасмурных и ясных дней. Ясным принято считать день, когда общее количество облаков не превышает 2 баллов, пасмурным, когда общее количество облаков равно 8 баллам и более, и полужасным, если количество облаков лежит в пределах 3—7 баллов.

С июля по сентябрь, а на северном побережье с июня по сентябрь повторяемость ясного неба по общей облачности выше 50 %. Максимум приходится на август и на прибрежных станциях составляет 55,7—61,8 % (см. табл. 2.16). Число ясных дней с июля по сентябрь ежемесячно на всех станциях побережья больше 10, с максимумом 14,6 дней в Приморско-Ахтарске (табл. 2.18). Над открытым морем в этот период также велика повторяемость ясного состояния неба (рис. 2.28 а).

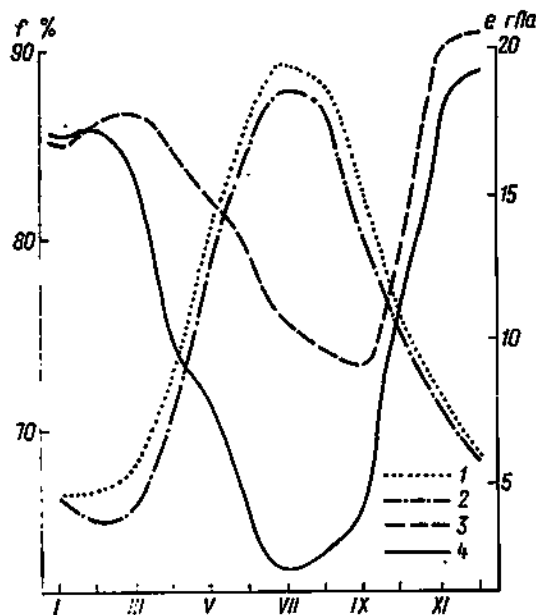


Рис. 2.27. Годовой ход парциального давления водяного пара  $e$  (1, 2) и относительной влажности  $f$  (3, 4) в центре моря (1, 3) и в Бердянске (2, 4).

Таблица 2.16

Повторяемость (%) по месяцам ясного (0—2 балла), полужасного (3—7 баллов) и пасмурного (8—10 баллов) состояния неба по общей облачности

| Станция           | Облачность, баллы | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Год  |
|-------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Геничск           | 0—2               | 20,6 | 20,6 | 26,1 | 31,7 | 37,5 | 46,7 | 55,3 | 60,0 | 57,6 | 37,2 | 20,7 | 16,2 | 35,8 |
|                   | 3—7               | 5,7  | 5,6  | 7,5  | 10,8 | 15,5 | 19,1 | 17,1 | 15,1 | 14,4 | 12,3 | 7,8  | 6,5  | 11,4 |
|                   | 8—10              | 73,7 | 73,8 | 66,4 | 57,5 | 47,0 | 34,2 | 27,6 | 24,9 | 28,0 | 50,5 | 71,5 | 77,3 | 52,8 |
| Бердянск          | 0—2               | 20,9 | 24,0 | 30,0 | 34,3 | 41,7 | 50,9 | 58,2 | 61,6 | 57,9 | 42,1 | 24,7 | 16,0 | 38,5 |
|                   | 3—7               | 6,0  | 7,2  | 8,1  | 13,3 | 19,0 | 21,6 | 19,4 | 18,2 | 16,1 | 11,7 | 9,1  | 6,4  | 13,0 |
|                   | 8—10              | 73,1 | 68,8 | 61,9 | 52,4 | 39,3 | 27,5 | 22,4 | 20,2 | 26,0 | 46,2 | 66,2 | 77,6 | 48,5 |
| Марнополь         | 0—2               | 21,6 | 23,9 | 29,9 | 35,3 | 40,8 | 49,0 | 55,2 | 60,0 | 58,1 | 40,7 | 24,7 | 17,7 | 38,5 |
|                   | 3—7               | 5,5  | 4,4  | 8,4  | 12,3 | 14,8 | 17,4 | 16,8 | 15,2 | 13,7 | 10,4 | 5,4  | 4,6  | 13,0 |
|                   | 8—10              | 72,9 | 71,7 | 61,7 | 52,4 | 44,4 | 33,6 | 28,0 | 24,8 | 28,2 | 48,9 | 69,9 | 77,7 | 48,5 |
| Таганрог          | 0—2               | 22,1 | 26,0 | 32,0 | 34,9 | 48,6 | 51,2 | 55,2 | 60,0 | 59,0 | 41,3 | 25,3 | 15,8 | 39,3 |
|                   | 3—7               | 6,2  | 5,5  | 8,2  | 11,2 | 17,0 | 19,4 | 20,3 | 18,6 | 13,1 | 11,7 | 8,2  | 6,3  | 12,1 |
|                   | 8—10              | 71,7 | 68,5 | 59,8 | 53,9 | 34,4 | 29,4 | 24,5 | 21,4 | 27,9 | 47,0 | 66,5 | 77,9 | 48,6 |
| Приморско-Ахтарск | 0—2               | 20,1 | 23,6 | 30,0 | 33,4 | 41,4 | 50,5 | 59,4 | 61,8 | 58,8 | 43,3 | 26,3 | 20,0 | 39,1 |
|                   | 3—7               | 6,4  | 5,8  | 9,3  | 12,0 | 15,6 | 18,3 | 17,4 | 15,0 | 15,1 | 11,7 | 6,9  | 7,0  | 11,7 |
|                   | 8—10              | 73,5 | 70,6 | 60,7 | 54,6 | 43,0 | 31,2 | 23,2 | 23,2 | 26,1 | 45,0 | 66,8 | 73,0 | 49,2 |
| Керчь             | 0—2               | 13,0 | 16,5 | 22,4 | 28,5 | 35,0 | 43,8 | 55,4 | 55,7 | 53,2 | 34,1 | 19,0 | 13,5 | 32,5 |
|                   | 3—7               | 10,4 | 10,5 | 15,9 | 17,7 | 24,6 | 23,9 | 21,2 | 22,0 | 22,1 | 21,0 | 13,2 | 10,7 | 17,8 |
|                   | 8—10              | 76,6 | 73,0 | 61,7 | 53,8 | 40,4 | 32,3 | 23,4 | 22,3 | 24,7 | 44,9 | 67,8 | 75,8 | 49,7 |

Таблица 2.17

Повторяемость (%) по месяцам ясного (0—2 балла), полужасного (3—7 баллов) и пасмурного (8—10 баллов) состояния неба по нижней облачности

| Станция           | Облачность, баллы | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Год  |
|-------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Геничск           | 0—2               | 42,8 | 44,4 | 51,2 | 60,1 | 69,3 | 71,1 | 69,8 | 68,5 | 75,5 | 62,6 | 38,0 | 31,9 | 57,1 |
|                   | 3—7               | 4,7  | 3,0  | 5,5  | 7,2  | 9,4  | 14,3 | 15,9 | 10,4 | 6,6  | 8,0  | 4,2  | 5,2  | 7,9  |
|                   | 8—10              | 52,5 | 52,6 | 43,3 | 32,7 | 21,3 | 14,6 | 14,3 | 21,1 | 17,9 | 29,4 | 57,8 | 62,9 | 35,0 |
| Бердянск          | 0—2               | 40,9 | 47,7 | 55,8 | 66,7 | 71,4 | 74,7 | 71,8 | 77,7 | 80,0 | 65,4 | 38,1 | 35,1 | 60,4 |
|                   | 3—7               | 3,8  | 3,5  | 3,1  | 4,4  | 9,6  | 11,7 | 13,2 | 9,4  | 6,1  | 5,9  | 4,5  | 5,8  | 6,7  |
|                   | 8—10              | 55,3 | 48,8 | 43,1 | 28,9 | 19,0 | 13,6 | 15,0 | 12,9 | 13,9 | 28,7 | 57,4 | 59,1 | 32,9 |
| Марнополь         | 0—2               | 36,9 | 45,3 | 51,0 | 56,7 | 67,4 | 71,3 | 68,7 | 76,2 | 76,4 | 57,7 | 37,6 | 28,4 | 56,1 |
|                   | 3—7               | 4,6  | 1,9  | 4,0  | 6,4  | 7,1  | 11,4 | 11,9 | 9,2  | 5,7  | 5,5  | 3,3  | 3,2  | 6,2  |
|                   | 8—10              | 58,5 | 52,8 | 45,0 | 36,9 | 25,5 | 17,3 | 19,4 | 14,6 | 17,9 | 36,8 | 59,1 | 68,4 | 37,7 |
| Таганрог          | 0—2               | 34,7 | 43,2 | 49,6 | 54,0 | 65,4 | 70,4 | 68,9 | 74,6 | 77,3 | 57,3 | 34,5 | 25,2 | 54,6 |
|                   | 3—7               | 3,6  | 3,8  | 4,6  | 6,0  | 9,9  | 13,8 | 13,1 | 10,7 | 6,5  | 4,9  | 5,1  | 3,7  | 7,1  |
|                   | 8—10              | 61,7 | 53,0 | 45,8 | 40,0 | 24,7 | 15,8 | 18,0 | 14,7 | 16,2 | 37,8 | 60,4 | 71,1 | 38,3 |
| Приморско-Ахтарск | 0—2               | 36,6 | 45,8 | 57,7 | 56,8 | 69,1 | 67,2 | 71,0 | 77,1 | 70,6 | 61,3 | 39,0 | 33,1 | 57,1 |
|                   | 3—7               | 5,8  | 3,9  | 6,3  | 8,4  | 9,1  | 15,5 | 14,0 | 10,3 | 12,1 | 8,3  | 5,5  | 7,6  | 8,9  |
|                   | 8—10              | 57,6 | 50,3 | 36,0 | 34,8 | 21,8 | 17,3 | 15,0 | 12,6 | 17,3 | 30,5 | 55,5 | 59,3 | 34,0 |
| Керчь             | 0—2               | 40,6 | 49,6 | 54,9 | 66,0 | 76,0 | 77,1 | 77,6 | 81,3 | 80,0 | 61,2 | 42,0 | 36,5 | 61,9 |
|                   | 3—7               | 17,1 | 14,1 | 13,7 | 14,8 | 13,1 | 17,6 | 19,2 | 13,3 | 15,4 | 17,9 | 13,8 | 15,5 | 15,5 |
|                   | 8—10              | 42,3 | 36,3 | 31,4 | 19,2 | 10,9 | 5,3  | 3,2  | 5,4  | 4,6  | 20,9 | 44,2 | 48,0 | 22,6 |

Таблица 2.18

Число ясных и пасмурных дней по общей облачности

| Пункт             | Состояние неба | I    | II   | III  | IV   | V   | VI  | VII  | VIII | IX   | X   | XI   | XII  | Год |
|-------------------|----------------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|
| Геничск           | Ясное          | 2,0  | 1,5  | 2,0  | 4,2  | 5,2 | 7,6 | 12,8 | 13,0 | 10,5 | 5,4 | 1,8  | 0,9  | 67  |
|                   | Пасмурное      | 18,0 | 15,3 | 14,8 | 10,0 | 7,1 | 4,3 | 2,0  | 2,1  | 2,4  | 7,6 | 16,0 | 19,6 | 119 |
| Бердянск          | Ясное          | 1,6  | 2,0  | 3,4  | 5,1  | 6,5 | 7,8 | 13,0 | 12,8 | 10,9 | 6,2 | 2,1  | 1,3  | 73  |
|                   | Пасмурное      | 17,6 | 15,0 | 13,3 | 8,9  | 5,8 | 3,7 | 1,9  | 2,0  | 2,8  | 7,6 | 14,3 | 19,4 | 112 |
| Марнополь         | Ясное          | 2,2  | 1,9  | 3,0  | 5,7  | 5,9 | 7,9 | 11,3 | 13,2 | 10,8 | 6,0 | 2,9  | 1,6  | 72  |
|                   | Пасмурное      | 17,4 | 16,0 | 13,5 | 8,1  | 6,8 | 3,8 | 2,8  | 2,2  | 2,5  | 8,4 | 14,5 | 18,7 | 115 |
| Таганрог, маяк    | Ясное          | 2,5  | 2,6  | 2,9  | 4,6  | 5,8 | 7,0 | 11,5 | 12,4 | 10,6 | 6,5 | 3,1  | 1,3  | 71  |
|                   | Пасмурное      | 18,0 | 14,5 | 13,0 | 10,0 | 6,4 | 4,8 | 2,5  | 2,6  | 3,0  | 7,8 | 14,9 | 20,4 | 118 |
| Приморско-Ахтарск | Ясное          | 2,2  | 1,5  | 3,4  | 4,9  | 5,8 | 9,0 | 14,6 | 13,6 | 12,4 | 7,0 | 3,8  | 2,0  | 80  |
|                   | Пасмурное      | 18,6 | 15,0 | 12,9 | 9,6  | 6,1 | 4,1 | 2,4  | 2,0  | 2,5  | 8,2 | 14,4 | 18,8 | 114 |
| Керчь, порт       | Ясное          | 1,5  | 1,0  | 2,1  | 4,7  | 5,4 | 8,5 | 14,5 | 14,4 | 10,4 | 5,8 | 2,2  | 0,8  | 71  |
|                   | Пасмурное      | 18,6 | 16,6 | 15,0 | 9,9  | 6,3 | 3,6 | 2,0  | 1,8  | 3,3  | 8,5 | 14,5 | 18,7 | 119 |

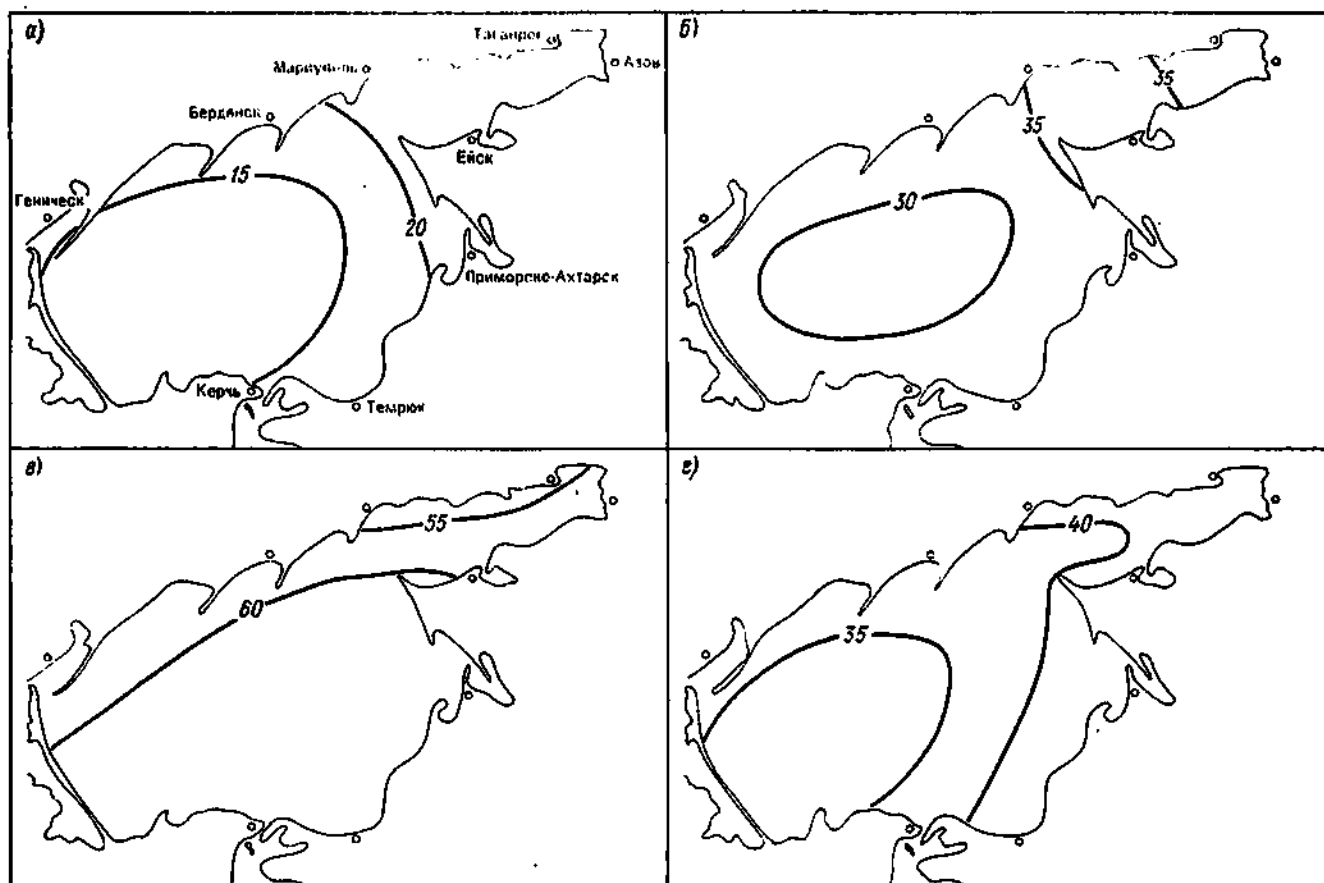


Рис. 2.28. Повторяемость (%) ясного состояния неба (0—2 балла) в январе (а), апреле (б), июле (в) и октябре (г).

Период с повторяемостью ясного неба по нижней облачности выше 50 % больше и длится с марта по октябрь. Максимум приходится на июнь (67,2—77,1 %). На станциях Бердянск, Приморско-Ахтарск и Керчь в августе наблюдается второй, более значительный максимум ясного неба (77,1—81,3 %) по нижней облачности.

Период ясного состояния неба по общей облачности с повторяемостью 25 % и ниже составляет 3 мес на северном побережье и увеличивается до 4,5 мес на западе и 5 месяцев на юге. Минимумы как повторяемости, так и числа ясных дней приходятся на декабрь и составляют соответственно 13,5—20,0 % и 0,8—2,0. Повторяемость ясного неба над морем несколько ниже, чем над побережьем (рис. 2.28 а). Минимум ясного состояния неба по нижней облачности также приходится на декабрь и для береговых станций составляет 25,2—36,5 %.

Среднегодовые значения повторяемости ясного неба как по общей, так и по нижней облачности несущественно изменяются в пространстве и составляют соответственно 32,5—39,3 и 54,6—61,9 %. В течение большей части года повторяемость ясного неба по общей облачности на побережье несколько больше по сравнению с повторяемостью в открытом море. Кроме того, в холодную часть года имеет место тенденция к увеличению повторяемости ясного состояния неба в направлении с запада на восток и с юга на север, а в теплую часть года повторяемость больше в восточных и южных районах моря.

Повторяемость пасмурного состояния неба по общей облачности и число пасмурных дней в среднем за год больше ясного состояния и числа ясных

дней (см. табл. 2.16, 2.18). Кроме того, данные характеристики облачности имеют обратный годовой ход. Повторяемость пасмурного состояния неба по нижней облачности наоборот значительно меньше повторяемости ясного состояния (см. табл. 2.17).

С ноября по апрель повторяемость пасмурных дней по общей облачности превышает 50 % (рис. 2.29 а). Максимум приходится на декабрь—январь (73,5—77,9 %). Наибольшее число пасмурных дней также отмечается в декабре: 20,4 в Таганроге и 18,7 в Керчи (см. табл. 2.18). По нижней облачности период с повторяемостью 50 % и больше начинается в ноябре и заканчивается в феврале. В годовом ходе повторяемости как по общей, так и по нижней облачности имеется период быстрого роста: с сентября по октябрь происходит прирост повторяемости на 40 % и более. Такой скачок повторяемости вызван переходом к холодной половине года, активизацией циклонической деятельности и усилением восточного воздействия. При этом рост повторяемости общей облачности обусловлен ростом повторяемости нижней облачности 8—10 баллов. Над морем в этот период повторяемость пасмурного состояния неба несколько больше, чем над побережьем (рис. 2.29 а). Переход от зимы к весне происходит более плавно. Минимум повторяемости пасмурного состояния неба как по общей, так и по нижней облачности приходится на июль—август. По нижней облачности минимальная повторяемость в этот период наблюдается в Керчи — 3,2 % (см. табл. 2.17). Повторяемость полужасного состояния неба не превышает в целом за год 20 %. Ее сезонный ход сходен с сезонным ходом ясного состояния неба: мак-

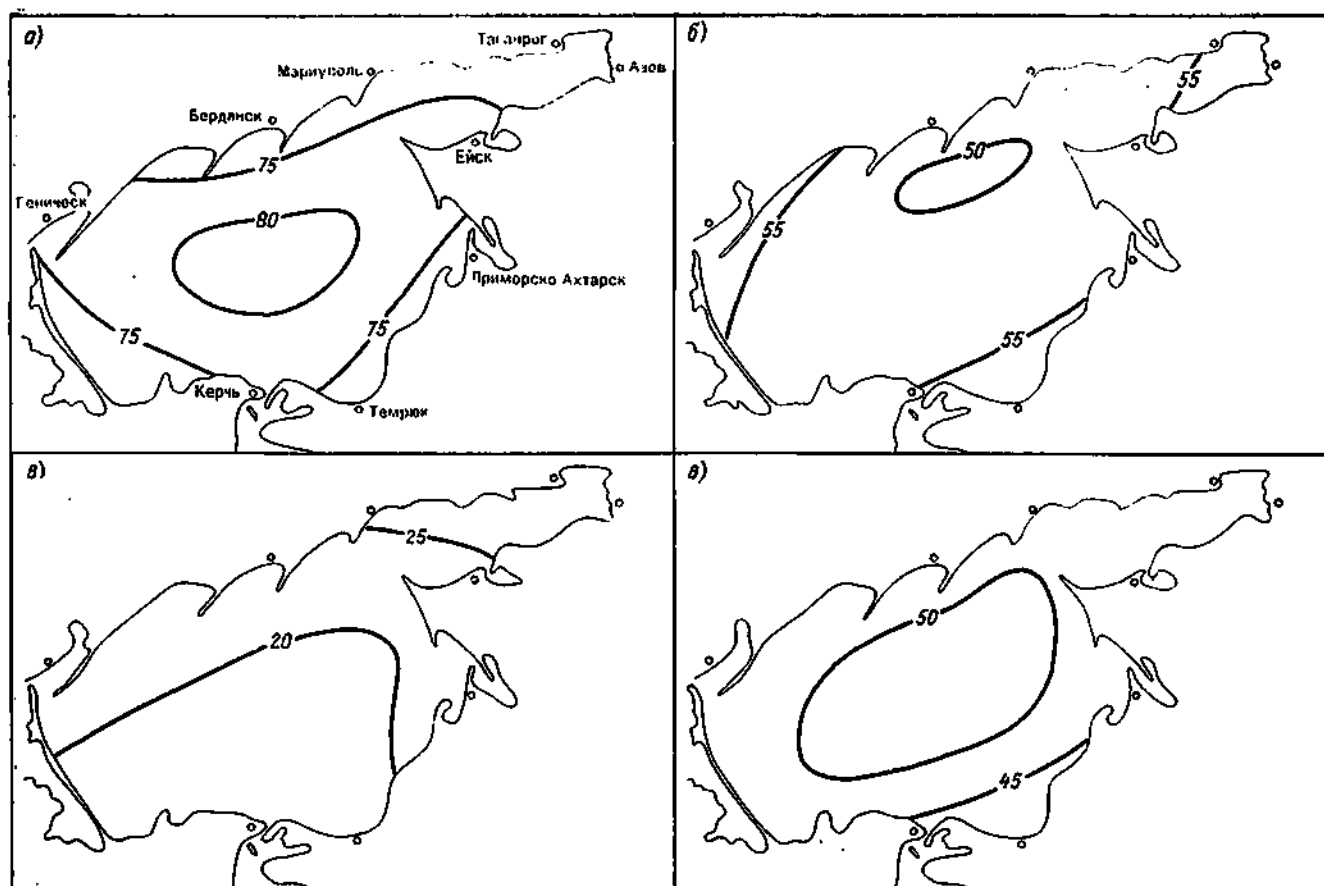


Рис. 2.29. Повторяемость (%) пасмурного состояния неба (8—10 баллов) в январе (а), апреле (б), июле (в) и октябре (г).

симум приходится на июнь—июль, минимум — на январь—март.

С октября—ноября по апрель—май более устойчива пасмурная погода, с мая—июня по сентябрь—октябрь — ясная погода. Пространственная

изменчивость ясной и пасмурной погоды невелика, но можно отметить, что устойчивость ясной погоды летом в южных и особенно восточных районах моря несколько больше, чем в северных и западных; устойчивость пасмурной погоды зимой тоже

Таблица 2.19

Повторяемость (%) ясного (0—2 балла) и пасмурного (8—10 баллов) состояния неба в различные часы суток

| Облачность, баллы | Январь |    |    |    | Апрель |    |    |    | Июль |    |    |    | Октябрь |    |    |    |
|-------------------|--------|----|----|----|--------|----|----|----|------|----|----|----|---------|----|----|----|
|                   | 1      | 7  | 13 | 19 | 1      | 7  | 13 | 19 | 1    | 7  | 13 | 19 | 1       | 7  | 13 | 19 |
| Генчичск          |        |    |    |    |        |    |    |    |      |    |    |    |         |    |    |    |
| 0—2               | 21     | 14 | 14 | 22 | 44     | 26 | 25 | 30 | 76   | 63 | 44 | 47 | 48      | 28 | 28 | 45 |
| 8—10              | 74     | 80 | 78 | 72 | 45     | 63 | 57 | 56 | 13   | 24 | 29 | 29 | 38      | 61 | 51 | 40 |
| Бердянск          |        |    |    |    |        |    |    |    |      |    |    |    |         |    |    |    |
| 0—2               | 22     | 15 | 14 | 24 | 48     | 31 | 27 | 31 | 76   | 63 | 46 | 49 | 50      | 29 | 29 | 47 |
| 8—10              | 74     | 79 | 78 | 71 | 42     | 58 | 53 | 50 | 14   | 19 | 24 | 28 | 41      | 58 | 53 | 43 |
| Мариуполь         |        |    |    |    |        |    |    |    |      |    |    |    |         |    |    |    |
| 0—2               | 22     | 18 | 16 | 26 | 51     | 33 | 30 | 32 | 76   | 63 | 41 | 49 | 53      | 31 | 28 | 46 |
| 8—10              | 75     | 78 | 77 | 70 | 41     | 56 | 54 | 52 | 16   | 23 | 28 | 32 | 38      | 57 | 56 | 46 |
| Таганрог          |        |    |    |    |        |    |    |    |      |    |    |    |         |    |    |    |
| 0—2               | 22     | 14 | 16 | 23 | 48     | 26 | 26 | 26 | 73   | 59 | 41 | 47 | 52      | 31 | 30 | 48 |
| 8—10              | 74     | 79 | 74 | 72 | 45     | 63 | 58 | 61 | 15   | 26 | 27 | 31 | 40      | 58 | 53 | 43 |
| Приморско-Ахтарск |        |    |    |    |        |    |    |    |      |    |    |    |         |    |    |    |
| 0—2               | 26     | 16 | 14 | 25 | 48     | 29 | 29 | 31 | 75   | 60 | 57 | 61 | 53      | 32 | 33 | 48 |
| 8—10              | 70     | 77 | 78 | 68 | 45     | 61 | 66 | 54 | 15   | 24 | 22 | 24 | 39      | 56 | 50 | 42 |



увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток.

Непрерывные круглосуточные наблюдения за облачностью не производятся на подавляющем большинстве гидрометстанций. Поэтому о суточном ходе повторяемости ясного и пасмурного состояния неба приходится судить по данным срочных наблюдений. В зимние месяцы пасмурное состояние неба наиболее часто отмечается в утренние часы. Несколько меньше ее повторяемость днем, а вечером наступает прояснение. Весной наибольшая повторяемость пасмурного состояния неба наблюдается в утренние часы, наименьшая — ночью. Суточный ход осенью сходен с весенним: наиболее пасмурная погода наблюдается утром, самая ясная в ночные часы. Летом пасмурная погода преобладает в вечерние, реже в дневные часы, наиболее ясная погода, как и весной, наблюдается ночью (табл. 2.19).

Повторяемость основных форм облачности определена в основном по станциям северного побережья Азовского моря. В зимние месяцы в районе Азовского моря преобладает низкая облачность слоистых форм: слоистые и слоисто-кучевые облака. Их повторяемость в это время составляет 30—35 %. Весной наиболее часто наблюдаются облака среднего и верхнего ярусов: перистые, перисто-слоистые (24—28 %) и высоко-кучевые облака (25—30 %). Летом чаще всего наблюдаются кучевые облака (25—35 %) и облака среднего яруса — высоко-кучевые — до 20 %. Осенью снова значительно увеличивается повторяемость слоисто-кучевых облаков (до 27—31 %) и по-прежнему часто наблюдаются высоко-кучевые облака (23—27 %). В течение всего года исключительно редко (не ежегодно) наблюдаются перисто-кучевые облака. В зимние месяцы также редки кучевые облака, а летом почти не наблюдаются слоистые.

## 2.9. Осадки и снежный покров

Раздел составлен по данным «Гидрометеорологического справочника Азовского моря» [40], ежегодников и ежегодников за 1961—1986 гг.

Измерение количества осадков над открытым морем не производится. Поэтому об общем количестве и распределении осадков над морем обычно судят по результатам расчетов, проведенных по теоретическим либо эмпирическим формулам.

Сводные данные о количестве осадков и их внутригодовом распределении приведены в табл. 2.20.

Как показали расчеты (Л. С. Лабунская) и данные наблюдений, в среднем за год на всю поверхность Азовского моря выпадает 15,5 км<sup>3</sup> осадков, что составляет слой воды толщиной 418 мм. Из них (29—38 %) приходится на зиму; в северной части моря меньше всего осадков выпадает осенью (17—22 %), в южной части моря — весной (около 22 %).

Помимо зимнего максимума наблюдается увеличение количества осадков в июне и июле. Особенно велик (122—150 мм) летний максимум осадков на побережье и в Таганрогском заливе (25—29 %). Он связан с развитием конвективной деятельности в теплый период.

В течение всего года количество осадков, выпадающих на побережье, больше такового над морем. При этом наблюдается общая тенденция к увеличению их количества в направлении с юга, юго-запада на север, северо-восток.

В распределении осадков над морем прослеживаются также и сезонные особенности: с апреля по октябрь наименьшее количество осадков выпадает в центральных районах моря, с ноября по март — в западной и юго-западной частях моря. Разница в количестве осадков, выпадающих на побережье, и в области их минимума — в центральной части моря — наиболее велика летом. Зимой распределение осадков над акваторией моря более равномерное. Объясняется это тем, что зимой над Азовским морем характерны обложные осадки, часто охватывающие все море или большую его часть и связанные со сравнительно частым прохождением циклонических возмущений. Летом Азовское море находится под влиянием отрогов азовского максимума, циклоническая деятельность наблюдается редко, преобладают осадки ливневого характера, которые выпадают на ограниченной территории (рис. 2.30).

Годовой ход количества осадков не аналогичен годовому ходу их повторяемости. Наименьшая повторяемость осадков летом и в начале осени (июль, август, сентябрь), наибольшая — зимой, особенно в феврале. Летом наблюдается второй максимум в годовом ходе количества осадков, а повторяемость их в это время года мала. Следовательно, можно сделать вывод о большой интенсивности летних осадков. В действительности

Таблица 2.20

Количество осадков по сезонам (мм и % от суммы за год)

| Место наблюдений   | Зима |     | Весна |     | Лето |     | Осень |     | Годовая<br>сумма<br>осадков | Минимум |      | Максимум |      |
|--------------------|------|-----|-------|-----|------|-----|-------|-----|-----------------------------|---------|------|----------|------|
|                    | %    | мм  | %     | мм  | %    | мм  | %     | мм  |                             | мм      | год  | мм       | год  |
| Геничск            | 29   | 116 | 23    | 92  | 26   | 107 | 22    | 88  | 400                         | 254     | 1974 | 707      | 1977 |
| Бердянск           | 41   | 143 | 23    | 106 | 27   | 124 | 19    | 88  | 461                         | 165     | 1954 | 634      | 1977 |
| Таганрог           | 30   | 164 | 22    | 118 | 28   | 150 | 20    | 107 | 539                         | 341     | 1975 | 739      | 1977 |
| Мариполь           | 30   | 147 | 24    | 118 | 29   | 142 | 17    | 84  | 491                         | 251     | 1954 | 722      | 1977 |
| Темрюк             | 30   | 145 | 21    | 102 | 24   | 116 | 25    | 121 | 484                         | 295     | 1954 | 694      | 1981 |
| Таганрогский залив | 32   | 157 | 23    | 113 | 25   | 122 | 20    | 98  | 490                         | —       | —    | —        | —    |
| Район моря         |      |     |       |     |      |     |       |     |                             |         |      |          |      |
| западный           | 33   | 122 | 20    | 74  | 24   | 89  | 23    | 85  | 370                         | —       | —    | —        | —    |
| восточный          | 32   | 143 | 22    | 98  | 24   | 107 | 22    | 98  | 446                         | —       | —    | —        | —    |
| юго-западный       | 31   | 123 | 22    | 88  | 24   | 95  | 23    | 92  | 398                         | —       | —    | —        | —    |
| юго-восточный      | 32   | 148 | 22    | 102 | 23   | 107 | 23    | 107 | 464                         | —       | —    | —        | —    |
| центральный        | 38   | 126 | 21    | 70  | 21   | 70  | 20    | 67  | 333                         | —       | —    | —        | —    |

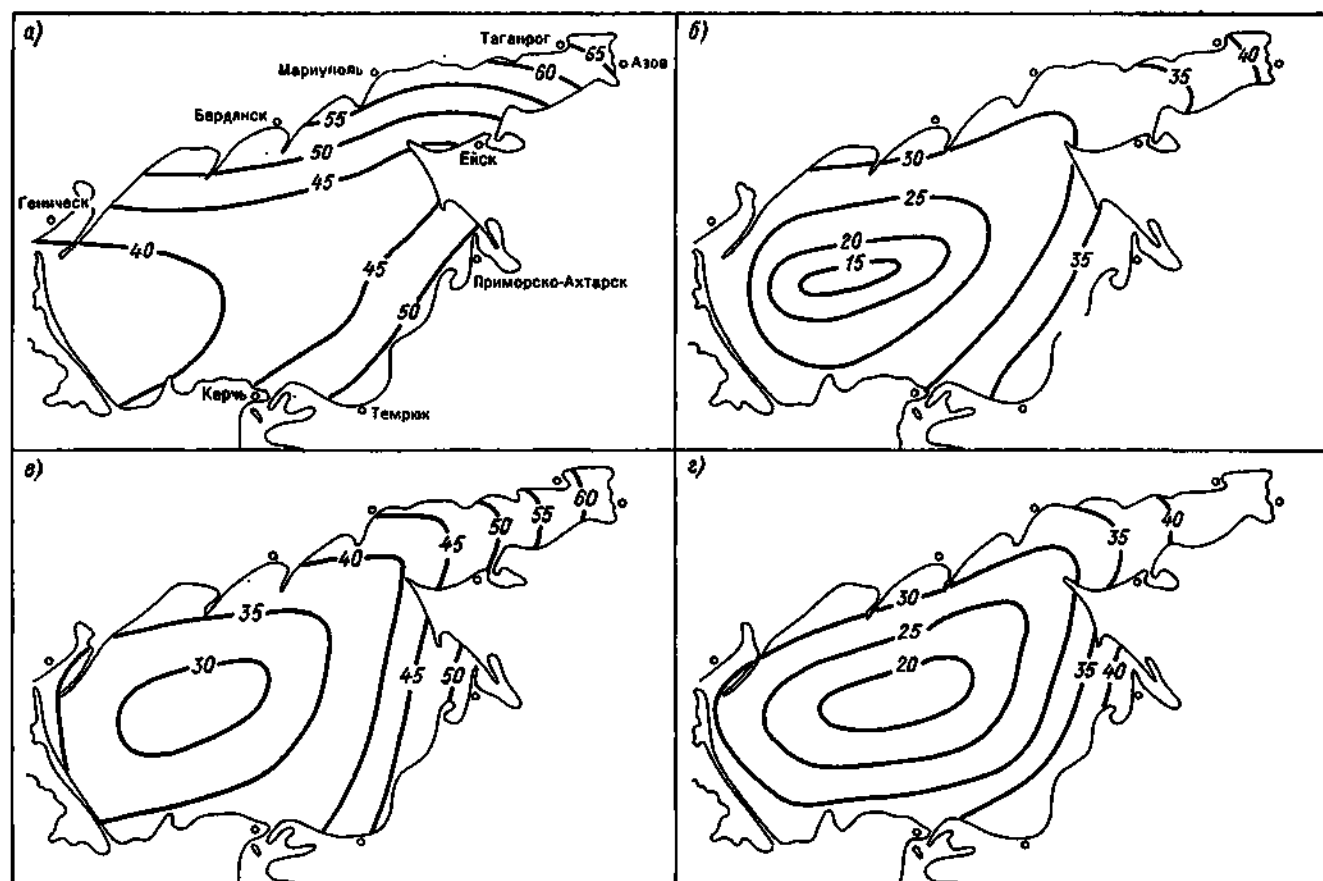


Рис. 2.30. Среднемесячная сумма осадков (мм) в январе (а), апреле (б), июле (в) и октябре (г).

Таблица 2.21

Максимальная интенсивность осадков (мм/мин) для различных интервалов времени

| Станция   | Интервалы времени     |                       |                       |                       |                       |                       |                         |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|           | минуты                |                       |                       |                       | часы                  |                       |                         |
|           | 5                     | 10                    | 20                    | 30                    | 1                     | 12                    | 24                      |
| Геничеськ | 4,6<br>(29 VI 1958)   | 3,2<br>(29 VI 1958)   | 1,9<br>(29 VI 1958)   | 1,4<br>(4 VII 1918)   | 0,8<br>(26 VII 1961)  | 0,15<br>(26 VII 1961) | 0,08<br>(26 VII 1961)   |
| Бердянськ | 2,0<br>(7 VII 1961)   | 1,8<br>(7 VII 1961)   | 1,4<br>(7 VII 1961)   | 1,3<br>(7 VII 1961)   | 1,0<br>(7 VII 1961)   | 0,08<br>(7 VII 1961)  | 0,04<br>(7 VII 1961)    |
| Маріуполь | 2,5<br>(2 VII 1940)   | 2,0<br>(2 VII 1940)   | 1,5<br>(2 VII 1940)   | 1,2<br>(2 VII 1910)   | 0,7<br>(2 VII 1940)   | 0,10<br>(19 VII 1957) | 0,07<br>(19—20 VI 1941) |
| Таганрог  | 3,3<br>(15 VIII 1933) | 2,1<br>(15 VIII 1933) | 1,3<br>(15 VIII 1933) | 1,0<br>(04 VI 1932)   | —                     | —                     | —                       |
| Темрюк    | 2,2<br>(10 VII 1932)  | 1,5<br>(10 VII 1932)  | 1,1<br>(10 VII 1932)  | 0,9<br>(15 VIII 1953) | 0,7<br>(15 VIII 1953) | 0,2<br>(15 VIII 1953) | 0,07<br>(15 VIII 1953)  |

так и есть: средняя интенсивность летних осадков в два-три раза больше интенсивности зимних. Например, в Геничеське средняя интенсивность осадков в январе 0,38 мм/ч, а в июле 0,92 мм/ч; в Керчи соответственно 0,47 и 1,17 мм/ч; в центральной части моря в январе 0,38—0,41 мм/ч, в июле — 1,02—1,09 мм/ч. В табл. 2.21 приведена максимальная интенсивность осадков за многолетний период. Абсолютная максимальная интенсивность наблюдалась на западном побережье в Геничеське почти для всех интервалов осреднения. Из таблицы также видно, что на всех приведенных береговых станциях максимальная интенсивность приходится только на три летних месяца — июнь, июль и август.

Таблица 2.22

Число дней в году с обильными осадками

| Станция            | Количество осадков, мм/сут |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 10                         | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 80  | 100 |
| Геничеськ          | 11                         | 2,3 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |     |
| Бердянськ          | 13                         | 3   | 1   | 0,3 | 0,1 |     |     |     |
| Маріуполь          | 15                         | 4,3 | 1,3 | 0,1 | 0,1 |     |     |     |
| Таганрог           | 16                         | 3   | 0,7 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |     |
| Приморско-Ахтарськ | 17                         | 5   | 1,5 | 0,2 | 0,6 | 0,1 | 0,1 |     |
| Темрюк             | 15                         | 4,3 | 1   | 0,3 | 0,2 |     |     |     |

Число дней в году с осадками 10 мм/сут в северо-восточной части моря составляет в среднем 13—17 (в отдельные годы 20—23), а с осадками 20 мм/сут и более — в среднем 3—5 (в отдельные годы 7—8), 30 мм/сут и более составляет в среднем 17—30 ч в год (3—4 дня в отдельные годы) (табл. 2.22).

В юго-западной части моря число дней с обильными осадками меньше, чем в северо-восточной. Число дней с осадками 10 мм/сут в юго-западной части моря в среднем за год бывает от 9 до 12 (в отдельные годы 17—19), а с осадками 20 мм/сут — в среднем 2—3 дня (в отдельные годы 5—6 дней).

Продолжительность осадков с интенсивностью свыше 40 мм/сут, выпадающих на побережье Азовского моря в среднем составляет 2,5—7 ч (в отдельные годы 1—2 сут). Например, в 1972 г. в Приморско-Ахтарске продолжительность осадков интенсивностью 80 мм/сут составила более 70 ч. Осадков интенсивностью 100 мм/сут и более за период 1966—1986 гг. не зафиксировано, однако ранее этого периода наблюдались ливни исключительной силы. Например, в июле 1956 г. в Опасном и в августе 1953 г. в Темрюке за сутки выпало больше 200 мм осадков. Такие ливни исключительной интенсивности носят локальный характер, и, как правило, даже на близлежащих станциях интенсивных осадков при этом может не наблюдаться.

Анализ данных многолетних наблюдений за осадками, производимых на береговых гидрометстанциях, показывает, что в отдельные годы их количество может значительно отличаться от средних годовых сумм (табл. 2.23). Изменчивость месячных сумм осадков больше, чем сезонных и особенно годовых.

Таблица 2.23

Средняя межгодовая изменчивость (% от нормы) сезонных и годовых сумм осадков

| Станция           | Зима | Весна | Лето | Осень | Год |
|-------------------|------|-------|------|-------|-----|
| Геническ          | 47   | 48    | 55   | 49    | 23  |
| Бердянск          | 50   | 42    | 47   | 42    | 22  |
| Мариуполь         | 53   | 42    | 49   | 48    | 23  |
| Таганрог          | 40   | 44    | 50   | 20    | 18  |
| Приморско-Ахтарск | 40   | 38    | 44   | 42    | 18  |
| Темрюк            | 37   | 38    | 61   | 46    | 26  |

В исключительно редких случаях сумма зарегистрированных на гидрометстанциях осадков за месяц в 5—7 раз превышала среднюю многолетнюю величину (норму). Например, в августе 1953 г. в Темрюке выпало 277 мм осадков, т. е. 710 % по отношению к норме этого месяца, в июле 1969 г. в Геническе осадков было 202 мм, что составило 546 % нормы.

Поскольку чаще всего такое увеличение количества осадков обусловлено отдельными очень интенсивными ливнями, значительные положительные аномалии месячных сумм осадков наблюдаются на станциях побережья в разные годы. Напротив, бездожде, засухи наблюдаются обычно на больших территориях одновременно. Так, большинством гидрометстанций на Азовском побережье в августе 1956 г. осадки или не были зафиксиро-

ваны, или их месячное количество было меньше 5 мм.

Изменчивость сезонных сумм осадков почти вдвое больше изменчивости годовых и в разные сезоны неодинакова: наибольшей изменчивостью чаще отличаются летние осадки, а на станциях Бердянск и Мариуполь — зимние. Наименьшая изменчивость количества осадков отмечается осенью и весной (см. табл. 2.23).

Межсезонная изменчивость осадков, определяемая разностью сумм осадков смежных сезонов, на разных станциях побережья имеет свои особенности: наиболее сильно количество осадков изменяется от осени к зиме в Геническе и Бердянске. В Мариуполе, Приморско-Ахтарске и Темрюке изменчивость максимальна при переходе от весны к лету, а в Таганроге, Должанской и Мысовом — от зимы к весне. Знак разностей сумм осадков смежных сезонов из года в год не сохраняется: в среднем при переходе от весны к лету и от осени к зиме количество осадков, как правило, увеличивается (в 75 % случаев) при переходе же от зимы к весне и от лета к осени чаще (в 60 % случаев) оно уменьшается.

Средняя межгодовая изменчивость осадков, определяемая средней абсолютной разностью сумм осадков смежных лет, по данным наблюдений на береговых гидрометстанциях, для годовых сумм осадков составляет 18—28 %. От года к году, как отмечалось выше, количество осадков изменяется в довольно больших пределах (табл. 2.20). Абсолютная максимальная годовая сумма осадков, равная 739 мм, отмечена в 1977 г. в Таганроге, абсолютная минимальная — 165 мм — в 1954 г. в Бердянске. Максимальный размах годовых сумм осадков составляет 471 мм.

Кроме того, во временных рядах годовых сумм можно проследить наличие сравнительно продолжительных периодов аномалий осадков одного знака.

Для практических целей представляют интерес не только фактически измеренные суммы осадков, но и их вероятностные характеристики. В табл. 2.24 даны значения сумм осадков малой обеспеченности. Наибольшее годовое количество осадков независимо от обеспеченности может выпадать в Мариуполе (1 %-ная обеспеченность — 770 мм).

Наибольшее месячное количество осадков, также независимо от обеспеченности, может наблюдаться на береговых станциях летом. Только в Бердянске месячные суммы 5 и 10 %-ной обеспеченности в декабре больше или равны июньским. Максимальное количество осадков летом может наблюдаться в Керчи. Здесь в июле возможно выпадение 200 мм осадков (1 %-ной обеспеченности).

Наименьшее количество осадков любой обеспеченности (за редким исключением) наблюдается на станции Геническ.

На поверхность Азовского моря в течение всего года выпадают в основном жидкие осадки. Даже в холодный период с ноября по март число дней с дождем часто больше числа дней со снегом. В январе только на одной прибрежной станции — Таганроге — среднее многолетнее число дней со снегом превышает число дней с дождем. В феврале такое превышение отмечается на трех станциях: Бердянске, Мариуполе и Таганроге (табл. 2.25). В отдельные зимние месяцы не только в северной,

Наибольшее месячное и годовое количество осадков (мм) различной обеспеченности

| Обеспеченность, % | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Год |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Геничск           |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
| 10                | 54  | 50  | 42  | 45  | 75  | 75  | 74  | 69   | 53  | 59  | 55  | 62  | 465 |
| 5                 | 69  | 61  | 48  | 51  | 92  | 92  | 92  | 84   | 66  | 70  | 66  | 71  | 500 |
| 2                 | 96  | 71  | 54  | 61  | 111 | 130 | 117 | 103  | 87  | 84  | 81  | 84  | 549 |
| 1                 | 120 | 76  | 59  | 70  | 123 | 186 | 132 | 114  | 105 | 92  | 90  | 92  | 600 |
| Бердянск          |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
| 10                | 75  | 70  | 52  | 56  | 70  | 79  | 82  | 69   | 62  | 64  | 72  | 82  | 541 |
| 5                 | 89  | 88  | 61  | 68  | 88  | 96  | 100 | 88   | 83  | 76  | 84  | 96  | 581 |
| 2                 | 108 | 116 | 77  | 83  | 112 | 136 | 126 | 116  | 118 | 99  | 95  | 113 | 632 |
| 1                 | 120 | 132 | 115 | 96  | 132 | 194 | 140 | 132  | 145 | 118 | 103 | 125 | 652 |
| Мариуполь         |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
| 10                | 80  | 67  | 51  | 63  | 77  | 92  | 104 | 104  | 74  | 70  | 70  | 91  | 625 |
| 5                 | 97  | 80  | 60  | 75  | 90  | 110 | 126 | 126  | 89  | 90  | 81  | 108 | 670 |
| 2                 | 119 | 98  | 78  | 86  | 114 | 138 | 155 | 167  | 106 | 117 | 96  | 128 | 728 |
| 1                 | 133 | 110 | 91  | 101 | 132 | 168 | 171 | 195  | 116 | 142 | 105 | 140 | 770 |
| Керчь             |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
| 10                | 69  | 56  | 48  | 49  | 78  | 108 | 98  | 102  | 70  | 69  | 65  | 80  | 566 |
| 5                 | 82  | 68  | 59  | 58  | 97  | 134 | 129 | 130  | 84  | 82  | 77  | 94  | 610 |
| 2                 | 98  | 87  | 73  | 74  | 124 | 170 | 176 | 167  | 99  | 99  | 91  | 111 | 660 |
| 1                 | 111 | 102 | 83  | 86  | 141 | 193 | 200 | 190  | 109 | 110 | 99  | 121 | 693 |

Таблица 2.25

Среднее многолетнее число дней с дождем и снегом

| Станция           | Вид осадков | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Год |
|-------------------|-------------|---|----|-----|----|---|----|-----|------|----|---|----|-----|-----|
| Геничск           | Дождь       | 7 | 7  | 7   | 8  | 8 | 8  | 6   | 5    | 5  | 7 | 9  | 9   | 86  |
|                   | Снег        | 6 | 6  | 4   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 1  | 1 | 1  | 4   | 23  |
| Бердянск          | Дождь       | 7 | 6  | 7   | 9  | 8 | 8  | 7   | 6    | 5  | 8 | 20 | 10  | 91  |
|                   | Снег        | 7 | 9  | 4   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 1  | 1 | 2  | 6   | 29  |
| Мариуполь         | Дождь       | 6 | 6  | 7   | 9  | 8 | 9  | 7   | 6    | 6  | 8 | 9  | 9   | 90  |
|                   | Снег        | 7 | 8  | 4   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 1  | 1 | 2  | 6   | 28  |
| Таганрог          | Дождь       | 6 | 5  | 8   | 9  | 8 | 8  | 7   | 7    | 7  | 9 | 9  | 9   | 92  |
|                   | Снег        | 9 | 10 | 6   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 1  | 1 | 2  | 8   | 36  |
| Приморско-Ахтарск | Дождь       | 9 | 10 | 9   | 9  | 9 | 9  | 7   | 7    | 6  | 9 | 12 | 12  | 108 |
|                   | Снег        | 9 | 7  | 5   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 1  | 1 | 2  | 6   | 29  |
| Темрюк            | Дождь       | 9 | 7  | 8   | 9  | 8 | 8  | 6   | 6    | 7  | 8 | 9  | 10  | 95  |
|                   | Снег        | 5 | 6  | 3   | 1  | 1 | 1  | 1   | 1    | 1  | 1 | 1  | 3   | 18  |

но и в южной части моря число дней со снегом может быть либо равно числу дней с дождем, либо превышать его. Так, в зиму 1928/29, 1953/54 гг. в течение не только декабря—февраля, но и в ноябре, марте и даже в апреле осадки на побережье выпадали преимущественно в виде снега. Выпадение твердых осадков возможно с октября по апрель, а в 1915 г. в Таганроге и Темрюке был зарегистрирован снег в мае. В отдельные годы снег в северных районах моря может выпадать даже в сентябре, но его повторяемость не превышает 1 % от общего числа дней с осадками. Наибольшее число дней со снегом наблюдается на самой северной станции — Таганроге (36), наименьшее в южной части моря (16).

По всему побережью Азовского моря ежегодно устанавливается снежный покров. Образуется снежный покров в среднем с начала первой декады декабря в северной части моря до середины третьей декады — в южной, сходит в конце первой — начале

Таблица 2.26

Число дней со снежным покровом и средние даты появления и схода снежного покрова

| Станция           | Средняя дата               |                        | Число дней со снежным покровом |
|-------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
|                   | появления снежного покрова | схода снежного покрова |                                |
| Геничск           | 12 XII                     | 12 III                 | 38                             |
| Бердянск          | 10 XII                     | 13 III                 | 48                             |
| Мариуполь         | 10 XII                     | 17 III                 | 49                             |
| Таганрог          | 1 XII                      | 21 III                 | 67                             |
| Приморско-Ахтарск | 19 XII                     | 11 III                 | 36                             |
| Темрюк            | 24 XII                     | 11 III                 | 26                             |
| Керчь             | 26 XII                     | 11 III                 | 23                             |

второй декады марта в южной части и в конце второй — начале третьей декады марта — в северной. В среднем на побережье снежный покров бы-

вает от 23 дней в Керчи до 67 дней в Таганроге (табл. 2.26).

Как правило, в течение зимы снежный покров неоднократно сходит и образуется вновь. Устойчивый снежный покров, сохраняющийся в течение 30 дней подряд и больше, даже в северной части моря наблюдается меньше чем в 50 % зим, а в южной части моря неустойчивый снежный покров отмечается в 90 % зим. Даже в северном районе моря снежный покров характеризуется небольшой высотой: больше 80 % зим средняя декадная высота снежного покрова не превышает 10 см, максимальная средняя за декаду высота достигала 40 см.

## 2.10. Опасные и особо опасные метеорологические явления

Некоторые опасные и особо опасные явления, такие, как интенсивные осадки и сильный ветер уже рассмотрены в соответствующих разделах данной главы. В данном разделе будут рассмотрены туманы, метели, обледенение судов и некоторые другие.

### 2.10.1. Туманы

Для характеристики туманов и метелей над открытым морем использован «Климатический и

гидрологический атлас Черного и Азовского морей» [46], «Гидрометеорологический справочник Азовского моря» [40], а также материалы береговых наблюдений за 1960—1973 гг.

Туманом называется скопление в воздухе у земной поверхности капель воды или кристаллов льда, вызывающих уменьшение горизонтальной видимости до 1 км и менее. В табл. 2.27 приведено среднее многолетнее число дней с туманом по данным береговых гидрометстанций. В среднем за год на побережье Азовского моря наблюдается от 33 (в Приморско-Ахтарске) до 54 (в Мариуполе) дней с туманом, при этом в зимние месяцы число дней с туманом значительно больше, чем летом (летом туманы бывают не ежегодно). В отдельные годы число дней с туманом значительно отличается от средних многолетних. Иногда даже зимой туманы не наблюдаются, а летом, напротив, бывает до 3—5 дней с туманом.

В годовом ходе наибольшим числом дней с туманом характеризуются декабрь и январь, наименьшим — период с июня по август (рис. 2.31). Его амплитуда для северного побережья (Бердянск) несколько больше амплитуды для южного (Мысовое) за счет большего числа дней с туманом в холодный период. Некоторое увеличение числа дней с туманом в мае на станции Мысовое связано с адвекцией тумана с Черного моря, где район Южного берега Крыма и Северного Кавказа характеризуется весенним максимумом годового хода

Таблица 2.27

Число дней с туманом

| Пункт             | Число дней | I  | II | III | IV | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X  | XI | XII | Год |
|-------------------|------------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|------|-----|----|----|-----|-----|
| Геничск           | Среднее    | 8  | 7  | 6   | 4  | 1   | 0,4 | 0,1 | 0,4  | 2   | 4  | 6  | 7   | 46  |
|                   | Наибольшее | 19 | 15 | 17  | 13 | 10  | 1   | 1   | 2    | 6   | 11 | 14 | 18  | 75  |
|                   | Наименьшее | 2  | 1  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 2  | 0   | 27  |
| Бердянск, порт    | Среднее    | 8  | 5  | 7   | 4  | 1   | 0,1 | 0,1 | 0,3  | 1   | 4  | 7  | 7   | 44  |
|                   | Наибольшее | 17 | 14 | 18  | 11 | 6   | 1   | 1   | 1    | 3   | 7  | 13 | 20  | 88  |
|                   | Наименьшее | 1  | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0  | 0   | 21  |
| Мариуполь         | Среднее    | 8  | 7  | 8   | 4  | 1   | 0,5 | 0,3 | 0,7  | 2   | 5  | 9  | 8   | 54  |
|                   | Наибольшее | 18 | 18 | 15  | 12 | 5   | 5   | 3   | 4    | 8   | 12 | 19 | 15  | 84  |
|                   | Наименьшее | 0  | 0  | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0  | 3   | 13  |
| Таганрог, маяк    | Среднее    | 7  | 7  | 7   | 3  | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,4  | 1   | 4  | 9  | 9   | 48  |
|                   | Наибольшее | 16 | 18 | 15  | 10 | 3   | 1   | 1   | 2    | 5   | 10 | 16 | 15  | 66  |
|                   | Наименьшее | 0  | 1  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 3  | 1   | 30  |
| Приморско-Ахтарск | Среднее    | 6  | 5  | 4   | 2  | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,3  | 1   | 3  | 5  | 6   | 33  |
|                   | Наибольшее | 15 | 15 | 10  | 6  | 3   | 3   | 3   | 1    | 8   | 6  | 19 | 15  | 59  |
|                   | Наименьшее | 0  | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0  | 0   | 11  |
| Керчь, порт       | Среднее    | 8  | 6  | 6   | 5  | 2   | 0,5 | 0,1 | 0,3  | 0,8 | 3  | 4  | 6   | 42  |
|                   | Наибольшее | 20 | 15 | 12  | 9  | 7   | 5   | 2   | 3    | 10  | 11 | 12 | 19  | 66  |
|                   | Наименьшее | 0  | 1  | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0    | 0   | 0  | 0  | 2   | 19  |

Таблица 2.28

Средняя и максимальная продолжительность (ч) туманов

| Станция           | Продолжительность | I    | II   | III  | IV   | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X    | XI   | XII  | Год   |
|-------------------|-------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|-------|
| Таганрог, порт    | Средняя           | 42,4 | 56,6 | 30,5 | 10   | 1,7 | 0,1 |     |      | 2,5 | 16,9 | 58,1 | 89,8 | 308,5 |
|                   | Максимальная      | 100  | 197  | 94   | 84   | 17  | 1   |     |      | 19  | 52   | 112  | 164  | 840   |
| Приморско-Ахтарск | Средняя           | 53,6 | 29,8 | 22,3 | 6,9  | 2,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5  | 5,7 | 15,6 | 33,7 | 47,4 | 217,8 |
|                   | Максимальная      | 107  | 104  | 69   | 26   | 9   | 1   | 1   | 5    | 19  | 35   | 110  | 85   | 571   |
| Темрюк            | Средняя           | 37,8 | 35,2 | 21,7 | 6,7  | 1,3 | 0,3 | 0,9 | 1,8  | 7,7 | 16,4 | 38,0 | 46,5 | 214,3 |
|                   | Максимальная      | 124  | 105  | 73   | 52   | 5   | 5   | 4   | 9    | 19  | 42   | 102  | 130  | 670   |
| Геничск           | Средняя           | 52,3 | 61,4 | 39,9 | 20,9 | 4,8 | 0,4 | 0,3 | 0,1  | 5,1 | 18,5 | 38,3 | 43,5 | 285,5 |
|                   | Максимальная      | 157  | 125  | 137  | 196  | 30  | 3   | 2   |      | 18  | 54   | 93   | 126  | 941   |
| Бердянск          | Средняя           | 23,1 | 41,6 | 36,5 | 17,3 | 3,5 | 0,2 |     | 0,1  | 1,7 | 13,6 | 33,4 | 40,9 | 211,9 |
|                   | Максимальная      | 87   | 116  | 76   | 63   | 19  | 1   |     | 2    | 5   | 43   | 62   | 96   | 570   |
| Мариуполь         | Средняя           | 58,3 | 65,7 | 53,8 | 20,8 | 4,5 | 0,4 |     | 0,3  | 6,1 | 22,7 | 56,8 | 93,1 | 382,5 |
|                   | Максимальная      | 126  | 189  | 147  | 73   | 50  | 5   |     | 3    | 38  | 56   | 99   | 201  | 990   |

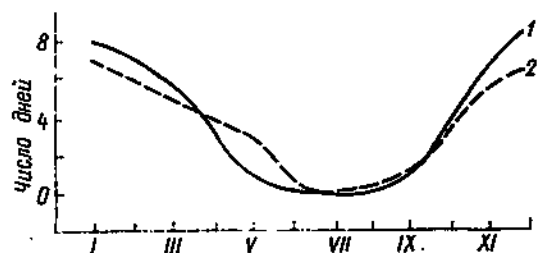


Рис. 2.31. Годовой ход числа дней с туманом в Бердянске (1) и на ст. Мысовое (2).

числа дней с туманом, приходящимся на апрель—май.

В теплое время года преобладают туманы продолжительностью 1—6 ч. Туманы с непрерывной продолжительностью более 1 сут очень редки. В отдельных случаях зимой туманы сохраняются в течение 30—60 ч (табл. 2.28).

На побережье Азовского моря туманы наблюдаются преимущественно при ветрах восточных и западных румбов. В холодное полугодие они чаще бывают при ветрах с моря, в теплое — при ветрах с берега.

Как правило, туманы во все сезоны года, кроме зимы, более часто наблюдаются в ночные и утренние часы. Зимой же туманы преобладают днем.

В открытом море различные районы характеризуются неодинаковой повторяемостью туманов. Чаще всего наблюдаются туманы, охватывающие все море или его значительную часть, а также туманы, охватывающие северо-восточную половину

моря. Следует отметить большую повторяемость туманов в Таганрогском заливе, где они могут наблюдаться даже в случае отсутствия туманов в других районах моря. Чаще всего это бывает тогда, когда туман, охватывающий все море, рассеивается и задерживается еще на день или два лишь в Таганрогском заливе. В открытом море туманы наблюдаются несколько реже, чем на побережье.

Наибольшая повторяемость туманов отмечается зимой на северном и северо-восточном побережье моря. В районе Бердянска и Мариуполя в январе она составляет более 12 %. Повторяемость туманов в южной и юго-восточной части моря в этот период в два раза меньше. Летом туманы очень редки. Их повторяемость в июле составляет менее 2 %. В переходные сезоны повторяемость туманов одинакова: в Таганрогском заливе и у восточного побережья она немного больше, а по другим районам моря немного меньше 3 % (рис. 2.32).

Зимой, в начале весны и в конце осени в районе Азовского моря преобладают адвективные туманы, а в остальное время — радиационные (табл. 2.29).

Таблица 2.29

Среднее число случаев туманов различного происхождения

| Туманы       | Зима | Весна | Лето | Осень |
|--------------|------|-------|------|-------|
| Адвективные  | 26   | 8     | 0    | 8     |
| Радиационные | 7    | 12    | 8    | 13    |
| Фронтальные  | 5    | 5     | 0,1  | 3     |

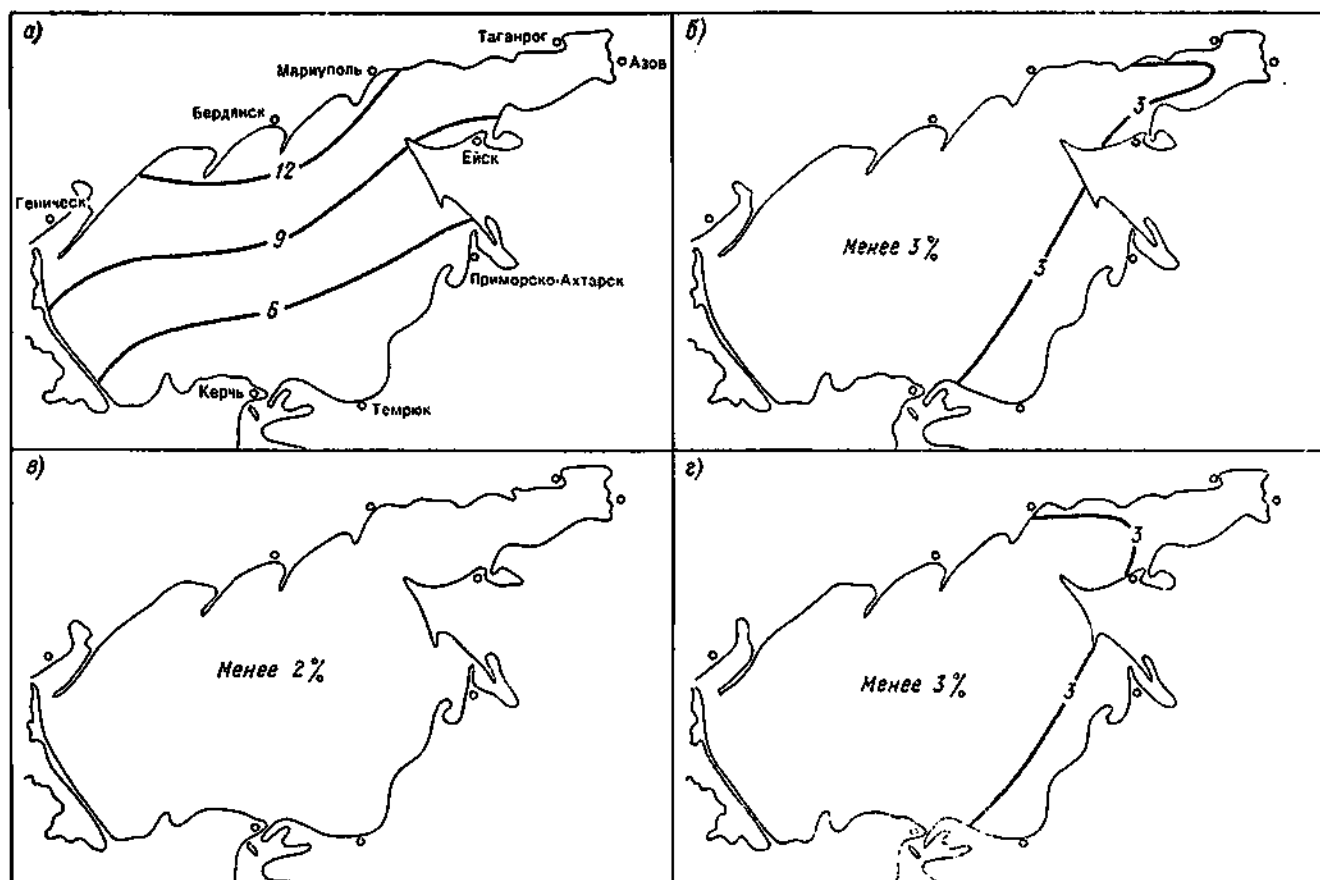


Рис. 2.32. Повторяемость туманов (%) в январе (а), апреле (б), июле (в) и октябре (г).

Средняя и максимальная продолжительность (ч) метелей

| Станция           | Продолжительность | XI  | XII  | I    | II   | III  | IV  | Максимальная<br>в год |
|-------------------|-------------------|-----|------|------|------|------|-----|-----------------------|
| Таганрог, порт    | Средняя           | 0,3 | 6,9  | 14,9 | 21,1 | 4,9  |     | 269 (1969 г.)         |
|                   | Максимальная      | 4   | 38   | 93   | 165  | 25   |     |                       |
| Бердянск          | Средняя           | 0,3 | 3,6  | 16,1 | 20,2 | 5,8  |     | 232 (1969 г.)         |
|                   | Максимальная      | 5   | 14   | 82   | 142  | 34   |     |                       |
| Мариуполь         | Средняя           | 2,1 | 19,7 | 31   | 25,9 | 11,4 |     | 369 (1969 г.)         |
|                   | Максимальная      | 10  | 69   | 174  | 154  | 48   |     |                       |
| Приморско-Ахтарск | Средняя           | 0,3 | 2,9  | 10,1 | 11,9 | 5,7  | 0,2 | 72 (1968 г.)          |
|                   | Максимальная      | 5   | 20   | 41   | 36   | 31   | 3   |                       |
| Темрюк            | Средняя           |     | 7,1  | 13   | 15,3 | 7,1  |     | 95 (1967 г.)          |
|                   | Максимальная      |     | 41   | 46   | 57   | 21   |     |                       |
| Геническ          | Средняя           | 0,5 | 1,6  | 1,3  | 5,3  | 2,2  |     | 116 (1969 г.)         |
|                   | Максимальная      | 8   | 16   | 50   | 73   | 45   |     |                       |

Летом наблюдаются только радиационные и фронтальные туманы. Последние отмечаются очень редко и лишь в июне. Фронтальные туманы возможны в течение всего года, но чаще всего отмечаются зимой и весной: в среднем по пять случаев за сезон. В основном они связаны с прохождением холодных фронтов и, как правило, сопровождаются сильным ветром и выпадением осадков.

Адвективные туманы охватывают все море или какую-либо значительную часть его. В 82 % случаев они связаны с адвекцией тепла. Такие туманы устойчивы во времени, особенно зимой, когда могут удерживаться до 13 сут подряд. Весной и осенью они удерживаются не более 7—8 сут.

Туманы, связанные с адвекцией холода, напротив, кратковременны, никогда не удерживаются более 3 сут, независимо от сезона.

Радиационные туманы обычно отмечаются на одной или нескольких станциях. Очень редко такой туман охватывает все станции моря. Радиационные туманы непродолжительны, наблюдаются в основном ночью и утром, и с восходом солнца рассеиваются. Лишь в отдельных случаях зимой, весной и осенью они могут удерживаться до полудня. Следует отметить, что радиационные туманы, за редким исключением, наблюдаются только на берегу.

## 2.10.2. Метели

Метель представляет собой перенос снега ветром у земной поверхности с одновременным ухудшением видимости.

На побережье Азовского моря метели могут наблюдаться с ноября по март. В апреле они наблюдаются крайне редко и за все время наблюдений отмечены только в одном пункте наблюдений — Приморско-Ахтарске. Наиболее продолжительны метели в январе и феврале (табл. 2.30). Средняя продолжительность метелей в это время на северном побережье достигает 15—31 ч, максимальная 82—174 ч.

На западе моря метели непродолжительны. Наиболее часто метели наблюдаются в Мариуполе. Средняя и максимальная продолжительность метелей здесь также значительно выше, чем на других станциях Азовского побережья, и составляет в январе соответственно 31 и 174 ч.

Метели, даже очень продолжительные, не охватывают всей акватории Азовского моря. Так, в многоснежную и ветреную зиму 1969 г. наиболее

продолжительная метель наблюдалась только на западном и северном побережье Азовского моря, где на четырех станциях — Таганрог, Бердянск, Мариуполь и Геническ — по продолжительности этого явления были зарегистрированы абсолютные максимумы. В Мариуполе метель была наиболее длительной — 369 ч подряд.

## 2.10.3. Обледенение надводных объектов

Для характеристики обледенения надводных объектов использованы материалы наблюдений на прибрежных гидрометстанциях в Мариуполе, Геническе, Бердянске, Керчи, Таганроге, Приморско-Ахтарске и Темрюке за период 1961—1977 г.

Первые случаи обледенения на Азовском море наблюдаются, как правило, в ноябре, а последние — в апреле. Наибольшее число случаев приходится на период декабрь—февраль. Продолжительность опасного для мореплавания периода зависит от района моря и в среднем составляет 120 дней в южной части и 150 дней в северной и Таганрогском заливе. Максимальная непрерывная продолжительность обледенения надводных объектов за период 1961—1977 гг. составляет 93 ч (январь 1961 г., Бердянск).

Наибольшее число случаев обледенения наблюдалось при температуре воздуха 0,4...—4,9°C (табл. 2.31) и скорости ветра 2—5 м/с восточных румбов (табл. 2.32, 2.33), т. е. для Азовского моря характерно в основном медленное обледенение. Недостаточное количество данных наблюдений за обледенением надводных объектов на Азовском

Таблица 2.31

Повторяемость (%) различной температуры воздуха при обледенении

| Станции           | Интервал температуры, °C |             |             |             |
|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                   | 0,0...—4,9               | —5,0...—9,9 | —10...—19,9 | —20...—29,9 |
| Мариуполь         | 64,9                     | 26,2        | 8,9         | —           |
| Геническ          | 75,9                     | 14,6        | 9,5         | —           |
| Бердянск          | 71,8                     | 20,9        | 7,3         | —           |
| Керчь             | 76,4                     | 9,8         | 11,8        | 2,0         |
| Таганрог          | 62,4                     | 21,0        | 15,5        | 1,1         |
| Приморско-Ахтарск | 71,0                     | 19,3        | 9,7         | —           |
| Темрюк            | 71,4                     | 22,9        | 5,7         | —           |



Таблица 2.32

Повторяемость (%) различных направлений ветра и штилей при обледенении

| Станции           | Направление ветра |      |      |      |     |      |     |     | Штиль |
|-------------------|-------------------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-------|
|                   | С                 | СВ   | В    | ЮВ   | Ю   | ЮЗ   | З   | СЗ  |       |
| Мариуполь         | 4,4               | 15,4 | 39,0 | 10,4 | 1,7 | 3,9  | 7,1 | 5,5 | 12,6  |
| Геническ          | 5,3               | 49,7 | 19,5 | 4,4  | 2,0 | 1,5  | 4,9 | 7,8 | 4,9   |
| Бердянск          | 3,9               | 44,6 | 20,4 | 5,8  | 1,0 | 7,8  | 3,9 | 6,8 | 5,8   |
| Керчь             | 5,6               | 22,2 | 9,3  | 7,4  | 1,8 | 1,8  | 9,3 | 9,3 | 33,3  |
| Таганрог          | 4,3               | 26,4 | 23,1 | 10,8 | —   | 10,8 | 8,0 | 6,6 | 10,4  |
| Приморско-Ахтарск | 3,5               | 23,5 | 31,8 | 23,5 | 4,7 | 7,1  | 3,5 | 1,2 | 1,2   |
| Темрюк            | 7,7               | 30,8 | 33,8 | 13,9 | 1,5 | 6,2  | 3,1 | 1,5 | 1,5   |

Таблица 2.33

Повторяемость (%) различной скорости ветра при обледенении

| Станции           | Скорость ветра, м/с |      |      |       |       |       |
|-------------------|---------------------|------|------|-------|-------|-------|
|                   | 0—1                 | 2—5  | 6—9  | 10—13 | 14—17 | 18—20 |
| Мариуполь         | 22,1                | 33,8 | 17,9 | 13,9  | 10,8  | 1,5   |
| Геническ          | 18,6                | 53,2 | 14,7 | 9,6   | 3,9   | —     |
| Бердянск          | 15,3                | 53,2 | 20,7 | 9,0   | 1,8   | —     |
| Керчь             | 38,5                | 34,6 | 13,5 | 7,7   | 3,8   | 1,9   |
| Таганрог          | 28,0                | 49,5 | 15,9 | 6,5   | —     | —     |
| Приморско-Ахтарск | 34,3                | 35,4 | 16,2 | 10,1  | 3,0   | 1,0   |
| Темрюк            | 18,4                | 44,7 | 21,1 | 13,2  | 2,6   | —     |

море не позволило рассчитать комплексные характеристики этого явления.

Наибольшее число случаев обледенения надводных объектов наблюдалось при температуре воздуха 0,0...—4,9°C (62,4—76,4 % случаев). Довольно значительна повторяемость града —5,0...—9,9°C, а в Керчи и Таганроге отмечены случаи обледенения при —20...—29,9°C. Правда, такие низкие температуры наблюдаются при антициклонической погоде со штилевыми условиями или слабыми ветрами (см. табл. 2.31).

Особенно велика при обледенении повторяемость восточных, северо-восточных ветров на всех станциях Азовского моря — от 49,5 % в Таганроге

до 69,2 % в Геническе. Только на станции Керчь отмечается преобладание штилевых условий при обледенении (33,3 %) (см. табл. 2.32). В 33,8—53,2 % случаев обледенение сопровождается ветром со скоростью 2—5 м/с. Однако почти на всех станциях Азовского моря отмечено обледенение при скорости ветра 14—17 м/с, а в Мариуполе, Керчи и Приморско-Ахтарске даже 18—20 м/с (см. табл. 2.33). В целом для Азовского моря характерно медленное обледенение.

В заключение раздела рассмотрим вкратце некоторые другие опасные явления, которые могут встречаться на Азовском море.

Пыльными бурями называется перенос пыли или песка сильным ветром. При этом видимость может ухудшаться до 50—100 м. В основном пыльные бури наблюдаются с мая по сентябрь. На Азовском море повторяемость их наиболее велика на восточном побережье: ухудшение видимости до 1 км и меньше на станции Таганрог в 32 % случаев вызывается этим явлением и на станции Приморско-Ахтарск в 42 %. На западе моря число пыльных бурь невелико. Они обычно сопровождаются сильным ветром при низкой относительной влажности и ясном небе. Продолжительность пыльных бурь может достигать нескольких суток.

Грозы, град и смерчи наблюдаются в районе Азовского моря с мая по сентябрь. Грозы наиболее часты в июле и августе, когда создаются наиболее благоприятные условия для развития мощной кучевой облачности. Грозы сопровождаются шквалистыми ветрами, ливнями и резким понижением температуры. Град на побережье Азовского моря выпадает очень редко, не более одного раза в 5—7 лет. Смерчи, как и град, тоже связаны с мощной грозовой облачностью. Смерчи в основном образуются в южной и юго-восточной частях моря. Обычно они стоят на месте или медленно движутся, изредка скорость передвижения смерчей может достигать до 40—60 км/ч. Длительность существования смерчей небольшая, 15—20 мин, изредка до 1 ч. Морские водяные смерчи обладают меньшей силой по сравнению с наземными смерчами, но иногда могут поднимать столб воды высотой до 100 м.

### 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

#### 3.1. Температура воды

Для Азовского моря характерна значительная временная и пространственная изменчивость термических условий. Эта особенность объясняется географическим положением на южной периферии умеренных широт (на границе замерзающих и незамерзающих морей), мелководностью моря, изрезанностью его берегов, сравнительно низкой соленостью и т. д. Взаимодействие всех этих факторов и определяет особенности термических условий моря.

Основным источником тепла, поступающего на поверхность Азовского моря, является солнечная радиация. Количество суммарной солнечной радиации, поглощенной морем за год, в среднем за многолетний период составляет около 4000 МДж/м<sup>2</sup>. Из этого количества тепла ежегодно

2200 МДж/м<sup>2</sup> расходуется на испарение, около 1500 МДж/м<sup>2</sup> на эффективное излучение и 300 МДж/м<sup>2</sup> — на контактный теплообмен с атмосферой. Подробно тепловой баланс поверхности Азовского моря освещен во второй главе.

Водообмен с Черным морем, а также сток Дона и Кубани оказывают незначительное влияние на термический режим моря. В среднем за год воды Дона охлаждают море, а черноморские и кубанские — отепляют его. Количественная оценка теплового влияния вышеуказанных факторов, отнесенная ко всей акватории моря, показала, что за год охлаждающее влияние Дона составляет около 0,8 МДж/м<sup>2</sup>, а отепляющее влияние Кубани и черноморских вод 2,1 и 7,5 МДж/м<sup>2</sup> соответственно [15, 72].

Преобладающая роль радиационных факторов в формировании термического режима моря от-

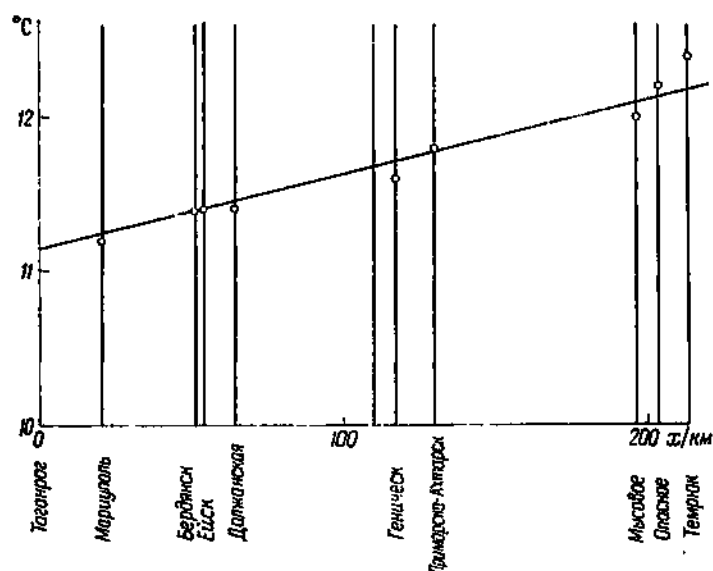


Рис. 3.1. Изменение среднегодовых многолетних значений температуры воды (°C) по данным береговых гидрометеорологических станций Азовского моря.

четливо прослеживается в зональном распределении среднегодовых многолетних значений температуры воды по данным береговых станций (рис. 3.1). Они постепенно увеличиваются с 11,2°C в северной части моря до 12,2—12,4°C в южной, т. е. примерно на 0,5°C на 1° широты. Если направить ось абсцисс с севера на юг и положить начало координат в Таганроге, то зональное изменение температуры воды можно представить следующим эмпирическим линейным уравнением:

$$Y = 0,0048X + 11,15,$$

где  $X$  — расстояние от Таганрога по меридиану (км),  $Y$  — среднегодовая многолетняя температура воды (°C).

По данным для открытого моря в навигационный период (апрель—ноябрь) отмечается аналогичная закономерность, которая выражается уравнением

$$Y = 0,004X + 16,62,$$

где  $X$  — расстояние по меридиану от 47° с. ш. (км),  $Y$  — средняя многолетняя за навигационный период

температура поверхностного слоя моря. Некоторое различие угловых коэффициентов в приведенных уравнениях объясняется, вероятно, недостаточным количеством данных для открытого моря. В целом зональные изменения температуры воды в открытой части моря, как и в прибрежных районах, невелики — от 16,5°C в северной части до 17,4°C в южной. Отклонения от указанных средних многолетних значений температуры воды в отдельные годы могут быть существенными. Так, в районе Бердянска они составляют 1,0—1,3°C, а в районе Мысового — даже 1,5—1,9°C. Стандартные отклонения среднегодовых величин  $\sigma$  равняются  $\pm 0,505^\circ\text{C}$  для Бердянска и  $\pm 0,693^\circ\text{C}$  для Мысового. Следует отметить, что годовые аномалии температуры воды в различных районах моря, как правило, имеют один и тот же знак, хотя могут существенно отличаться по абсолютной величине. Это свидетельствует об однонаправленности процессов по всей акватории моря. В многолетнем ходе температуры не прослеживается отчетливых трендов. Визуально можно выделить несколько пониженный фон температуры во второй половине 20-х — в начале 30-х годов и повышенный — во второй половине 60-х — начале 70-х годов (рис. 3.2). Расчет многолетних линейных трендов со второй половины 40-х годов по 1986 г. показал практически отсутствие тренда в Бердянске и незначительный положительный тренд (0,03°C) в Мысовом. Последнее обстоятельство, возможно, связано с некоторым усилением тепляющего влияния черноморских вод в холодную часть года (октябрь—февраль) в связи со строительством Цимлянского гидроузла и увеличением изъятий речного стока. Это в какой-то мере подтверждается расчетами многолетних трендов среднемесячной температуры воды, которые приводятся в табл. 3.1. Из этих данных также следует, что тренды месячных значений значительно больше, чем годовых, но в целом за год при многолетнем осреднении они практически уравниваются.

Сезонные изменения температуры воды Азовского моря, как и других мелководных акваторий умеренных широт, выражены очень резко. Представленные в табл. 3.2 среднемесячные многолетние значения температуры воды на прибрежных гидрометеостанциях Азовского моря свидетельствуют о следующем.

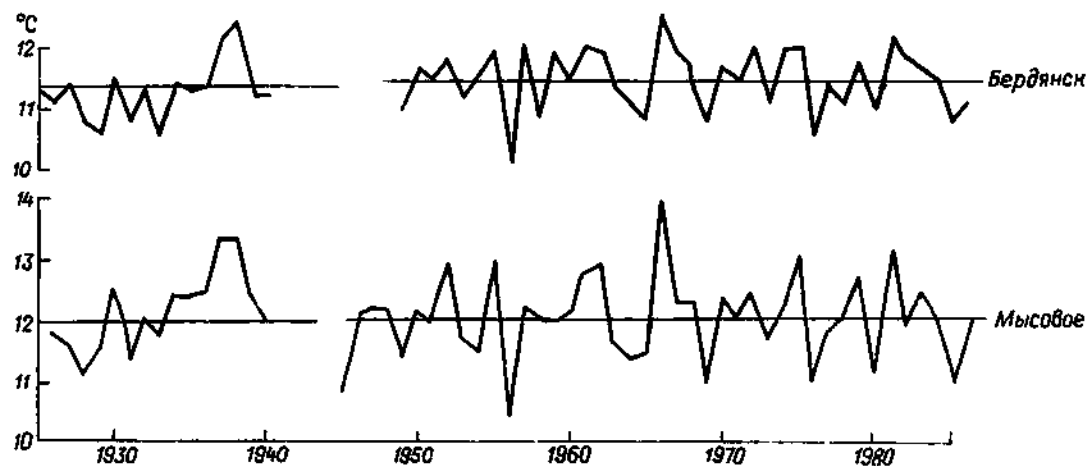


Рис. 3.2. Многолетний ход среднегодовых значений температуры воды (°C) в Бердянске и Мысовом.

Таблица 3.1

## Многолетние тренды температуры (°C) воды по Бердянску и Мысовому

| Пункт    | Период наблюдений | I    | II    | III   | IV    | V     | VI   | VII   | VIII  | IX    | X    | XI   | XII  | Год   |
|----------|-------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Бердянск | 1949—1986         | 0,09 | -0,43 | -0,17 | 0,70  | -0,28 | 0,12 | -0,52 | -0,90 | -0,42 | 0,45 | 0,84 | 0,44 | 0,002 |
| Мысовое  | 1945—1986         | 0,37 | 0,07  | 0,01  | -0,18 | -0,08 | 0,00 | -0,48 | -1,04 | -0,64 | 0,65 | 0,41 | 1,18 | 0,030 |

Таблица 3.2

## Температура (°C) поверхности моря

| Пункт             | I   | II  | III | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI  | XII | Год  |
|-------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| Таганрог          | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 9,6  | 18,1 | 22,4 | 24,8 | 23,6 | 18,4 | 11,1 | 4,6 | 0,9 | 11,2 |
|                   | 0,1 | 0,0 | 1,1 | 8,4  | 17,3 | 22,0 | 24,5 | 23,6 | 19,1 | 12,4 | 6,1 | 1,5 | 11,2 |
| Бердянск          | 0,0 | 0,0 | 1,3 | 8,4  | 17,0 | 22,2 | 24,6 | 23,7 | 19,0 | 12,5 | 6,4 | 1,7 | 11,4 |
| Ейск              | 0,2 | 0,2 | 1,7 | 9,5  | 17,6 | 22,4 | 24,9 | 23,7 | 18,6 | 11,6 | 5,4 | 1,4 | 11,4 |
| Должанская        | 0,2 | 0,1 | 2,0 | 9,6  | 17,2 | 22,0 | 24,4 | 23,4 | 18,6 | 11,9 | 5,5 | 1,7 | 11,4 |
| Генический        | 0,2 | 0,2 | 2,3 | 9,5  | 17,2 | 21,9 | 23,5 | 23,5 | 19,2 | 12,7 | 6,9 | 2,0 | 11,6 |
| Приморско-Ахтарск | 0,3 | 0,6 | 3,1 | 11,1 | 18,1 | 22,5 | 23,4 | 23,4 | 18,5 | 11,9 | 5,9 | 1,7 | 11,8 |
| Мысовое           | 1,1 | 0,7 | 2,3 | 7,7  | 15,5 | 21,1 | 24,1 | 24,1 | 20,2 | 14,4 | 9,1 | 3,9 | 12,0 |
| Опасное           | 1,9 | 1,0 | 2,5 | 8,0  | 15,3 | 21,1 | 24,1 | 24,1 | 20,1 | 14,3 | 9,0 | 4,6 | 12,2 |
| Темрюк            | 1,1 | 1,2 | 3,5 | 10,2 | 17,1 | 22,3 | 24,2 | 24,2 | 19,6 | 13,5 | 7,8 | 3,2 | 12,4 |

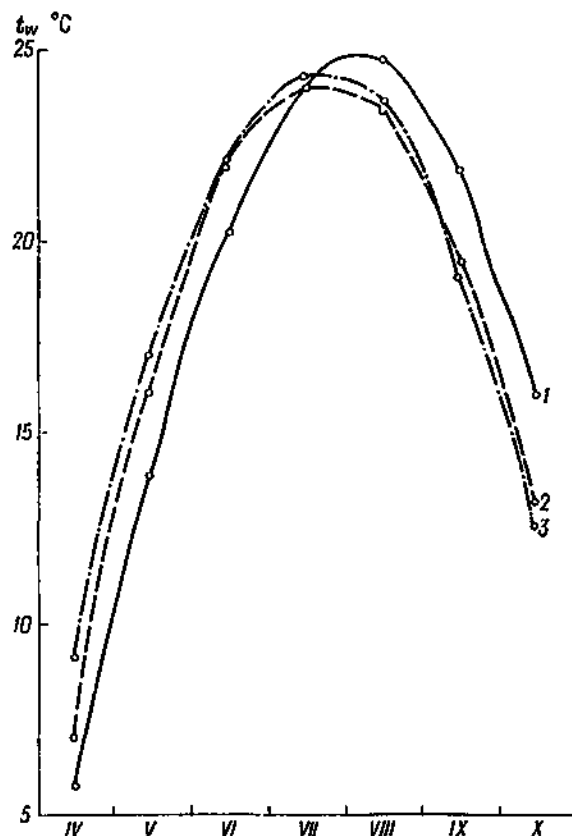
1. Размах годового хода в разных районах моря составляет 23,2—24,7°C, причем несколько убывает в направлении с севера на юг, в основном за счет разности между наиболее низкими температурами в северных и южных районах моря.

2. Самая низкая температура отмечается в январе—феврале, а самая высокая — в июле. В период наибольшего прогревания температура воды практически выравнивается по всему морю. С начала охлаждения (август) температура воды в южной части моря становится выше температуры в северных и центральных районах. С апреля по июль картина становится обратной. Это, вероятно, связано не только с зональным расположением пунктов наблюдений и с морфологическими особенностями районов, но и с отопляющим влиянием черноморских вод на южные районы моря в период охлаждения, и с охлаждающим влиянием их в период интенсивного прогревания мелководного Азовского моря. В открытых более глубоких районах моря максимальная температура воды отмечается в августе.

Наиболее интенсивное прогревание вод весной прослеживается от апреля к маю. По данным береговых станций, в разных пунктах оно округленно составляет 7—9°C (среднее 7,9°C), в открытых районах моря — 6,5—9,5°C (среднее 8,4°C). Наиболее быстрое охлаждение вод у побережья происходит от сентября к октябрю на 6—7°C (среднее 6,5°C), а в открытых районах моря от октября к ноябрю — на 5,5—7,7°C (среднее 6,7°C). Наглядное представление о сезонном ходе температуры воды дает рис. 3.3, на котором показана температура воды за навигационный период на прибрежных станциях, в мелководных районах открытого моря (квадраты 4, 7, 8, 13, 14, 22, 28) и в наиболее глубоководных районах (квадраты 25, 26, 27, 28, 33, 35) (см. рис. 2.19). Как видно из рис. 3.3, сезонный ход температуры воды на прибрежных станциях мало отличается от такового в мелководных районах моря и существенно отличается от сезонного хода в глубоководных районах. Максимумы кривых сдвинуты примерно на полмесяца;

в период накопления тепла температура воды в мелководных районах выше, чем в глубоководных, а в период охлаждения — наоборот.

Месячные значения температуры воды имеют значительно большую изменчивость, чем средние годовые. Так, по данным гидрометстанций Мысовое и Бердянск, стандартные отклонения в различные месяцы изменяются от 0,7 до 2,2°C. Их наибольшие значения приходится на апрель и октябрь,

Рис. 3.3. Сезонный ход температуры воды  $t_w$  в различных районах Азовского моря.

1 — приглубый район, 2 — мелководье, 3 — прибрежный район.

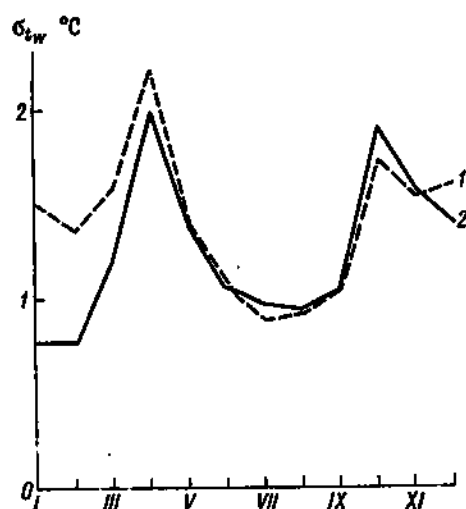


Рис. 3.4. Годовой ход стандартных отклонений температуры воды  $\sigma_{tw}$  в Мысовом (1) и Бердянске (2).

т. е. на время наиболее интенсивных сезонных изменений температуры. Наименьшие — на лето и начало осени, когда темпы сезонных изменений температуры воды занижены, а также на январь—февраль в Бердянске, где ледяной покров способствует стабилизации температуры (рис. 3.4). Данных по открытым районам моря недостаточно для получения количественных характеристик стандартных отклонений месячных значений температуры воды, но их качественный анализ в целом подтверждает результаты, полученные по данным прибрежных станций. Некоторое отличие состоит в том, что в открытом море в мае отклонения оказываются несколько больше, чем в апреле. Самые высокие значения температуры воды, по данным срочных наблюдений на береговых станциях, отмечаются в июле и в разных районах моря составляют 29,3—32,8°C. Самые низкие (от -2,4°C в Геническе до -0,5°C в Таганроге) могут наблюдаться в любой из зимних месяцев.

Пространственное распределение температуры воды по акватории Азовского моря вследствие его

небольших размеров и малых глубин характеризуется слабой контрастностью. По данным береговых станций, в период наибольшего охлаждения (февраль) средняя температура воды в поверхностном слое моря изменяется от 0—0,2°C в северной части моря до 1,0—1,2°C в южной. Данных для открытых районов моря зимой очень мало. Однако поскольку теплозапас вод здесь больше, чем в прибрежных районах, следует ожидать, что и температура воды должна быть несколько выше указанных пределов.

Малой контрастностью отличается также поле температуры в период наибольшего прогрева воды (июль—август). Средние значения температуры воды в поверхностном слое как в прибрежных районах, так и в открытом море изменяются в пределах 24—25°C (рис. 3.5 а). В периоды прогрева и охлаждения контрасты температуры увеличиваются. Так, в апреле вода у берегов прогревается до 8—11°C, а в открытых районах моря она ниже 7°C (в центральной части моря не превышает 5,5°C). В октябре температура воды почти всей открытой акватории выше 14°C, а в прибрежных районах, за исключением самых южных, — ниже 14°C (рис. 3.5 б).

Пространственное распределение температуры воды в придонном слое моря в общих чертах аналогично распределению в поверхностном слое. В период охлаждения температурный фон в придонных слоях, особенно в приглубых районах, несколько выше, чем у поверхности, а в период прогрева, — наоборот, ниже. Из анализа имеющейся базы данных следует, что уже начиная с октября средняя температура воды в придонных слоях в большинстве районов становится выше, чем в поверхностных, за исключением наиболее глубоких районов, где из-за большей теплоемкости водных масс их охлаждение и у поверхности, и у дна происходит медленнее, чем на мелководье.

В ноябре, по-видимому, повсеместно устанавливается слабая неустойчивая вертикальная температурная стратификация, которая легко разрушается ветро-волновым перемешиванием и после достижения вертикальной зимней конвекции до дна

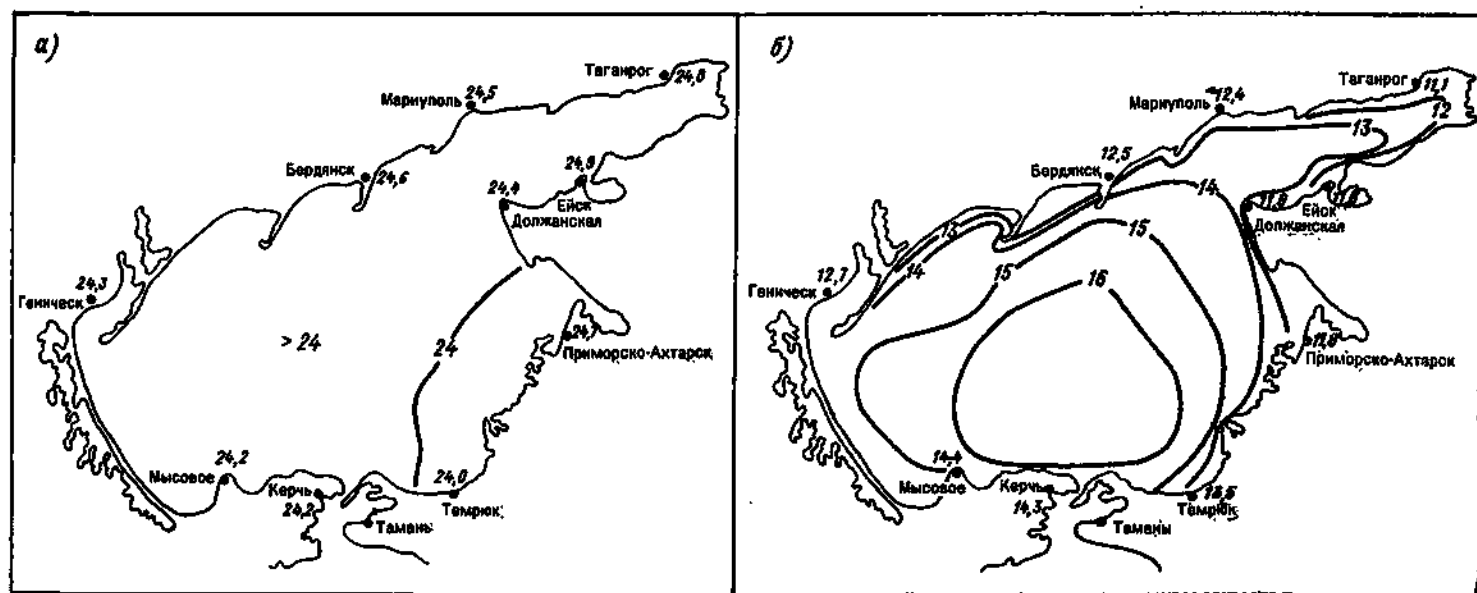


Рис. 3.5. Поле температуры (°C) поверхностного слоя Азовского моря в июле (а) и октябре (б).

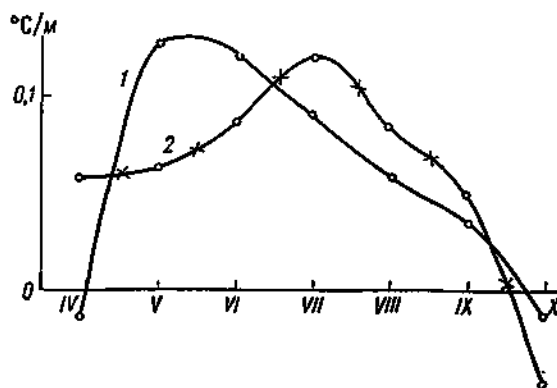


Рис. 3.6. Сезонный ход вертикальных градиентов температуры воды ( $^{\circ}\text{C}/\text{м}$ ) в приглубых (1) и мелководных (2) районах Азовского моря.

сменяется гомотермией. С марта—апреля начинается перестройка вертикальной термической структуры. Слабая устойчивая стратификация сформировывается в большинстве районов моря, за исключением наиболее глубоких районов центральной части моря и юго-западных квадратов (24, 25, 32), где температура поверхностного слоя моря оказывается ниже температуры придонных слоев вследствие скопления здесь весной под действием господствующих ветров дрейфующих льдов. Устойчивая термическая стратификация в среднем сохраняется с мая по сентябрь. Сезонный ход температурной стратификации вод за навигационный период по выборочным, наиболее обеспеченным наблюдениями квадратам представлен на рис. 3.6. Вертикальная температурная стратификация вод Азовского моря обычно незначительна.

Расчет повторяемости разностей температуры в поверхностном и придонном слоях, произведенный по данным наблюдений на рейдовых станциях, показал, что в преобладающем числе случаев разность не превышает  $1^{\circ}\text{C}$ , но в отдельных случаях, при слабых ветрах и значительных градиентах солёности, может достигать  $5\text{--}7^{\circ}\text{C}$ .

Анализ данных по выборочным мелководным квадратам моря с наибольшим числом наблюдений (глубины 4—6 м) и более глубоким районам (глубины 10—12 м) позволил выявить некоторые особенности вертикальной термической структуры в разных районах моря. Во-первых, они подтверждают слабую температурную стратифицирован-

ность вод моря. Средние вертикальные градиенты как в мелководных, так и в приглубых районах не превышают  $0,12\text{--}0,13^{\circ}\text{C}/\text{м}$  (см. рис. 3.6). Во-вторых, отмечается заметное различие в формировании вертикальной термической структуры в районах с различными глубинами в навигационный период. В мелководных районах, где прогревание воды в верхних и придонных слоях идет с небольшим сдвигом во времени, градиенты постепенно увеличиваются и достигают наибольших значений в июле, когда поверхностный слой воды максимально прогрет. С началом его выхолаживания градиенты уменьшаются, и в октябре стратификация становится неустойчивой.

В приглубых районах, где прогревание придонных слоев происходит медленнее со значительным отставанием от прогревания поверхностного слоя наибольшие градиенты устанавливаются уже в мае—июне, а затем начинают уменьшаться. В апреле и октябре практически устанавливается гомотермия или слабая неустойчивость.

Существенным дополнением к характеристике температурного режима моря является анализ внутреннего и внешнего теплооборота. Расчет теплооборота в сущности является продолжением расчета теплового баланса. Внешним теплооборотом принято считать полусумму абсолютных значений приходной и расходной частей теплового баланса поверхности моря, а внутренним теплооборотом — разность максимального и минимального теплосодержания водной массы.

На мелководном Азовском море, занимающем небольшую территорию, нет резко выраженных климатических районов, однако здесь можно выделить две различные зоны внешнего теплооборота. Одна из них расположена в центральной части моря, другая — в прибрежном мелководном районе, включая Таганрогский залив (рис. 3.7 а). Разность внешнего теплооборота этих зон за год составляет  $800\text{ МДж}/\text{м}^2$ . Как показывают карты внешнего теплооборота, его максимальные значения располагаются в центральной, глубоководной части моря, а минимальные — в мелководной, причем изолинии внешнего теплооборота в общих чертах повторяют изобаты. Зависимость внешнего теплооборота от глубины Азовского моря тесно связана с годовыми амплитудами теплового баланса. В тех районах, где амплитуда теплового баланса выше, внешний теплооборот больше, минимальные зна-

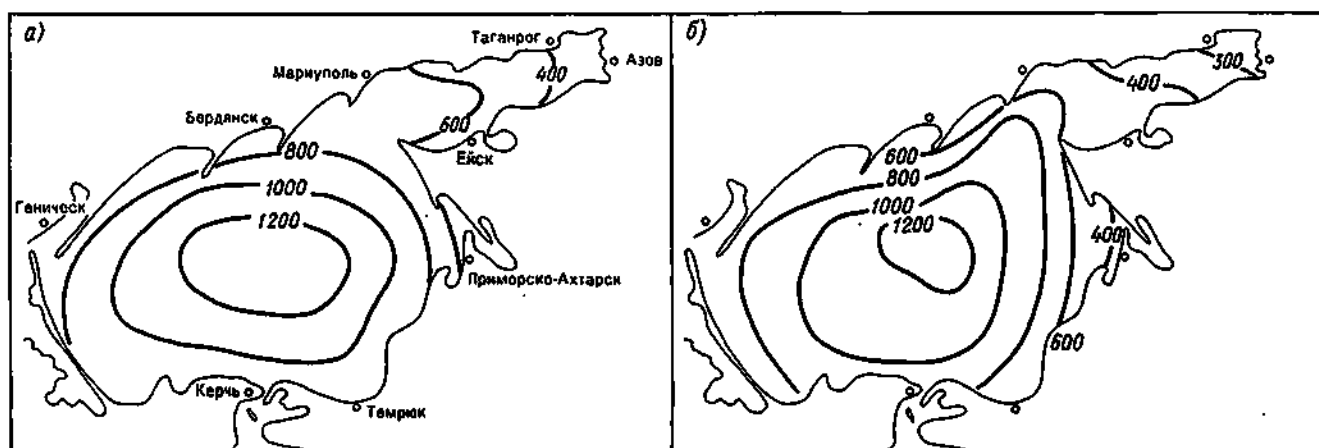


Рис. 3.7. Внешний теплооборот ( $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) Азовского моря за год.

чения теплооборота располагаются в районах с меньшей амплитудой теплового баланса. Тесная связь теплового баланса Азовского моря с глубиной объясняется тем, что деятельным слоем является вся толща воды и с увеличением глубины за счет уменьшения расходной части теплового баланса (более низкая температура воды в глубоководной части и связанные с этим меньшие потери тепла на испарение) итоговое значение баланса возрастает. Максимальные и минимальные значения внешнего теплооборота за год составляют соответственно около 1200 и 400 МДж/м<sup>2</sup>.

Распределение *внутреннего теплооборота* в общих чертах повторяет распределение внешнего, причем глубина моря и здесь оказывает решающее значение (рис. 3.7б). Это объясняется тем, что экстремальные значения теплосодержания в небольшом и мелководном Азовском море приходятся на периоды, когда вся масса воды имеет почти одну и ту же температуру, а теплозапас определяется только глубиной, от которой и зависит пространственное распределение внутреннего теплооборота.

Внутренний теплооборот несколько меньше внешнего. Для всего моря разность между суммарными значениями внешнего и внутреннего теплооборота за год составляет 113 МДж/м<sup>2</sup>. Следуя рассуждениям В. С. Самойленко [67] о влиянии ледяного покрова на расхождения значений внешнего и внутреннего теплооборотов, разность эту можно отнести за счет потерь тепла при льдообразовании. Ориентировочные расчеты возможной толщины льда (средней по морю), который должен образоваться к концу зимы по предложенной им формуле, и сравнение полученного значения с фактическими данными позволяют считать это предположение правомерным.

Процессы льдообразования и ледотаяния отражаются не только на внутреннем, но и на внешнем теплообороте. В период ледотаяния и выноса льда в южные районы моря происходит некоторое понижение температуры воды и связанное с этим уменьшение расходной части теплового баланса, влияя тем самым на внешний теплооборот.

### 3.2. Ледовые условия

#### 3.2.1. Общие сведения

При подготовке настоящего раздела использованы публикации справочно-режимного характера [39, 40, 82], данные авиаразведок льда, литературные и архивные источники. Средние характеристики ледовых явлений и параметров для сопоставляемости определялись по единому ряду за 1952—1984 гг., остальные по всему ряду наблюдений. При этом мы стремились дать некоторое целостное представление о ледовом режиме Азовского моря, однако, по возможности, не дублируя ранее опубликованные источники.

Известно, что ледовый режим замерзающих мелководных морей определяется в основном режимом температуры воздуха и ветра над акваторией моря и прилегающей территорией. В холодную часть года погода на Азовском море определяется преобладанием области повышенного давления к северу и северо-востоку от моря, с одной сто-

роны, и циклогенезом над Черным морем и восточной частью Средиземного моря — с другой. Такая ситуация способствует выносу на море холодного материкового воздуха с восточными и северо-восточными сильными ветрами, а прорывы циклонов в район моря вызывают неустойчивую теплую погоду. Так как глубина моря невелика, а следовательно, и теплозапас незначителен, ледовые условия на море могут резко изменяться при смене погодных условий, т. е. они отличаются большим непостоянством.

Из гидрологических факторов на ледовый режим Азовского моря наиболее существенное влияние оказывает соленость воды. Поскольку море относится к типу солоноватоводных, вертикальная осенне-зимняя конвекция заканчивается по всей акватории моря раньше, чем температура воды станет равной температуре замерзания. Однако менее соленые воды после окончания конвекции до появления льда должны под влиянием внешних факторов терять больше тепла, чем более соленые. Например, воды соленостью 1 ‰ где-нибудь в вершине Таганрогского залива с момента окончания конвекции до появления льда должны охладиться на 3,8 °С, а в районе Керченского пролива (соленость 14 ‰) — на 1,7 °С. Таким образом, промежуток времени между моментами окончания конвекции и появления льда при увеличении солености воды может уменьшаться.

Таяние пресного льда и льда, образованного в осолоненных водах, также происходит по-разному. Лед, содержащий рассолы, при прочих равных условиях начинает таять раньше пресного, однако для расплавления соленого льда требуется значительно меньше тепла, чем для расплавления пресного.

Существенное влияние на ледовый режим моря оказывают не только циркуляционные процессы, но и непосредственное динамическое воздействие ветра на ледяной покров, адвекция тепла течениями, колебания уровня моря и др. В совокупности все эти факторы обуславливают чрезвычайно сложную картину изменчивости ледовых условий во времени и пространстве.

В период замерзания возможно неоднократное появление и исчезновение льда. В разгар зимы ледяной покров может покрывать всю акваторию моря и образовывать почти сплошной припай, а в отдельные годы большая часть моря остается свободной ото льда. Процессы таяния и окончательного очищения моря ото льда тоже могут сопровождаться периодами появления нового льда и замерзания.

В общих чертах ледовые условия Азовского моря можно характеризовать следующими данными. В среднем за многолетний период начальные виды льда появляются в конце ноября сначала в вершине Таганрогского залива, а затем в 1-й—2-й декаде января — в самых южных районах моря. Многолетний диапазон дат появления начальных видов льда весьма велик и составляет 2—3,5 мес в различных прибрежных районах моря. В южных районах моря в отдельные годы лед не появляется вообще. Окончательное очищение моря ото льда в среднем происходит с начала 2-й декады до конца марта и даже начала апреля. Сначала очищается юго-восточная часть моря, затем юго-западная, куда под влиянием господ-

ствующих восточных, северо-восточных и северных ветров приносятся плавучие льды из других районов моря. Последней очищается ото льда вершина Таганрогского залива, где отмечаются более суровые климатические условия и зимой образуется наиболее мощный практически пресный лед. Многолетний диапазон сроков очищения моря ото льда составляет примерно 2—3 мес, т. е. оказывается меньше диапазона сроков появления начальных видов льда. Наибольшие диапазоны отмечаются в юго-западной части моря, где происходит таяние припосных льдов, наименьшие — в районах более стабильного образования ледяного покрова (Таганрогский залив, Ахтарский лиман). Более длительный диапазон дат появления начальных видов льда объясняется большей неустойчивостью погодных условий в осенне-зимний период (частая смена похолоданий и оттепелей) по сравнению с весенним.

Наряду с циркуляционными факторами на процессы появления и исчезновения ледяного покрова значительное влияние оказывают радиационные факторы. В осенне-зимний период над морем преобладает пасмурная погода, а в период таяния льда значительно увеличивается число ясных дней.

По данным многолетних наблюдений, продолжительность ледового периода (от даты появления начальных видов льда до его полного исчезновения) в разных районах моря также сильно варьирует. Его средняя продолжительность составляет приблизительно 100—125 сут в вершине Таганрогского залива, а также в крайнем западном районе моря и 60—70 сут в самых южных районах.

Однако внутри этих периодов лед, как правило, не отмечается ежедневно, поэтому число дней со льдом (любых форм) оказывается значительно меньше. В Таганрогском заливе и в северо-западных районах оно округленно составляет 75—100 сут, в южных — 40—50 сут.

Образовавшийся в течение зимы лед подвергается сильному динамическому ветровому воздействию. Преобладание ветров северо-восточной четверти ведет к скоплению в южных и юго-западных районах моря большого количества приносного льда. Вследствие небольшой толщины ледяной покров Азовского моря подвергается сильному торошению. При небольших глубинах и сильном ветре торосы могут садиться на дно и достигать высоты до 12 м над ровной поверхностью. Скопление льда в юго-западной части моря и сильные торошения представляют собой одну из характерных черт ледовых условий Азовского моря.

### 3.2.2. Появление и развитие льда

Начальные виды льда в прибрежных пунктах Азовского моря могут появляться уже в конце октября — начале ноября в северо-восточной части моря (Таганрогский и Ясенский заливы). В южных районах наиболее раннее появление начальных видов льда отмечается во второй половине — конце ноября (Стрелковое, Мысовое, Керчь, Темрюк). Самое позднее появление начальных видов льда отмечается в южной части моря в начале марта, а в Таганрогском и Ясенском заливах в конце декабря — начале февраля (табл. 3.3). Таким образом, диапазон дат появления начальных форм льда в прибрежных пунктах, как мы уже

отмечали, чрезвычайно растянут. Средние многолетние даты первого появления льда, естественно, имеют значительно меньший разброс: последняя декада ноября — 2-я декада декабря — в северо-восточных районах, и 1-я—2-я декады января — в южной части моря. В открытых районах моря первое появление всех видов льда наблюдается несколько позже, чем в прибрежной зоне.

В начале ноября в открытом море лед появляется очень редко в Таганрогском и Ясенском заливах и в Утлюкском лимане (рис. 3.8 а, б). В дальнейшем лед распространяется вдоль побережья к югу, но в открытой части моря льды практически не встречаются. В первой декаде декабря льды можно встретить на всей акватории моря, однако в центральной и юго-восточной частях моря вероятность встречи с ними весьма невелика (рис. 3.8 в, г).

В дальнейшем вероятность встречи льда по всему морю постепенно увеличивается примерно до конца января — начала февраля, а затем начинает уменьшаться (рис. 3.8 д, е). В первой декаде февраля вероятность встречи со льдом по всей акватории моря превышает 60 %.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что почти на всех схемах рис. 3.8 изолинии вероятностей как бы прижаты к восточному берегу моря и удалены от северо-западного, западного и юго-западного. Это является следствием воздействия преобладающих восточных, северо-восточных и северных ветров на распределение ледяного покрова по акватории моря.

Вскоре после появления начальных видов льда на замерзающих морях обычно начинается устойчивое ледообразование, т. е. непрерывное появление новых льдов. Для Азовского моря с неустойчивым ледяным покровом это понятие следует считать в значительной мере условным, поскольку, по данным стационарных прибрежных пунктов наблюдений, за ледовый сезон в среднем отмечается 3—6 случаев очищения ото льда, а в некоторых пунктах в отдельные годы число очищений достигает 10—12 (Должанская, Приморско-Ахтарск, Мариуполь, Керчь). Тем не менее эта характеристика дает некоторую дополнительную информацию о ледовом режиме моря. В среднем переход к «устойчивому» ледообразованию по морю происходит со второй половины декабря по первую половину января (см. табл. 3.9). Пространственно-временной диапазон начала этого процесса очень велик: от 2 ноября (Таганрог) до 20—21 февраля (Ейск, Должанское, Темрюк).

Более устойчивой характеристикой ледового режима является начало образования устойчивого припая. На большинстве станций образование припая в среднем происходит в первой половине января. Севернее 46° с. ш. в отдельные годы устойчивый припай может образовываться со 2-й декады ноября. Более поздние сроки образования устойчивого припая на большинстве станций приходятся на 1-ю декаду февраля. В районах Должанской и Мысовой припай может образовываться в конце февраля, что, по-видимому, объясняется особенностями физико-географических условий (в Должанской наиболее часто наблюдаются взлом и вынос припая ветрами северо-восточной четверти; Мысовое расположено на юге моря у открытого приглубого побережья).



Таблица 3.3

## Характерные даты в период образования и развития ледяного покрова

| Период наблюдений        | Характерная дата | Дата устойчивого перехода к отрицательным значениям |                  | Первое появление начальных льдов | Устойчивое ледообразование | Первое появление приносного льда | Начало образования устойчивого льда | Первое полное замерзание | Окончательное замерзание | Число полных замерзаний за сезон |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                          |                  | Температура воздуха                                 | Температура воды |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| Керчь, пролив            |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 6 I                                                 | 15 I             | 12 I                             | 13 I                       | *                                | *                                   | 14 I                     | *                        | 2 (среднее)                      |
| 1924—1984                | Ранняя           |                                                     | 13 XII           | 26 XI                            | 9 XII                      | 16 XII                           | 2 I                                 | 3 XII                    | 27 I                     | 0 (минимальное)                  |
| 1924—1984                | Поздняя          |                                                     | 22 II            | 6 III                            | 5 II                       | 1 IV                             | 1 II                                | 22 II                    | 1 II                     | 8 (максимальное)                 |
| Мысовое, залив           |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 2 I                                                 | 17 I             | 17 I                             | 18 I                       | 3 II                             | *                                   | 27 I                     | *                        | 2 (среднее)                      |
| 1926—1984                | Ранняя           |                                                     | 10 XII           | 28 XI                            | 10 XII                     | 14 XII                           | 23 XII                              | 21 XII                   | 23 I                     | 0 (минимальное)                  |
| 1926—1984                | Поздняя          |                                                     | 10 II            | 7 III                            | 15 II                      | 15 II                            | 23 II                               | 26 II                    | 22 II                    | 6 (максимальное)                 |
| Стрелковое, море         |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 20 XII                                              | 4 I              | 22 XII                           | 7 I                        | *                                | 13 I                                | 14 I                     | 18 I                     | 2 (среднее)                      |
| 1931—1984                | Ранняя           |                                                     | 1 XII            | 23 XI                            | 28 XI                      | 17 I                             | 9 XII                               | 10 XII                   | 16 XII                   | 0 (минимальное)                  |
| 1931—1984                | Поздняя          |                                                     | 20 II            | 4 III                            | 18 II                      | 13 II                            | 8 II                                | 12 III                   | 11 II                    | 7 (максимальное)                 |
| Геничск, лиман           |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 17 XII                                              | 31 XII           | 10 XII                           | 26 XII                     | *                                | 4 I                                 | 11 I                     | 9 I                      | 3 (среднее)                      |
| 1893—1984                | Ранняя           |                                                     | 15 XI            | 2 XI                             | 15 XI                      | 17 XI                            | 24 XI                               | 26 XI                    | 4 XII                    | 0 (минимальное)                  |
| 1893—1984                | Поздняя          |                                                     | 19 II            | 21 II                            | 18 II                      | 22 III                           | 11 II                               | 6 III                    | 6 II                     | 9 (максимальное)                 |
| Бердянская коса, море    |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1964—1984                | Средняя          | 24 XII                                              | 29 XII           | 29 XII                           | 3 I                        | *                                | 12 I                                | *                        | *                        | 2 (среднее)                      |
| 1893—1941, 1963—1984     | Ранняя           |                                                     | 12 XII           | 13 XI                            | 15 XI                      | 1 XII                            | 22 XI                               | 4 XII                    | 21 XII                   | 0 (минимальное)                  |
| 1893—1941, 1963—1984     | Поздняя          |                                                     | 1 II             | 20 II                            | 19 II                      | 6 III                            | 10 II                               | 20 II                    | 20 II                    | 8 (максимальное)                 |
| Марнуполь, залив         |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 6 XII                                               | 24 XII           | 17 XII                           | 24 XII                     | *                                | 5 I                                 | 2 I                      | 7 I                      | 2 (среднее)                      |
| 1924—1984                | Ранняя           |                                                     | 22 XI            | 8 XI                             | 18 XI                      | 9 XI                             | 6 XII                               | 23 XI                    | 9 XII                    | 0 (минимальное)                  |
| 1924—1984                | Поздняя          |                                                     | 18 II            | 5 II                             | 31 I                       | 11 II                            | 4 II                                | 24 II                    | 4 II                     | 8 (максимальное)                 |
| Таганрог, залив          |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 2 XII                                               | *                | 25 XI                            | 17 XII                     | *                                | 1 I                                 | 27 XII                   | 2 I                      | 3 (среднее)                      |
| 1893—1984                | Ранняя           |                                                     |                  | 31 X                             | 2 XI                       | 16 XI                            | 11 XI                               | 7 XI                     | 18 XI                    | 1 (минимальное)                  |
| 1893—1984                | Поздняя          |                                                     |                  | 19 I                             | 14 II                      | 22 XII                           | 9 II                                | 24 II                    | 11 II                    | 8 (максимальное)                 |
| Ейск, залив              |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 11 XII                                              | 30 XII           | 14 XII                           | 1 I                        | 1 I                              | 6 I                                 | 25 XII                   | 5 I                      | 4 (среднее)                      |
| 1916—1984                | Ранняя           |                                                     | 19 XI            | 4 XI                             | 16 XI                      | 21 XI                            | 18 XI                               | 16 XI                    | 30 XI                    | 0 (минимальное)                  |
| 1916—1984                | Поздняя          |                                                     | 5 II             | 4 II                             | 21 II                      | 16 II                            | 8 II                                | 22 II                    | 10 II                    | 10 (максимальное)                |
| Должанская, море         |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 10 XII                                              | 3 I              | 18 XII                           | 6 I                        | 16 I                             | 17 I                                | 22 I                     | —                        | 2 (среднее)                      |
| 1934—1984                | Ранняя           |                                                     | 18 XI            | 11 XI                            | 24 XI                      | 4 XII                            | 24 XII                              | 2 XII                    | 2 XII                    | 0 (минимальное)                  |
| 1934—1984                | Поздняя          |                                                     | 19 II            | 5 II                             | 20 II                      | 19 II                            | 27 II                               | 17 III                   | 11 II                    | 4 (максимальное)                 |
| Приморско-Ахтарск, залив |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 15 XII                                              | 30 XII           | 7 XII                            | 31 XII                     | *                                | 11 I                                | 4 I                      | 8 I                      | 2 (среднее)                      |
| 1949—1984                | Ранняя           |                                                     | 20 XI            | 2 XI                             | 20 XI                      | 27 XII                           | 23 XI                               | 23 XI                    | 23 XI                    | 0 (минимальное)                  |
| 1949—1984                | Поздняя          |                                                     | 29 I             | 20 I                             | 5 II                       | 25 I                             | 10 II                               | 13 II                    | 7 II                     | 5 (максимальное)                 |
| Темрюк, залив            |                  |                                                     |                  |                                  |                            |                                  |                                     |                          |                          |                                  |
| 1952—1984                | Средняя          | 21 XII                                              | *                | 2 I                              | *                          | *                                | *                                   | 18 I                     | —                        | 2 (среднее)                      |
| 1918—1984                | Ранняя           |                                                     | 5 XII            | 18 XI                            | 5 XII                      | 29 XI                            | 12 XII                              | 10 XII                   | 17 XII                   | 0 (минимальное)                  |
| 1918—1984                | Поздняя          |                                                     | 10 II            | 4 III                            | 20 II                      | 26 I                             | 21 II                               | 4 III                    | 28 I                     | 5 (максимальное)                 |

Примечание. Знак «\*» означает, что средние не подсчитаны, поскольку явление наблюдалось меньше 10 раз.

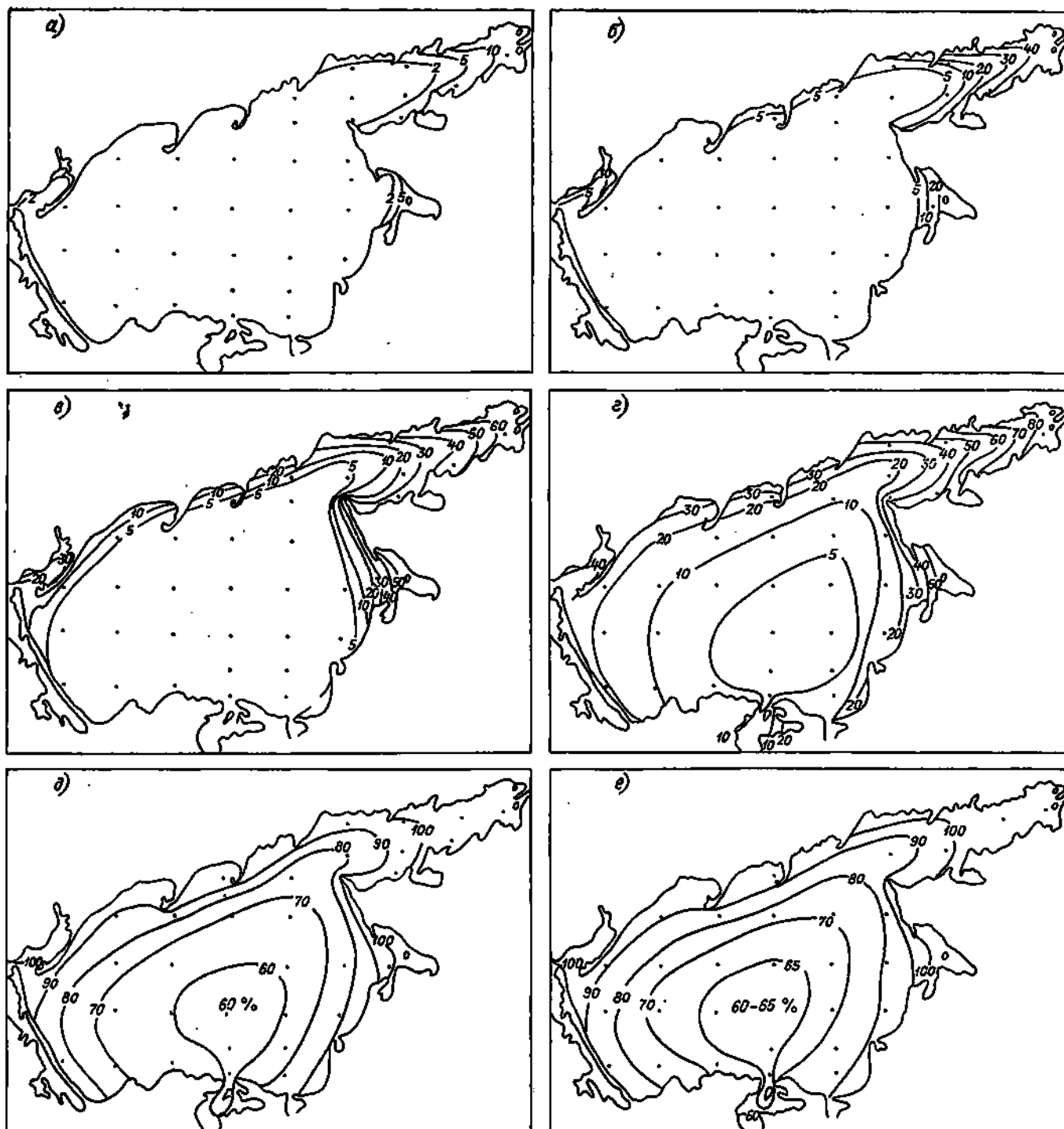


Рис. 3.8. Вероятность (%) появления льда.

а — 1-я декада ноября, б — 2-я декада, в — 3-я декада ноября, г — 1-я декада декабря, д — 3-я декада января, е — 1-я декада февраля.

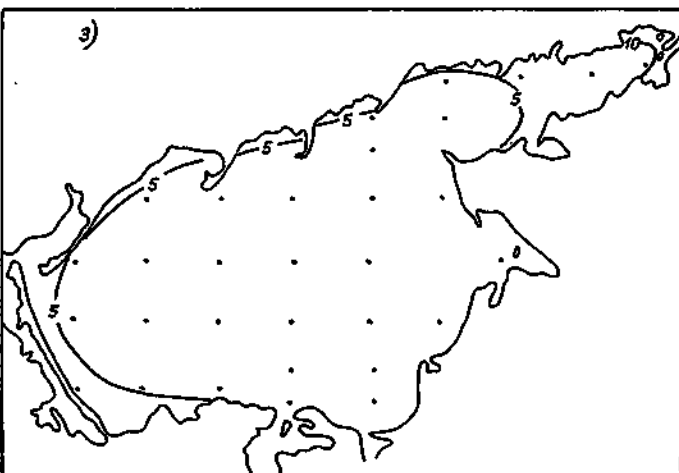
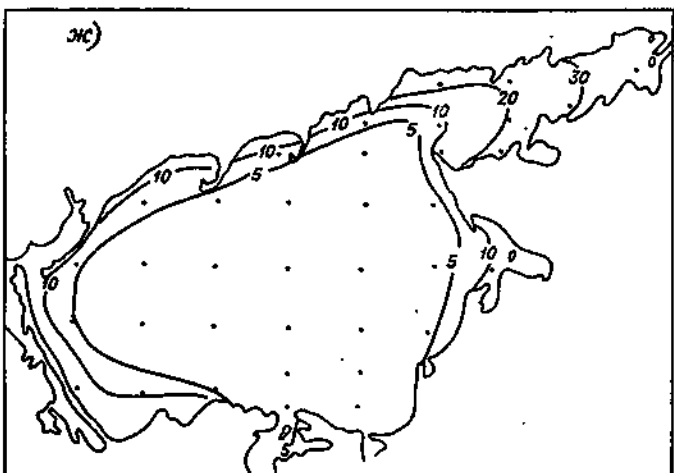
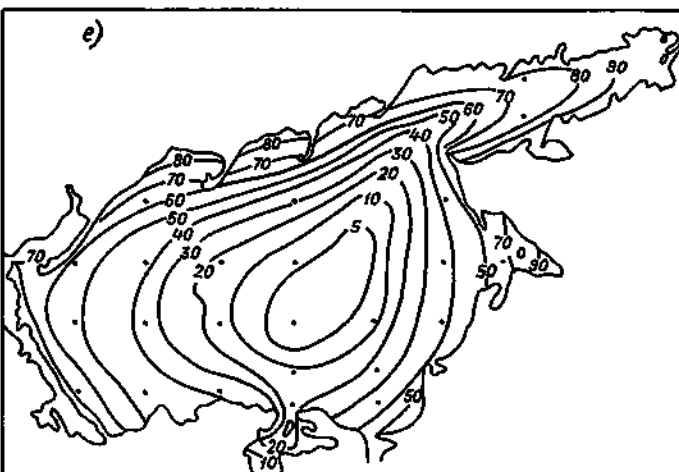
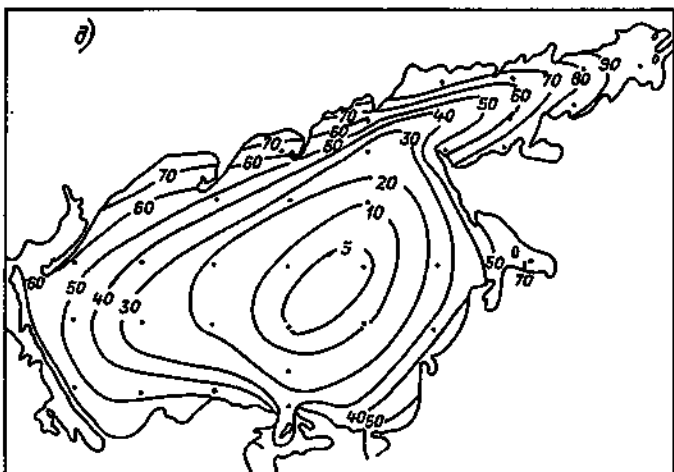
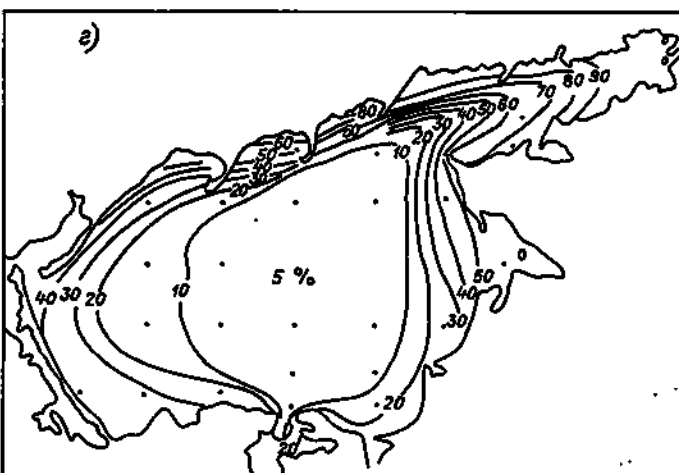
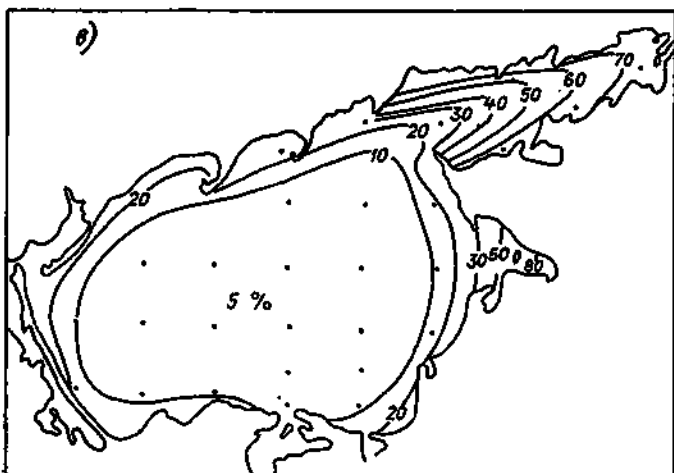
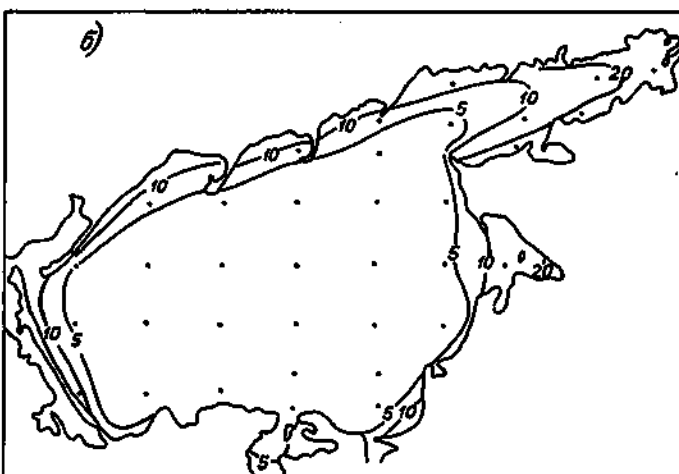
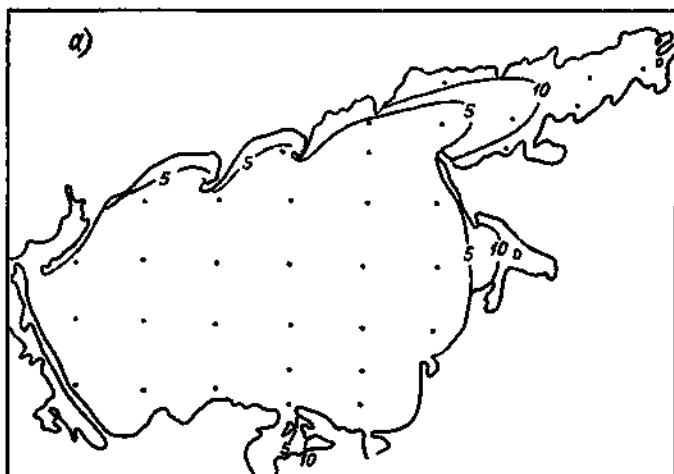
Первое полное и окончательное замерзание, очевидно, также не является устойчивой характеристикой для такого моря, как Азовское, вследствие немоности термических условий. Установление припая до видимого горизонта отмечается в среднем в 2—4 случаях, а в отдельные годы в 8—10 случаях за сезон (см. табл. 3.3). Сроки первого и окончательного замерзания моря в конкретные годы в большинстве случаев (около 60 %)

совмещаются или сдвигаются относительно друг друга по времени на 7—10 сут. В южной части моря полное замерзание часто не наблюдается вообще.

При рассмотрении ледового режима в многолетнем плане обращает на себя внимание хронологическая неувязанность поздних дат первого и окончательного замерзания. Это еще раз свидетельствует о неустойчивости погодных условий

Рис. 3.9. Вероятность (%) встречи с припаем.

а — 3-я декада ноября, б — 1-я декада декабря, в — 1-я декада января, г — 2-я декада января, д — 3-я декада января, е — 1-я декада февраля, ж — 3-я декада марта, з — 1-я декада апреля.



на Азовском море в ледовый период, вследствие чего в многие годы первое и окончательное полное замерзание либо не отмечается вообще, либо наблюдается только одно полное замерзание (см. табл. 3.3).

В табл. 3.3 мы привели данные о появлении припая в прибрежной зоне моря. Представляют также большой интерес данные о припае в открытых районах моря. В работе [70] обобщены сведения судовых и авиационных многолетних наблю-

дений о встрече с припаем на акватории моря (рис. 3.9 а, б). В 1-й декаде декабря припайные льды почти на всей акватории открытого моря встречаются крайне редко и лишь в Таганрогском заливе и в узкой прибрежной зоне вероятность встречи их превышает 5 % (рис. 3.9 б). Постепенно вероятность встречи с припаем по всему морю увеличивается (рис. 3.9 в, г) и к концу января — началу февраля достигает наибольших значений (рис. 3.9 д, е). В наиболее глубоком районе,

Таблица 3.4

Изменение толщины (см) припая в течение ледового периода

| Характеристика           | Ноябрь |     |     | Декабрь |     |     | Январь |     |     | Февраль |     |     | Март |     |     | Апрель |     |     |
|--------------------------|--------|-----|-----|---------|-----|-----|--------|-----|-----|---------|-----|-----|------|-----|-----|--------|-----|-----|
|                          | 1-я    | 2-я | 3-я | 1-я     | 2-я | 3-я | 1-я    | 2-я | 3-я | 1-я     | 2-я | 3-я | 1-я  | 2-я | 3-я | 1-я    | 2-я | 3-я |
| Керчь, пролив            |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     |     | —       | 12  | 20  | 16     | 16  | 14  | 19      | 21  | 21  | 22   | —   | —   |        |     |     |
| Минимальная              |        |     |     | 2       | 8   | 4   | 4      | 1   | 2   | 3       | 2   | 3   | 2    | 6   | 3   |        |     |     |
| Максимальная             |        |     |     | 14      | 30  | 40  | 38     | 41  | 40  | 43      | 39  | 44  | 44   | 39  | —   |        |     |     |
| Мысовое, залив           |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     |     | —       | 11  | 13  | 17     | 15  | 20  | 22      | 25  | 23  | 25   | —   | —   |        |     |     |
| Минимальная              |        |     |     | 9       | 2   | 9   | 8      | 2   | 2   | 2       | 5   | 11  | 12   | 11  |     |        |     |     |
| Максимальная             |        |     |     | 20      | 20  | 20  | 32     | 36  | 39  | 39      | 42  | 40  | 41   | 37  |     |        |     |     |
| Стрелковое, море         |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     |     | —       | —   | —   | —      | 23  | 27  | 30      | 32  | 34  | 33   | 31  | —   | —      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     | 8       | 8   | 10  | 8      | 7   | 5   | 6       | 9   | 10  | 10   | 9   | 13  | 28     |     |     |
| Максимальная             |        |     |     | 17      | 30  | 66  | 49     | 64  | 67  | 76      | 85  | 92  | 86   | 85  | 95  | 40     |     |     |
| Геническ, лиман          |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     |     | 10      | 15  | 16  | 19     | 22  | 23  | 26      | 23  | 28  | 28   | 24  | —   | —      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     | 5       | 7   | 3   | 4      | 2   | 4   | 2       | 10  | 9   | 10   | 10  | 9   | —      |     |     |
| Максимальная             |        |     |     | 21      | 40  | 50  | 56     | 56  | 56  | 58      | 67  | 69  | 72   | 62  | 62  | 45     |     |     |
| Бердянская коса, море    |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     | —   | —       | 14  | 16  | 20     | 25  | 26  | 30      | 31  | 32  | 30   | 32  | 38  |        |     |     |
| Минимальная              |        |     | 2   | 7       | 2   | 2   | 4      | 4   | 4   | 4       | 9   | 15  | 18   | 8   | —   |        |     |     |
| Максимальная             |        |     | 12  | 28      | 30  | 34  | 34     | 42  | 85  | 70      | 52  | 56  | 58   | 54  | 54  | 52     | 36  |     |
| Маргуполь, залив         |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     | —   | —       | 14  | 20  | 24     | 28  | 37  | 37      | 41  | 39  | 49   | 43  | —   | —      |     |     |
| Минимальная              |        |     | —   | 4       | 2   | 2   | 3      | 6   | 4   | 10      | 3   | 9   | 16   | 19  | 4   | —      |     |     |
| Максимальная             |        |     | 17  | 28      | 37  | 48  | 59     | 61  | 65  | 68      | 67  | 73  | 80   | 78  | 61  | 58     |     |     |
| Таганрог, залив          |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  | —      | —   | 11  | 15      | 15  | 22  | 26     | 31  | 36  | 39      | 42  | 43  | 44   | 46  | 42  | —      | —   | —   |
| Минимальная              | —      | 4   | 2   | 2       | 3   | 3   | 3      | 4   | 4   | 8       | 9   | 8   | 9    | 9   | 9   | 9      | 4   |     |
| Максимальная             | 7      | 16  | 22  | 33      | 35  | 45  | 56     | 64  | 66  | 68      | 76  | 80  | 79   | 72  | 70  | 67     | 55  |     |
| Ейск, залив              |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     | 9   | 15      | 17  | 20  | 23     | 28  | 31  | 36      | 37  | 38  | 35   | 33  | 33  | —      | —   |     |
| Минимальная              |        |     | 4   | 2       | 5   | 4   | 3      | 3   | 9   | 12      | 10  | 11  | 11   | 10  | 6   | 30     | 21  |     |
| Максимальная             |        | 10  | 21  | 30      | 34  | 37  | 42     | 54  | 56  | 59      | 60  | 58  | 61   | 62  | 63  | 60     | 33  |     |
| Должанская, море         |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     | —   | 16      | 22  | 26  | 27     | 28  | 33  | 37      | 42  | 32  | 33   | 38  | —   | —      |     |     |
| Минимальная              |        |     | 10  | 3       | 6   | 13  | 16     | 6   | 10  | 10      | 10  | 8   | 14   | 18  | —   | —      |     |     |
| Максимальная             |        |     | 26  | 35      | 40  | 38  | 40     | 47  | 59  | 67      | 70  | 64  | 65   | 64  | 56  |        |     |     |
| Приморско-Ахтарск, залив |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     | 8   | 10      | 12  | 16  | 16     | 20  | 23  | 26      | 25  | 27  | 23   | 26  | 28  | —      |     |     |
| Минимальная              |        |     | 10  | 5       | 6   | 10  | 5      | 5   | 6   | 5       | 9   | 11  | 7    | 7   | 20  | —      |     |     |
| Максимальная             |        |     | 12  | 22      | 32  | 30  | 36     | 40  | 46  | 50      | 46  | 42  | 52   | 56  | 56  | 51     | 31  |     |
| Темрюк, залив            |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |        |     |     |
| Средняя                  |        |     | —   | —       | 15  | 23  | 29     | 29  | 26  | 26      | 30  | 34  | 25   | 24  | —   |        |     |     |
| Минимальная              |        |     | —   | 4       | 4   | 10  | 15     | 4   | 10  | 6       | 5   | 8   | 4    | 12  | 10  |        |     |     |
| Максимальная             |        |     | 19  | 12      | 36  | 37  | 35     | 44  | 40  | 46      | 54  | 53  | 56   | 58  | 50  |        |     |     |

Примечание. Средняя толщина определялась при наличии не менее 10 измерений. Максимальные и минимальные значения — из всего ряда наблюдений.

сдвинутом несколько к востоку от центра моря, вероятность встречи припая составляет около 5 %, на большей части моря — свыше 20 %, и в прибрежных районах и заливах достигает 70—90 %. Затем к весне вероятность встречи с неподвижным льдом уменьшается (рис. 3.9 ж, з) и к началу апреля его можно встретить с очень малой вероятностью только в прибрежных северо-восточных и юго-западных районах.

### 3.2.3. Основные физико-морфологические характеристики ледяного покрова

Физико-морфологические характеристики ледяного покрова Азовского моря (толщина и ширина припая, торосистость, сплоченность льдов, высота снежного покрова), как и другие характеристики ледового режима, отличаются весьма большим непостоянством.

**Толщина припая.** Нарастание толщины льда в Азовском море происходит неравномерно в разные по погодным условиям зимы. Поэтому средняя за многолетний период толщина припая по декадам иногда не дает четкого представления об общем ходе нарастания льда.

По данным береговых гидрометстанций (табл. 3.4), к началу января средняя толщина льда в Таганрогском заливе достигает примерно 20—25 см, а на юге моря (Керчь, Мысовое) — 12—14 см. В Темрюкском заливе, несмотря на то, что он находится практически на широте Керчи, толщина льда оказывается значительно больше из-за пониженной солености воды. К началу февраля средняя толщина льда в северо-восточной части моря увеличивается на 10—13 см и на 5—7 см в южной. От февраля к началу марта нарастание толщины льда происходит медленнее (5—8 см в северо-восточной части и 3—5 см в южной).

Наибольшей толщины ледяной покров в среднем достигает в конце февраля—марте и составляет примерно 40—50 см в Таганрогском заливе и 20—25 см в южной части моря.

В суровые зимы толщина ровного припайного льда может достигать 70—80 см в Таганрогском заливе и 40—60 см в южной части моря (Керчь, Мысовое, Темрюк). На некоторых станциях в западной части моря (Бердянск, Стрелковое), где припай формируется из местного и приносного льда, максимальная толщина льда достигает 85—95 см.

В мягкие зимы в южной части моря припай или не образуется совсем, или его толщина достигает 5—10 см, а в северной части толщина льда может быть 10—20 см.

Регулярных сведений о толщине плавучего льда в открытом море нет. По данным, представленным в [40], умеренной зимой в январе толщина льда уменьшается от 25—30 см в Таганрогском заливе до 15—20 см в центральных и южных районах моря. В феврале толщина льда увеличивается до 30—35 см в северном районе, до 20—30 см — в южном. В центральных районах она остается практически неизменной. В марте толщина льда по сравнению с его толщиной в феврале несколько уменьшается.

В суровые зимы толщина льда в январе на 5—10 см больше таковой в умеренные, а в феврале и

марте — на 20—25 см больше в северной части и на 10—15 см в южной. Следует отметить, что в южной части моря толщина льда иногда оказывается несколько больше, чем в центральных районах, что связано, по-видимому, с преобладанием над морем прижимных северных, северо-восточных ветров.

На формирование ледяного покрова, радиационные характеристики его поверхности, на прочностные характеристики льда известное влияние оказывает снежный покров. Поэтому представляется необходимым привести некоторые данные хотя бы о толщине снежного покрова на льду, представленные в [82]. Из табл. 3.5 следует, что толщина снежного покрова на припаях, по данным прибрежных гидрометстанций, невелика. Ее минимальные значения составляют несколько сантиметров, а максимальные превышают 30 см вдоль северного побережья Таганрогского залива, а в остальных районах составляют округленно 20—25 см (за исключением Керчи). Наибольшая толщина снежного покрова отмечается в январе—феврале. Поскольку снежный покров на Азовском море весьма неустойчив, дать его какие-либо статистические характеристики не представляется возможным.

**Дрейф и торошение льда.** Вследствие общей неустойчивости ледяного покрова, его относительно небольшой толщины и частой повторяемости длительных и сильных ветров на Азовском море существуют благоприятные условия для динамического перераспределения льда и его торошения. По данным [39], в ледовый сезон (декабрь—март) на большинстве гидрометстанций преобладает дрейф льда в западном и юго-западном направлениях в соответствии с преобладающими ветрами. Правда, на отдельных станциях в отдельные месяцы отмечается значительная повторяемость других направлений дрейфа льда: в Таганроге северо-восточного и восточного (декабрь), в Стрелковом юго-восточного, в Приморско-Ахтарске южного, однако преобладает генеральное направление дрейфа на запад и юго-запад.

К сожалению, данные о дрейфе льда в открытом море практически отсутствуют, но есть физические основания полагать, что отмеченное выше генеральное направление дрейфа льда там также сохраняется.

В результате перемещения и деформации масс льда в отдельные годы могут образовываться гряды торосов высотой до 10—12 м. Часто эти гряды садятся на мель и образуются сплошные ледяные барьеры, непроходимые для ледоколов. На рис. 3.10 приведена схема зон торосистости. Эти данные взяты из [39] и составлены по данным судовых наблюдений и данным прибрежных пунктов (табл. 3.6). Видно, что наибольшая торосистость и максимальное число барьеров торосов образуются в юго-западной части открытого моря. Это связано с преобладающим выносом льда в этот район, наличием большого числа банок и мелководий, что и создает благоприятные условия для начала образования подсонов, наслоений, торосов и гряд торосов. Вдоль береговой линии торосистость велика повсеместно, что объясняется, очевидно, не только указанными причинами, но и сильной изрезанностью береговой линии и неоднократными вскрытиями и замерзаниями. Исключение состав-

Таблица 3.5

## Высота (см) снежного покрова на припаях

| Характеристика           | Ноябрь |     |     | Декабрь |     |     | Январь |     |     | Февраль |     |     | Март |     |     |
|--------------------------|--------|-----|-----|---------|-----|-----|--------|-----|-----|---------|-----|-----|------|-----|-----|
|                          | 1-я    | 2-я | 3-я | 1-я     | 2-я | 3-я | 1-я    | 2-я | 3-я | 1-я     | 2-я | 3-я | 1-я  | 2-я | 3-я |
| Керчь, пролив            |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         |     |     |        |     | 2   | 1       | —   | 4   | 4    |     |     |
| Максимальная             |        |     |     |         |     |     |        |     | 3   | 10      | 12  | 7   | 7    |     |     |
| Мысовое, залив           |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         |     |     | —      | 1   | 1   | 1       | 2   |     |      |     |     |
| Максимальная             |        |     |     |         |     |     | 3      | 2   | 2   | 5       | 24  |     |      |     |     |
| Стрелковое, море         |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     | 2       | 1   | 2   | 1      | 1   | 1   | 1       | 1   | 2   | 1    | 2   | —   |
| Максимальная             |        |     |     | 4       | 2   | 4   | 14     | 15  | 14  | 17      | 18  | 18  | 20   | 6   | 4   |
| Геническ, лиман          |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         |     | —   | 1      | 1   | 1   | 1       | 2   | 1   | 1    | 1   | —   |
| Максимальная             |        |     |     |         |     | 2   | 6      | 5   | 20  | 19      | 15  | 16  | 15   | 8   | 2   |
| Бердянская коса, море    |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     | —   | —       | 9   | 1   | 1      | 2   | 2   | 1       | 2   | 2   | 1    | —   | —   |
| Максимальная             |        |     | 1   | —       | 15  | 12  | 4      | 7   | 12  | 31      | 30  | 28  | 25   | 4   | 2   |
| Марнуполь, залив         |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     | —   | 2       | —   | 2   | 2      | 2   | 1   | 2       | 1   | 4   | 1    | 1   |     |
| Максимальная             |        |     | 1   | 5       | 5   | 4   | 10     | 23  | 32  | 38      | 20  | 20  | 18   | 3   |     |
| Таганрог, залив          |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         |     | 1   | 1      | 1   | 4   | 1       | 8   | 6   | 1    | 1   |     |
| Максимальная             |        |     |     |         |     | 17  | 24     | 37  | 40  | 22      | 20  | 10  | 30   | 23  |     |
| Должанское, море         |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         |     |     | —      | 3   | 1   | 3       | 2   | —   | —    |     |     |
| Максимальная             |        |     |     |         |     |     | 22     | 26  | 25  | 9       | 10  | 3   | 2    |     |     |
| Приморско-Ахтарск, залив |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         | 2   | 2   | —      | 1   | 1   | 5       | 2   | —   |      |     |     |
| Максимальная             |        |     |     |         | 7   | 11  | 2      | 7   | 12  | 18      | 13  | 4   |      |     |     |
| Темрюк, залив            |        |     |     |         |     |     |        |     |     |         |     |     |      |     |     |
| Минимальная              |        |     |     |         |     | 3   | 8      | 2   | 1   | 1       | 1   | 1   | 9    | 6   | 2   |
| Максимальная             |        |     |     |         |     | 7   | 12     | 16  | 17  | 22      | 22  | 14  | 14   | 11  | 4   |

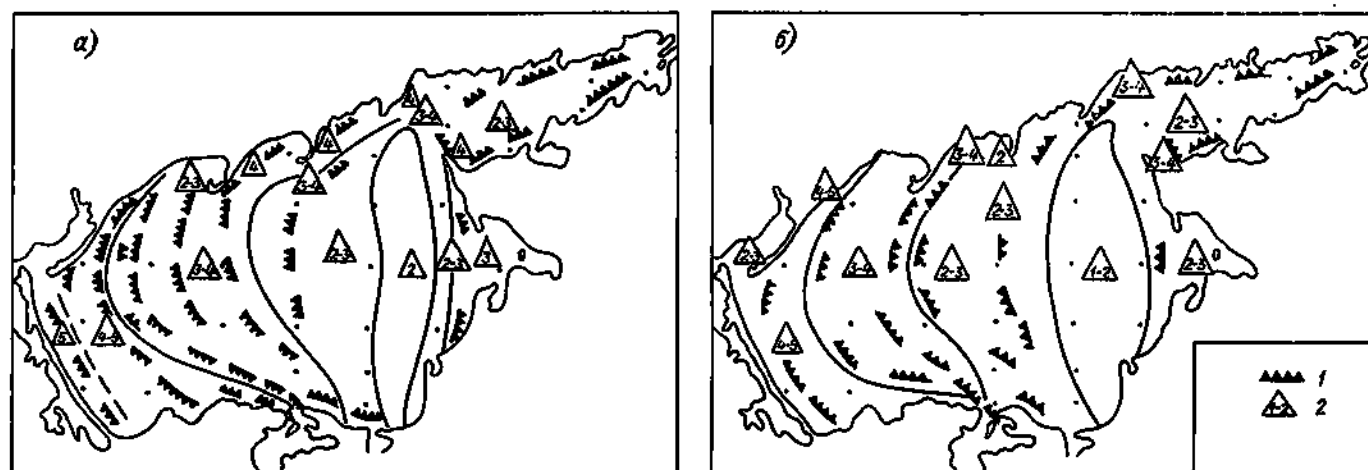


Рис. 3.10. Схемы зон торосистости.

а — суровые, экстремально суровые зимы, б — нормальные зимы; 1 — барьеры торосов, 2 — баллы торосистости.

Торосистость льда (баллы)

| Характеристика           | Ноябрь      |                   | Декабрь     |                   | Январь      |                   | Февраль     |                   | Март        |                   | Апрель      |                   | Май         |                   |
|--------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
|                          | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед | При-<br>пай | Плаву-<br>чий лед |
| Керчь, пролив            |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              |             |                   | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | —           | 0                 |             |                   |
| Максимальная             |             |                   | 0           | 2                 | 0           | 1                 | 3           | 3                 | 3           | 2                 | —           | 1                 |             |                   |
| Мысовое, залив           |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              |             |                   | 1           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 1           | 2                 | —           | 2                 | —           | —                 |
| Максимальная             |             |                   | 2           | 2                 | 4           | 3                 | 4           | 5                 | 4           | 5                 | —           | 5                 | —           | 3                 |
| Стрелковое, море         |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              |             |                   | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 1           | 0                 | —           | 2                 |
| Максимальная             |             |                   | 5           | 5                 | 5           | 5                 | 5           | 4                 | 5           | 5                 | 5           | 5                 | —           | 2                 |
| Геничск, лиман           |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | —           | 0                 |
| Максимальная             | 0           | 0                 | 2           | 2                 | 2           | 2                 | 3           | 3                 | 4           | 4                 | 3           | 4                 | —           | 0                 |
| Марнуполь, залив         |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 |             |                   |
| Максимальная             | 0           | 0                 | 1           | 1                 | 2           | 2                 | 3           | 2                 | 3           | 2                 | 3           | 4                 |             |                   |
| Таганрог, залив          |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 1           | 0                 |             |                   |
| Максимальная             | 0           | 0                 | 3           | 4                 | 1           | 2                 | 1           | 2                 | 2           | 1                 | 1           | 1                 |             |                   |
| Ейск, залив              |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 2           | 0                 |             |                   |
| Максимальная             | 1           | 1                 | 5           | 3                 | 5           | 4                 | 5           | 4                 | 5           | 5                 | 2           | 0                 |             |                   |
| Должанская, море         |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              |             |                   | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 1           | 0                 | 1           | 1                 |             |                   |
| Максимальная             |             |                   | 1           | 2                 | 4           | 4                 | 4           | 5                 | 4           | 4                 | 3           | 3                 |             |                   |
| Приморско-Ахтарск, залив |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |             |                   |
| Минимальная              | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 | 0           | 0                 |             |                   |
| Максимальная             | 2           | 0                 | 4           | 2                 | 5           | 2                 | 5           | 4                 | 2           | 4                 | 0           | 3                 |             |                   |

ляют Таганрог и Геничск в силу устойчивого существования припая.

#### 3.2.4. Процессы и явления в период разрушения и таяния ледяного покрова

Ледовый режим на Азовском море весной вследствие неустойчивости погодных условий и воздействия динамических факторов также чрезвычайно неустойчив, как и в осенне-зимний период. После достижения максимального развития ледяного покрова во второй половине февраля — в начале марта вскоре начинаются весенние подвижки и взлом припая. По данным прибрежных станций, в это время температура поверхностного слоя становится устойчиво положительной (табл. 3.7). Переход температуры воды к положительным значениям в период разрушения ледяного покрова, в отличие от ее перехода к отрицательным значениям в осенне-зимний период происходит в среднем раньше соответствующих сроков перехода температуры воздуха.

Это можно объяснить несколькими причинами: во-первых, температура воды в этот период значительно выше температуры воздуха и близка к нулю ( $-0,4 \dots -0,8^\circ\text{C}$ ), поэтому требуется относительно немного тепла для прогревания ее до нуля; во-вторых, при прогревании распресненной воды до температуры наибольшей плотности создается неустойчивая температурная стратификация, которая способствует вертикальному перемешиванию и прогреванию воды до дна в мелководных прибрежных районах. Известную роль может играть парниковый эффект молодого льда, образующегося при кратковременных похолоданиях на снежниках и чистой воде, а также проникновение солнечной радиации до дна и его усиленное прогревание. Наконец, явление уплотнения при смешивании распресненных вод с разной температурой может способствовать перемешиванию вод как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении.

Интересно отметить, что при квазистационарном режиме Аральского моря (до 1960 г.) отмечалась аналогичная картина. Однако в последние годы, вероятно, в основном с повышением соло-



Таблица 3.7

## Характеристики ледового режима в период таяния и разрушения льда

| Период наблюдений        | Характеристика | Устойчивый переход к положительным значениям |                  | Появление снежиц | Появление проталин | Появление водного заберега | Начало весеннего взлома или первой подвижки припая | Окончательное разрушение припая | Первое полное очищение от льда | Полное окончательное очищение от льда | Число очищений за сезон | Число дней со льдом за сезон |  |
|--------------------------|----------------|----------------------------------------------|------------------|------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--|
|                          |                | Температура воздуха                          | Температура воды |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| Керчь, пролив            |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 23 II                                        | 18 II            | *                | **                 | *                          | 1 II                                               | 21 II                           | 20 I                           | 15 III                                | 4                       | 37                           |  |
| 1924—1984                | Ранняя         |                                              | 22 XII           | 23 I             | **                 | 5 III                      | 5 I                                                | 26 I                            | 1 XII                          | 13 III                                | 0                       | 0                            |  |
| 1924—1984                | Поздняя        |                                              | 25 III           | 8 III            | **                 | 8 III                      | 12 III                                             | 31 III                          | 7 IV                           | 25 IV                                 | 12                      | 120                          |  |
| Мысовое, залив           |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 27 II                                        | 26 II            | *                | *                  | *                          | 28 II                                              | 11 III                          | 13 II                          | 24 III                                | 3                       | 48                           |  |
| 1926—1984                | Ранняя         |                                              | 29 I             | 20 I             | 12 II              | 27 I                       | 16 I                                               | 17 I                            | 30 XI                          | 31 I                                  | 0                       | 0                            |  |
| 1926—1984                | Поздняя        |                                              | 27 III           | 25 III           | 11 III             | 31 III                     | 2 IV                                               | 6 IV                            | 21 IV                          | 7 V                                   | 7                       | 139                          |  |
| Стрелковое, море         |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 4 III                                        | 2 III            | 8 III            | 12 III             | *                          | 16 III                                             | 27 III                          | 24 I                           | 2 IV                                  | 4                       | 69                           |  |
| 1931—1984                | Ранняя         |                                              | 4 II             | 31 I             | 26 I               | 1 II                       | 2 II                                               | 2 II                            | 25 XI                          | 7 II                                  | 1                       | 2                            |  |
| 1931—1984                | Поздняя        |                                              | 28 III           | 30 III           | 3 IV               | 22 III                     | 20 IV                                              | 21 IV                           | 25 IV                          | 25 IV                                 | 9                       | 143                          |  |
| Генчическ, лиман         |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 6 III                                        | 28 II            | 20 II            | 22 II              | *                          | 6 III                                              | 17 III                          | 3 I                            | 25 III                                | 4                       | 84                           |  |
| 1893—1984                | Ранняя         |                                              | 19 I             | 25 XII           | 15 XII             | 29 I                       | 16 I                                               | 16 I                            | 3 XI                           | 20 II                                 | 1                       | 7                            |  |
| 1893—1984                | Поздняя        |                                              | 31 III           | 29 III           | 1 IV               | 2 IV                       | 6 IV                                               | 17 IV                           | 2 V                            | 7 V                                   | 9                       | 173                          |  |
| Бердянская коса, море    |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 14 III                                       | 14 III           | 26 II            | 6 III              | *                          | 2 III                                              | 14 III                          | 23 I                           | 24 III                                | 4                       | 73                           |  |
| 1893—1941, 1963—1984     | Ранняя         |                                              | 2 III            | 31 I             | 14 II              | 10 II                      | 12 I                                               | 30 I                            | 7 XII                          | 30 I                                  | 1                       | 2                            |  |
| 1893—1941, 1963—1984     | Поздняя        |                                              | 27 III           | 14 III           | 19 III             | 22 III                     | 13 IV                                              | 3 V                             | 12 IV                          | 3 V                                   | 9                       | 143                          |  |
| Мариуполь, залив         |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 13 III                                       | 6 III            | 17 II            | 18 II              | *                          | 6 III                                              | 8 III                           | 12 I                           | 19 III                                | 4                       | 77                           |  |
| 1924—1984                | Ранняя         |                                              | 14 I             | 16 XII           | 17 XII             | 18 XII                     | 17 I                                               | 6 II                            | 15 XI                          | 5 III                                 | 1                       | 7                            |  |
| 1924—1984                | Поздняя        |                                              | 8 IV             | 2 IV             | 2 IV               | 11 IV                      | 18 IV                                              | 18 IV                           | 24 IV                          | 24 IV                                 | 10                      | 149                          |  |
| Таганрог, залив          |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 15 III                                       | 8 III            | *                | *                  | *                          | 13 III                                             | 14 III                          | 13 III                         | 29 III                                | 3                       | 104                          |  |
| 1893—1984                | Ранняя         |                                              |                  | 16 XII           | 5 I                | 19 I                       | 15 I                                               | 2 II                            | 1 IV                           | 4 III                                 | 1                       | 35                           |  |
| 1893—1984                | Поздняя        |                                              |                  | 30 III           | 1 IV               | 3 IV                       | 15 IV                                              | 20 IV                           | 17 IV                          | 23 IV                                 | 8                       | 165                          |  |
| Ейск, залив              |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 11 III                                       | 4 III            | 20 II            | 24 II              | *                          | 7 III                                              | 12 III                          | 27 XII                         | 17 III                                | 5                       | 67                           |  |
| 1916—1984                | Ранняя         |                                              | 20 I             | 31 I             | 2 I                | 27 I                       | 25 XII                                             | 7 II                            | 5 XI                           | 7 II                                  | 1                       | 3                            |  |
| 1916—1984                | Поздняя        |                                              | 2 IV             | 29 III           | 1 IV               | 29 III                     | 15 IV                                              | 17 IV                           | 24 IV                          | 24 IV                                 | 9                       | 151                          |  |
| Должанское, море         |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 11 III                                       | 11 III           | 10 II            | 26 II              | **                         | 25 II                                              | 27 II                           | 9 I                            | 13 III                                | 6                       | 57                           |  |
| 1934—1984                | Ранняя         |                                              | 6 II             | 28 I             | 28 I               | **                         | 23 I                                               | 22 I                            | 12 XI                          | 11 II                                 | 1                       | 6                            |  |
| 1934—1984                | Поздняя        |                                              | 7 IV             | 29 III           | 31 III             | **                         | 28 III                                             | 4 IV                            | 19 III                         | 16 IV                                 | 12                      | 137                          |  |
| Приморско-Ахтарск, залив |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 5 III                                        | 22 II            | 10 II            | 15 II              | *                          | 26 II                                              | 7 III                           | 19 XII                         | 15 III                                | 5                       | 66                           |  |
| 1949—1984                | Ранняя         |                                              | 12 I             | 14 XII           | 15 XII             | 17 XII                     | 16 XII                                             | 16 XII                          | 3 XI                           | 2 III                                 | 1                       | 6                            |  |
| 1949—1984                | Поздняя        |                                              | 26 III           | 20 III           | 25 III             | 1 IV                       | 4 IV                                               | 4 IV                            | 20 III                         | 8 IV                                  | 12                      | 141                          |  |
| Темрюк, залив            |                |                                              |                  |                  |                    |                            |                                                    |                                 |                                |                                       |                         |                              |  |
| 1952—1984                | Средняя        | 26 II                                        | 21 II            | *                | *                  | **                         | 20 II                                              | 25 II                           | 15 I                           | 12 III                                | 3                       | 37                           |  |
| 1918—1984                | Ранняя         |                                              | 7 I              | 23 I             | 1 II               | **                         | 22 I                                               | 23 I                            | 22 XI                          | 31 I                                  | 0                       | 0                            |  |
| 1918—1984                | Поздняя        |                                              | 9 III            | 27 III           | 7 III              | **                         | 25 III                                             | 3 IV                            | 13 III                         | 20 IV                                 | 8                       | 135                          |  |

Примечания: 1. В последних графах указано среднее, наименьшее и наибольшее число случаев. 2. Знак «\*» показывает, что средние не подсчитаны, так как явление наблюдалось меньше 10 раз, а знак «\*\*» — что наблюдения не производились.

сти вод температура воды весной стала переходить через нуль несколько позже температуры воздуха.

С появлением участков чистой воды после разрушения припая температура воды вследствие ее большой поглощательной способности интенсивно прогревается по всей толще и происходит усиленное таяние льда. В среднем через 10—15 дней после разрушения припая льды окончательно исчезают. Раньше всего они исчезают в южных (Керчь, Темрюк) и восточных районах моря (Должанское, Приморско-Ахтарск), позже — в районах скопления приносного льда (Стрелковое, Мысовое, Бердянск), а также в Таганроге, Геническе (Утлюкский лиман). В среднем в прибрежной зоне таяние льдов завершается в марте, за исключением района Арабатской стрелки (Стрелковое), где приносные льды в среднем сохраняются до начала апреля.

Крайние (наиболее ранние и наиболее поздние) сроки исчезновения льда разделены большими интервалами. Ранние сроки в различных районах приходятся на февраль — начало марта, а поздние — на вторую половину апреля — начало мая. Самые ранние даты исчезновения льда отмечены в южной части моря (Темрюк, Мысовое), а также в Бердянске — конец января, а самые поздние — в Мысовом, Геническе, Бердянске.

Для характеристики ледовых явлений в период разрушения и таяния ледяного покрова в открытых районах моря использованы в основном данные ледовых авиаразведок и полутных судовых наблюдений, обобщенные в [39, 40, 82]. Как и в прибрежной зоне моря, наибольшее развитие в открытых районах моря льды достигают в среднем в конце января — начале февраля (рис. 3.11 а, б). Вероятность встречи со льдом в этот период на подавляющей части акватории моря превышает 50 % и только в ограниченных юго-восточных районах может быть несколько меньше. В начале марта вероятность встречи со льдом менее 50 % отмечается на всей юго-восточной половине акватории моря (рис. 3.11 в, г), а в конце марта изолиния вероятности встречи со льдом 50 % смещается в крайние западные районы моря и сохраняется в вершине Таганрогского залива (рис. 3.11 д). В начале апреля льды в среднем еще могут встретиться на всей акватории моря с вероят-

ностью 5—30 % (рис. 3.11 е), а в начале мая только в крайнем юго-западном районе, где накапливаются приносные льды (рис. 3.11 ж).

Таким образом, процессы разрушения и таяния льдов в прибрежных районах моря и в его открытых частях в общих чертах аналогичны. Фазы максимального развития и исчезновения ледяного покрова в среднем совпадают, хотя в отдельные годы в разных районах в силу разнообразия и неустойчивости погодных условий и физико-географических особенностей могут отмечаться существенные отклонения от отмеченных общих закономерностей.

### 3.2.5. Тенденции многолетних изменений ледовых условий Азовского моря

Для анализа тенденций изменения ледовых условий логично было бы использовать такие показатели, как ледовитость моря (площадь моря, находящаяся под льдом) и суммы отрицательных температур воздуха. Однако, учитывая, что из-за чрезвычайной динамичности ледового режима и погодных условий на Азовском море, а также из-за недостаточности информации о льдах в открытых районах моря эти показатели недостаточно надежны, мы использовали другие, более стабильные, на наш взгляд, показатели по данным прибрежных гидрометстанций: средние даты первого появления начальных видов льда, даты полного очищения ото льда, средняя продолжительность ледового сезона. Были проанализированы обобщенные данные, помещенные в «Гидрометеорологическом справочнике Азовского моря» [40], «Справочнике по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР» [82], справочном пособии «Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, Т. 3. Азовское море» [39], а также данные, полученные при подготовке настоящей монографии (табл. 3.8). В указанных работах данные осреднены до 1958, 1964, 1977 и 1984 гг. соответственно, причем для сопоставимости характеристик, полученных в различных пунктах наблюдений в каждой работе, обрабатывались примерно одинаковые ряды наблюдений.

При этом выяснилось, что средние даты первого появления начальных форм льда заметно сдвину-

Таблица 3.8

Средние даты первого появления начальных форм льда (1), полного очищения моря от льда (2) и средняя продолжительность (сут) ледового сезона (3) за различные периоды

| Пункт             | До 1958 г. |        |     | До 1964 г. |        |     | До 1977 г. |        |       | До 1984 г. |        |     |
|-------------------|------------|--------|-----|------------|--------|-----|------------|--------|-------|------------|--------|-----|
|                   | 1          | 2      | 3   | 1          | 2      | 3   | 1          | 2      | 3     | 1          | 2      | 3   |
| Керчь             | 4 I        | 14 III | 39  | 5 I        | 13 III | 40  | 10 I       | 18 III | 37    | 12 I       | 15 III | 37  |
| Мысовое           | 8 I        | 25 III | 60  | 9 I        | 25 III | 58  | 16 I       | 23 III | 54    | 17 I       | 24 III | 48  |
| Стрелковое        | 22 XII     | 31 III | 76  | 21 XII     | 30 III | 75  | 28 XII     | 2 IV   | 71    | 07 I       | 02 IV  | 69  |
| Геническ          | 7 XII      | 1 IV   | 91  | 13 XII     | 28 III | 86  | 13 XII     | 1 IV   | 85    | 10 XII     | 25 III | 84  |
| Бердянск          | 15 XII     | 29 III | 89  | 15 XII     | 23 III | 82  | 1 I        | 24 III | 72    | 29 XII     | 24 III | 73  |
| Мариуполь         | 9 XII      | 29 III | 97  | 10 XII     | 26 III | 95  | 16 XII     | 21 III | 81    | 17 XII     | 19 III | 77  |
| Таганрог          | 26 XI      | 31 III | 114 | 26 XI      | 30 III | 113 | 23 XI      | 31 III | 106   | 25 XI      | 29 III | 104 |
| Ейск              | 7 XII      | 25 III | 87  | 7 XII      | 25 III | 86  | 15 XII     | 18 III | 69    | 14 XII     | 17 III | 67  |
| Должанская        | 12 XII     | 23 III | 72  | 13 XII     | 21 III | 69  | 18 XII     | 15 III | 59    | 18 XII     | 13 III | 57  |
| Приморско-Ахтарск | 1 XII      | 21 III | 85  | 1 XII      | 20 III | 73  | 6 XII      | 16 III | (68)* | 6 XII      | 15 III | 66  |
| Темрюк            | 30 XII     | 10 III | 46  | 30 XII     | 9 III  | 41  | 5 I        | 12 III | 38    | 2 I        | 12 III | 37  |

\* Получено интерполяцией.

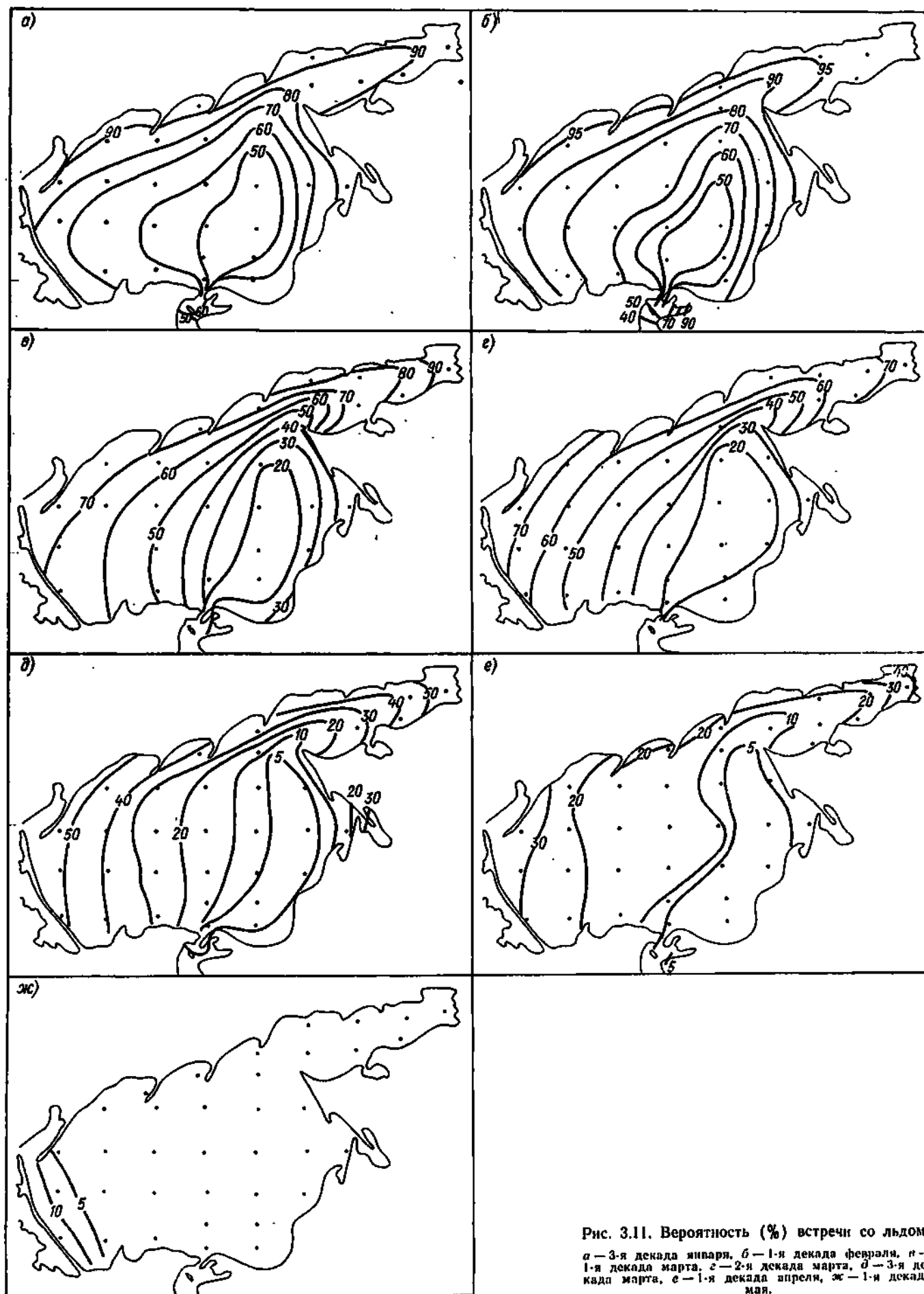


Рис. 3.11. Вероятность (%) встречи со льдом.  
 а — 3-я декада января, б — 1-я декада февраля, в — 1-я декада марта, г — 2-я декада марта, д — 3-я декада марта, е — 1-я декада апреля, ж — 1-я декада мая.

лись на более поздние сроки (примерно на одну неделю), а средние даты полного исчезновения льда по большинству пунктов стали отмечаться несколько раньше. Существенно сократилась средняя продолжительность ледового сезона, особенно в районах Ейска, Мариуполя, Должанской, Таганрога; в меньшей степени в Керчи, Геническом, у Стрелкового. Однако во всех пунктах наблюдений тенденция однозначна.

Отмеченные факты позволяют судить о некотором потеплении Азовского моря, по крайней мере в холодный период года) и смягчении его ледовых условий за последние десятилетия. Подтверждением этому могут служить данные анализа многолетних трендов температуры воды в районе Мысового и Геническа (см. табл. 3.1), из которых следует, что с октября по январь здесь отмечаются заметные положительные тренды, хотя в среднегодовых значениях температуры воды никакие тренды отчетливо не прослеживаются.

### 3.2.6. Некоторые особенности ледовых условий на трассе плавания судов

#### Мариуполь—Керченский пролив

Льды Азовского моря могут служить серьезным препятствием для судоходства. Даже в умеренные (нормальные) зимы в периоды резких похолоданий

возникает необходимость ледокольного обеспечения судоходства в наиболее ледовитые месяцы — январь, февраль, март (рис. 3.12 а). В суровые зимы необходимость ледокольных проводок может возникнуть уже во второй половине декабря, а в очень суровые зимы даже с конца ноября (рис. 3.12 б). Более подробные сведения о крайних сроках проводок судов и протяженности трассы ледокольной проводки даны в табл. 3.9. Самостоя-

Таблица 3.9

Примерные сроки начала и конца проводки судов и приближенная протяженность проводки с помощью ледоколов на трассе Керчь—Мариуполь

| Зима                 | Начало периода ледокольной проводки | Конец периода ледокольной проводки | Протяженность проводки, миль |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Экстремально теплая  | 20—30 XII                           | 1—10 III                           | 20                           |
| Теплая               | 20—30 XII                           | 20—30 III                          | 63                           |
| Нормальная           | 15—25 XII                           | 20—30 III                          | 108                          |
| Суровая              | 10—20 XII                           | 1—10 IV                            | 118                          |
| Экстремально суровая | 15—25 XI                            | 10—20 IV                           | 118                          |

тельное плавание судов по трассе во льдах сплошностью 9—10 баллов может осуществляться при толщине льда до 5 см. При сплошности 1—3 балла плавание судов возможно практически

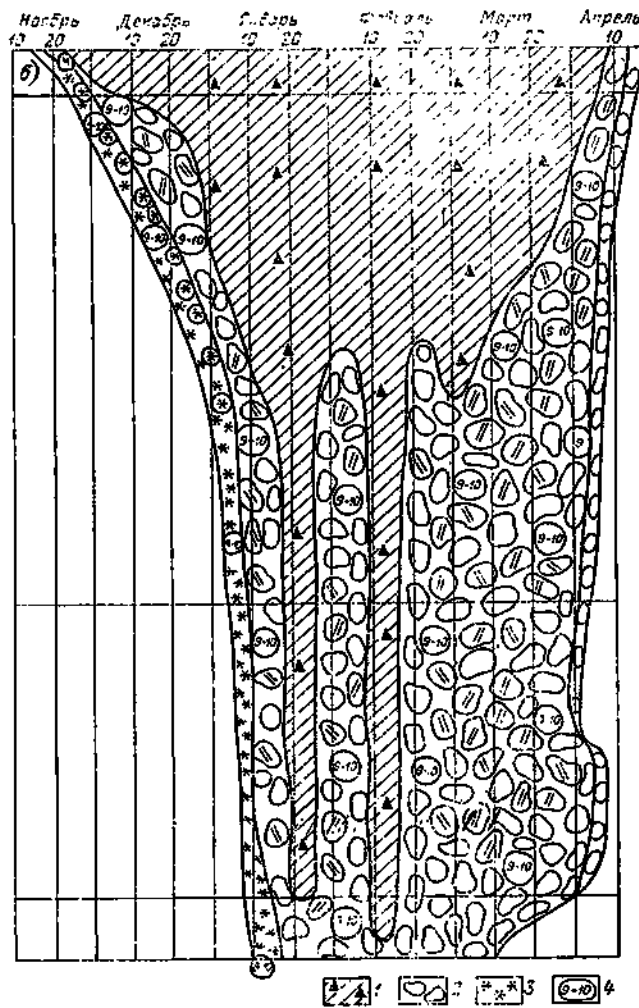
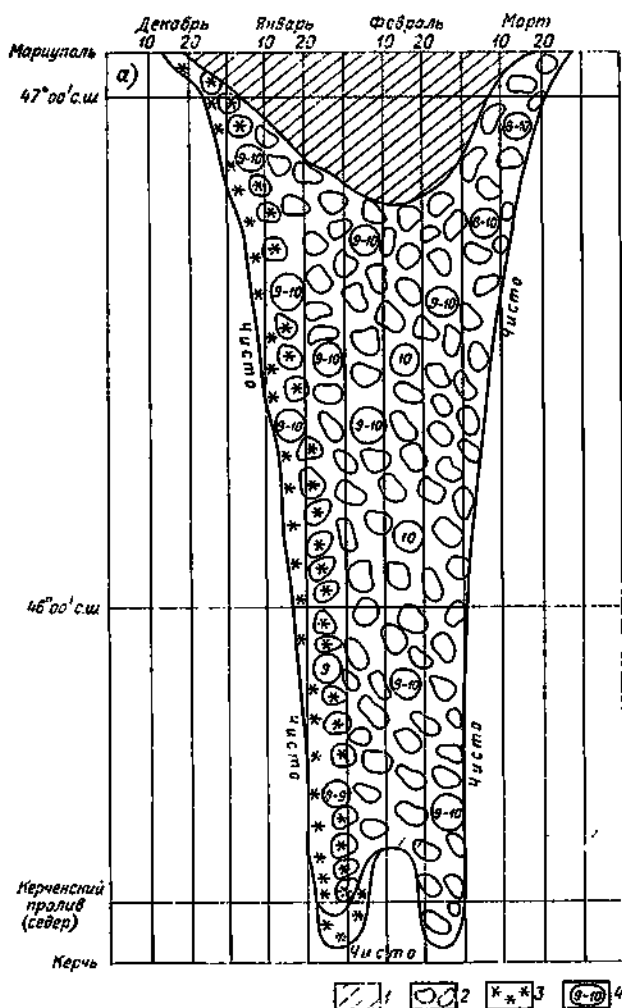


Рис. 3.12. Ледовая обстановка на трассе Мариуполь — Керченский пролив в нормальную (а) и экстремально суровую зиму (б).

а: 1 — сплошные льды, 2 — плавающие льды, 3 — начальные формы льда, 4 — густота плавающего льда, баллы; б: 1 — сплошной восторженный лед, 2 — плавающие льды, 3 — начальные формы льда, 4 — густота плавающего льда, баллы.

при любой толщине льда. При толщине льда 8—10 см и сплоченности 9—10 баллов проводка судов на Азовском море осуществляется исключительно ледоколами. Наиболее сложные для судоходства ледовые условия создаются в Таганрогском заливе и Керченском проливе. В Таганрогском заливе это связано с его северным положением и относительной континентальностью, мелководностью, изрезанностью береговой линии и сильным опреснением вод. В Керченском проливе — со скоплением значительного количества дрейфующего льда и его сжатия, особенно под действием сильных северо-восточных и северных ветров.

Для характеристики ледовых условий на трассе использованы данные судовых сообщений о распределении льда различного возраста в течение всей зимы по судоходной трассе в зависимости от суровости зимы, а также данные авиационных разведок льда.

Перемещение кромки припая с момента его возникновения в закрытых бухтах происходит от берегов к центру моря. По многолетним данным, на трассе Керчь — Мариуполь кромка припая на подходе к порту Мариуполь в середине декабря обычно располагается в 15—20 милях от берега. В течение следующего месяца (к 15 января) граница припая сдвигается на юг на 25—50 м. миль, а к февралю еще примерно на 12—15 м. миль. К середине февраля кромка льда в среднем отстоит от северного берега на расстояние 50—65 м. миль. В конце февраля — начале марта кромка начинает отступать к северу, и к середине апреля подходы к порту Мариуполь обычно освобождаются ото льда.

В умеренные зимы вероятность распространения припая на открытую часть моря в январе — феврале составляет 10—20 %, в суровые — 30—40 %, причем в эти годы припай захватывает центральные районы моря. Вероятность распространения льда любого вида в эти же месяцы изменяется от 50 до 90 % в умеренные зимы и от 70 до 100 % — в суровые: возрастающая в направлении с юга и юго-востока к северу.

В январе — феврале в умеренные и суровые зимы в море преобладают очень сплоченные и сплошные льды (9—10 баллов). Вероятность их появления уменьшается от побережья к центральному району моря от 60—80 % в умеренные зимы до 70—100 % — в суровые.

Наблюдения за толщиной льда в открытом море производились эпизодически. Многолетние данные о его толщине имеются только по трассе Керчь — Мариуполь. Они показывают, что в умеренные зимы преобладающая толщина льда в январе составляет 15—20 см, в феврале и марте 20—25 см, в суровые зимы соответственно 20—25 и 30—35 см.

Льды Азовского моря отличаются большой подвижностью, особенно в умеренные зимы, когда скопления льда перемежаются с пространствами чистой воды. В результате неравномерного дрейфа возникают многослойные и торосистые льды, сильно затрудняющие судоходство. Торосистость плавучих льдов в январе и марте увеличивается с востока на запад от 1 до 3 баллов. В феврале все море обычно покрыто торосами высотой до 1 м в 2—3 балла. Наибольшая торосистость отмечается вдоль Арабатской стрелки.

### 3.2.7. Ледовый режим Таганрогского залива и Керченского пролива

Ледовитость Таганрогского залива увеличивается в направлении с юго-запада на северо-восток. Раньше всего, как отмечалось, ледообразование начинается в восточной части залива. Здесь в открытых районах появление льда фиксируется в первой-второй декаде декабря. В суровые зимы к этому времени лед появляется и в западной части залива. В умеренные и мягкие зимы первое появление льда в его западной части отмечается в 3-й декаде декабря — 1-й декаде января. Первое замерзание наступает спустя 7—10 дней после начала ледообразования. Наиболее короткий период замерзания в устьях рек. По направлению к западу продолжительность периода замерзания возрастает. В среднем западная часть залива полностью покрывается льдом к 15 января. В мягкие зимы полного замерзания здесь может и не быть. Сплошной неподвижный ледяной покров неоднократно взламывается в течение зимы. Наиболее устойчив он в устье Дона и в крайней восточной части залива.

В западной части залива припай неустойчив. Максимального развития он достигает в феврале. Вероятность расположения кромки припая у входа в залив в этом месяце в умеренные и суровые зимы составляет около 40 %.

Толщина льда в заливе в умеренные и суровые зимы достигает 60—80 см, в мягкие 40—45 см, в исключительно мягкие не превышает 20—25 см. Местоположение и характер торосов непостоянны, но особенно сильное торшение происходит у отмелей и кос. Торосистость увеличивается в западной части залива, где обычно образуется пояс торосов шириной более 1 м. мили при высоте 1—2 м.

Неподвижный ледяной покров в среднем держится до середины марта, но в суровые зимы вскрытие залива может задерживаться до 2-й декады апреля. Окончательное очищение залива ото льда в мягкие зимы происходит к началу марта, в умеренные — во 2-й декаде марта и в суровые — в 1-й декаде апреля.

Лед в Керченском проливе хотя и появляется ежегодно, но значительно позже и менее мощный, чем в других районах моря, что объясняется южным положением, непосредственной близостью теплого Черного моря и проникновением в пролив черноморских вод.

Наиболее ледовитыми являются северная часть пролива (до косы Тузла) и Таманский залив. Процесс ледообразования в проливе протекает замедленно. В начале 2-й декады января лед появляется в виде заберегов в Керченской бухте, откуда постепенно распространяется и на остальную часть прибрежной полосы. Его мощность и площадь распространения зависят от суровости зимы. Сплошной ледяной покров устанавливается лишь в северной части пролива до косы Тузла. Образование его возможно в суровые и умеренные зимы не ранее января за счет смерзания плавучих льдов, выносимых из Азовского моря. Местный лед образуется здесь крайне редко.

Ледяной покров отличается наибольшей устойчивостью в Таманском заливе. Лед здесь в основном местного происхождения, появляется в сере-

дне—конце декабря и уже в первую декаду января образует неподвижный сплошной устойчивый покров толщиной до 30 см (при максимальной толщине 64 см в суровую зиму 1953/54 г.). И только в мягкие зимы не происходит полного замерзания Таманского залива. Южная часть Керченского пролива менее ледовита, чем северная. Здесь плавучие льды, выносимые из Азовского моря, наблюдаются в середине и конце зимы, а местный лед образуется крайне редко и лишь в виде заберегов. Только в очень суровую зиму 1953/54 г. в Заветном отмечалось полное замерзание моря.

В течение зимы бывают повторные вскрытия и замерзания пролива. Этому способствует частая смена отрицательных и положительных температур, а также сильные ветры и течения. При морозах и установлении северо-восточных ветров пролив покрывается довольно прочным льдом. При южных ветрах и течениях из Черного моря пролив быстро освобождается от сплошного льда.

Сильные северные и северо-восточные ветры создают у входа в пролив большие скопления сплоченных и торосистых льдов, которые затрудняют плавание судов. Из-за возможных подвижек льда наиболее опасным для плавания в проливе является поворот от Чушкинских створов на Камыш-Бурунские, район Церковной банки и оконечность косы Тузла.

Окончательное очищение пролива ото льда в умеренные зимы происходит к 25 февраля, а в суровые — только к 1 апреля.

### 3.3. Соленость вод

Соленость вод моря как важнейший абиотический фактор среды в значительной мере прямо и косвенно определяет состояние экосистемы моря. Азовское море относится к солоноватоводным водоемам и по существу представляет собой большую зону смешения речных и черноморских вод. Соленость северо-восточной части моря (Таганрогский залив) и прибрежных восточных районов находится под существенным влиянием стока рек Дона и Кубани, а южный предпроливной район испытывает значительное влияние черноморских вод.

Меньшую роль в формировании режима солености играют другие составляющие водного баланса моря (атмосферные осадки и др.). Косвенная, но немаловажная роль в изменениях солеобразующих факторов, а, следовательно, и солености принадлежит общей циркуляции атмосферы. В результате исследований [6, 22, 73, 74] было установлено, что наибольшее влияние на изменение среднегодовой солености вод Азовского моря оказывает поступление суммарного речного стока, который весьма существенно регулирует соотношение азовского и черноморского потоков. На основании анализа полученных экспериментальных результатов выявлены физически обоснованные, устойчивые связи составляющих водообмена с суммарным речным стоком [67, 74].

Многолетние изменения солености вод Азовского моря. Для характеристики многолетних изменений солености были рассчитаны ее среднегодовые значения для моря без учета Таганрогского залива средневзвешенным методом. Тем же способом

были определены среднегодовые характеристики солености вод Таганрогского залива.

Многолетний ход солености вод Азовского моря являлся предметом исследования целого ряда авторов. Обзор этих исследований дан в [94]. Расхождений в среднегодовых значениях солености открытой части моря, полученные различными авторами, в большинстве случаев невелики. Максимальные из них составляют 0,6 ‰. Авторами данной работы при анализе многолетнего хода солености в Азовском море были использованы среднегодовые значения солености, полученные на основе материалов регулярных наблюдений, проводимых на судах Госкомгидромета СССР, АзНИИРХ и Министерства рыбного хозяйства СССР.

В данной работе рассматривается многолетний ряд наблюдений за соленостью Азовского моря с 1922 по 1989 г.

Соленость Азовского моря характеризуется большой временной и пространственной изменчивостью. Межгодовые изменения средней солености моря без Таганрогского залива достигают  $\pm 0,7 \dots \pm 0,9 \text{ ‰}$ , а в отдельные годы даже 1 ‰ (1979 г.). В Таганрогском заливе размах межгодовых изменений средней солености достигает 2,0—2,5 ‰ с максимумом 3,6 ‰ (1969 г.) (табл. 3.10). Многолетний размах среднегодовых значений солености моря по имеющемуся ряду наблюдений (1928—1939, 1947—1989 гг.) составляет 4,3 ‰ (9,6 ‰ в 1933 и 1934 гг. и 13,9 ‰ в 1976 г.). В Таганрогском заливе этот размах равен 6,9 ‰

Таблица 3.10

Средняя годовая соленость (‰) Азовского моря в целом, собственно моря и Таганрогского залива

| Год  | Азовское море в целом | Собственно море | Таганрогский залив | Год  | Азовское море в целом | Собственно море | Таганрогский залив |
|------|-----------------------|-----------------|--------------------|------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| 1922 | 10,5                  |                 |                    | 1960 | 11,7                  | 7,6             | 11,4               |
| 1923 | 10,9                  | 5,9             | 10,5               | 1961 | 11,7                  | 8,0             | 11,4               |
| 1924 | 10,6                  | 5,8             | 10,2               | 1962 | 12,1                  | 7,9             | 11,8               |
| 1925 | 10,9                  | 5,6             | 10,5               | 1963 | 11,8                  | 5,4             | 11,3               |
| 1926 | 10,6                  | 5,8             | 10,2               | 1964 | 11,7                  | 4,3             | 11,1               |
| 1927 | 10,4                  | 4,7             | 9,9                | 1965 | 11,1                  | 6,1             | 10,7               |
| 1928 | 10,8                  | 5,7             | 10,4               | 1966 | 11,3                  | 6,9             | 10,9               |
| 1929 | 10,5                  | 5,8             | 10,1               | 1967 | 11,4                  | 8,8             | 11,2               |
| 1930 | 10,4                  | 6,9             | 10,1               | 1968 | 11,4                  | 5,8             | 10,9               |
| 1931 | 10,8                  | 5,6             | 10,4               | 1969 | 12,0                  | 9,4             | 11,8               |
| 1932 | 9,6                   | 5,2             | 9,3                | 1970 | 12,2                  | 8,4             | 11,9               |
| 1933 | 9,6                   | 5,5             | 9,3                | 1971 | 12,4                  | 8,6             | 12,1               |
| 1934 | 9,9                   | 5,4             | 9,6                | 1972 | 12,5                  | 8,9             | 12,2               |
| 1935 | 10,6                  | 6,6             | 10,3               | 1973 | 12,9                  | 8,7             | 12,6               |
| 1936 | 11,5                  | 7,5             | 11,2               | 1974 | 13,2                  | 9,1             | 12,9               |
| 1937 | 11,6                  | 6,3             | 11,2               | 1975 | 13,3                  | 10,9            | 13,1               |
| 1938 | 11,6                  | 8,0             | 11,4               | 1976 | 13,9                  | 11,1            | 13,7               |
| 1939 | 12,1                  | 8,1             | 11,8               | 1977 | 13,6                  | 9,5             | 13,3               |
| 1947 | 10,7                  | 4,2             | 10,2               | 1978 | 13,2                  | 8,2             | 12,8               |
| 1948 | 10,8                  | 5,4             | 10,4               | 1979 | 12,2                  | 7,3             | 11,8               |
| 1949 | 11,1                  | 6,2             | 10,7               | 1980 | 12,1                  | 7,6             | 11,8               |
| 1950 | 11,6                  | 8,5             | 11,4               | 1981 | 11,6                  | 6,1             | 11,1               |
| 1951 | 12,3                  | 7,2             | 11,9               | 1982 | 11,1                  | 7,0             | 10,8               |
| 1952 | 12,2                  | 7,9             | 11,9               | 1983 | 11,4                  | 6,7             | 11,0               |
| 1953 | 12,7                  | 7,0             | 12,2               | 1984 | 11,7                  | 7,9             | 11,4               |
| 1954 | 12,3                  | 7,0             | 11,9               | 1985 | 12,1                  | 7,0             | 11,6               |
| 1955 | 12,7                  | 7,9             | 12,3               | 1986 | 12,1                  | 8,1             | 11,8               |
| 1956 | 12,0                  | 5,4             | 11,5               | 1987 | 11,6                  | 8,3             | 11,4               |
| 1957 | 11,5                  | 4,9             | 11,0               | 1988 | 11,6                  | 7,1             | 11,2               |
| 1958 | 11,5                  | 6,4             | 11,1               | 1989 | 11,4                  | 6,5             | 11,0               |
| 1959 | 11,5                  | 7,1             | 11,2               |      |                       |                 |                    |

(4,2 ‰ в 1947 г., 11,1 ‰ в 1976 г.). Межгодовые и многолетние изменения солености имеют нерегулярный характер. Так, после относительно небольших колебаний солености в период 1922—1931 гг. в пределах 10,4—10,9 ‰ она к 1932 г. резко снижается до 9,4 ‰, а с 1933 г. начинает расти и к 1939 г. достигает 12,1 ‰. С 1947 г. соленость в течение восьми лет в целом увеличивалась с 10,7 до 12,7 ‰. С 1955 по 1965 г. соленость снова уменьшается до 11,1 ‰, после чего наступает длительный период ее устойчивого увеличения до 13,9 ‰ (1976 г.). С 1976 г. соленость снова резко уменьшается до 11,1 ‰ (1982 г.), затем следует непродолжительный рост до 12,1 ‰ и снова снижение. В 1989 г. средняя соленость моря составляла 11,4 ‰.

Таким образом, в различные периоды времени соленость вод имеет различные по направлению и величине тренды, которые формируются под влиянием многих вышеуказанных факторов.

Бассейн Азовского моря представляет собой обширный район тесного взаимодействия развитых аграрно-промышленных комплексов и морской экосистемы. Вследствие малых размеров моря и его небольших глубин основные элементы гидрологического и гидрохимического режима моря и состояние экосистемы подвержены существенным антропогенным изменениям. По режиму солености, в частности, принято выделять период до ввода в строй Цимлянского гидроузла (1922—1952 гг.) и после него.

Относительно большой приток речных вод, который до 1952 г. (при сравнительно небольших безвозвратных изъятиях стока) составлял в среднем более 40 км<sup>3</sup> в год, обуславливал пониженную соленость в море: в среднем 10,9 ‰, при максимуме 12,3 ‰ (1951 г.) и минимуме 9,6 ‰ (1932, 1933 гг.). В Таганрогском заливе средняя соленость за этот период составляла 6,2 ‰ и изменялась от 8,5 ‰ в 1950 г. до 4,2 ‰ в 1947 г.

После строительства Цимлянского гидроузла и осуществления других водохозяйственных мероприятий в бассейнах рек Дона и Кубани в период 1953—1989 гг. средняя соленость моря увеличилась до 12,1 ‰ и изменялась от 13,9 ‰ в 1976 г. до 11,1 ‰ — в 1965 и 1982 гг. В Таганрогском заливе произошли аналогичные изменения солености. Средняя соленость увеличилась до 7,5 ‰, максимальная до 11,1 ‰ (1976 г.), минимальная до 4,3 ‰ (1964 г.). Дополнительной характеристикой изменчивости солености могут служить значения линейного тренда, вычисленные для различных периодов.

I период — 1952—1955 г., — когда колебания речного стока составили 28—50 км<sup>3</sup>, соленость моря возросла, а различия между среднегодовыми значениями солености уменьшились до 0,7 ‰ (0,14 ‰/год).

II период — 1856—1966 г., — когда колебания речного стока составили 30—54 км<sup>3</sup>, соленость несколько уменьшается, линейный тренд примерно равен 0,4 ‰.

III период — 1967—1976 гг. — характеризуется неуклонным увеличением солености с 11,5 до 13,9 ‰. Колебания речного стока составили 20—44 км<sup>3</sup>. Для данного периода был также рассчитан линейный тренд солености, который оказался равным 3,4 ‰.

При рассмотрении пространственного распределения значений среднегодовой солености в Азовском море в самом неблагоприятном 1976 г. установлено, что площадь с соленостью вод, не превышающей 7 ‰, сократилась до 1,3 тыс. км<sup>2</sup>, а с соленостью, не превышающей 11 ‰, — до 3 тыс. км<sup>2</sup>. Одновременно около 20 тыс. км<sup>2</sup> собственно Азовского моря занимали воды соленостью 13—14 ‰, около 12 тыс. км<sup>2</sup> — воды соленостью 14—14,4 ‰ (рис. 3.13). Около 40 % площади Таганрогского залива были заняты водами соленостью 11—13 ‰. Таким образом, по данным АзНИИРХ, для всех популяций полупроходных рыб и молоди осетровых удовлетворительные условия по солености в рассматриваемый период сохранились лишь на незначительной части акватории Таганрогского залива.

IV период — 1977—1982 гг. — характеризуется резким снижением солености с 13,9 до 11,1 ‰. При этом колебания речного стока составили от 32 до 50 км<sup>3</sup>. В 1983—1989 гг. соленость изменялась в пределах 11,4—12,1 ‰. Средняя за 80-е годы соленость собственно Азовского моря составляла 11,7 ‰, а Таганрогского залива — 7,2 ‰.

Начиная с 1979 г. значительно расширились зоны с соленостью вод, не превышающей 7 ‰ (до 3,3 тыс. км<sup>2</sup>), 9 ‰ (до 4,1 тыс. км<sup>2</sup>), 11 ‰ — до 5,4 тыс. км<sup>2</sup>, 12 ‰ — 9,7 тыс. км<sup>2</sup>. Аналогичное пространственное распределение солености по акватории Азовского моря сохранилось в 1980 г. и в последующие годы. В 1981 г. в собственно Азовском море соленость более 12 ‰ наблюдалась только в небольшом районе, непосредственно примыкающем к Керченскому проливу (см. рис. 3.13).

Сезонные изменения солености вод рассматривались по девяти районам моря, выделенным в последнее время в ГОИН [16] (см. рис. 1.1, часть II, п. 1.2 настоящей монографии).

Сезонные характеристики солености по указанным районам представлены в табл. 3.11. Анализ этих данных показывает, что в различных районах моря характер годового хода солености и его значения неоднозначны. Наибольшие сезонные изменения отмечаются в IX районе, в вершине Таганрогского залива. Разность между наибольшей соленостью зимой и наименьшей летом составляет в среднем 1,84 ‰. Многолетний диапазон изменений солености достигает летом почти 12 ‰. Распределение солености по всему диапазону (табл. 3.12) асимметричное. Большинство значений солености находится в области 0,3—6,3 ‰. В VIII районе, занимающем небольшую акваторию в центральной части Таганрогского залива, разность между наибольшей соленостью (осенью) и наименьшей (летом) уменьшается по сравнению с разностью в IX районе почти вдвое. Асимметрия распределения в общем диапазоне сохраняется, но выражена слабее. В западной части Таганрогского залива (район VII) средняя разность между наибольшей (осенью) и наименьшей соленостью (весна) уменьшается до 0,65 ‰. Наибольшая повторяемость солености находится в диапазоне 9—12 ‰. В северо-западной части моря, включающей в себя Белосарайский и Бердянский заливы (район VI), характер сезонного хода и средний размах солености аналогичны этим характеристикам в VII районе, но наибольшая повторяемость солености смещена в диапазон 11,2—12,7 ‰. Нан-

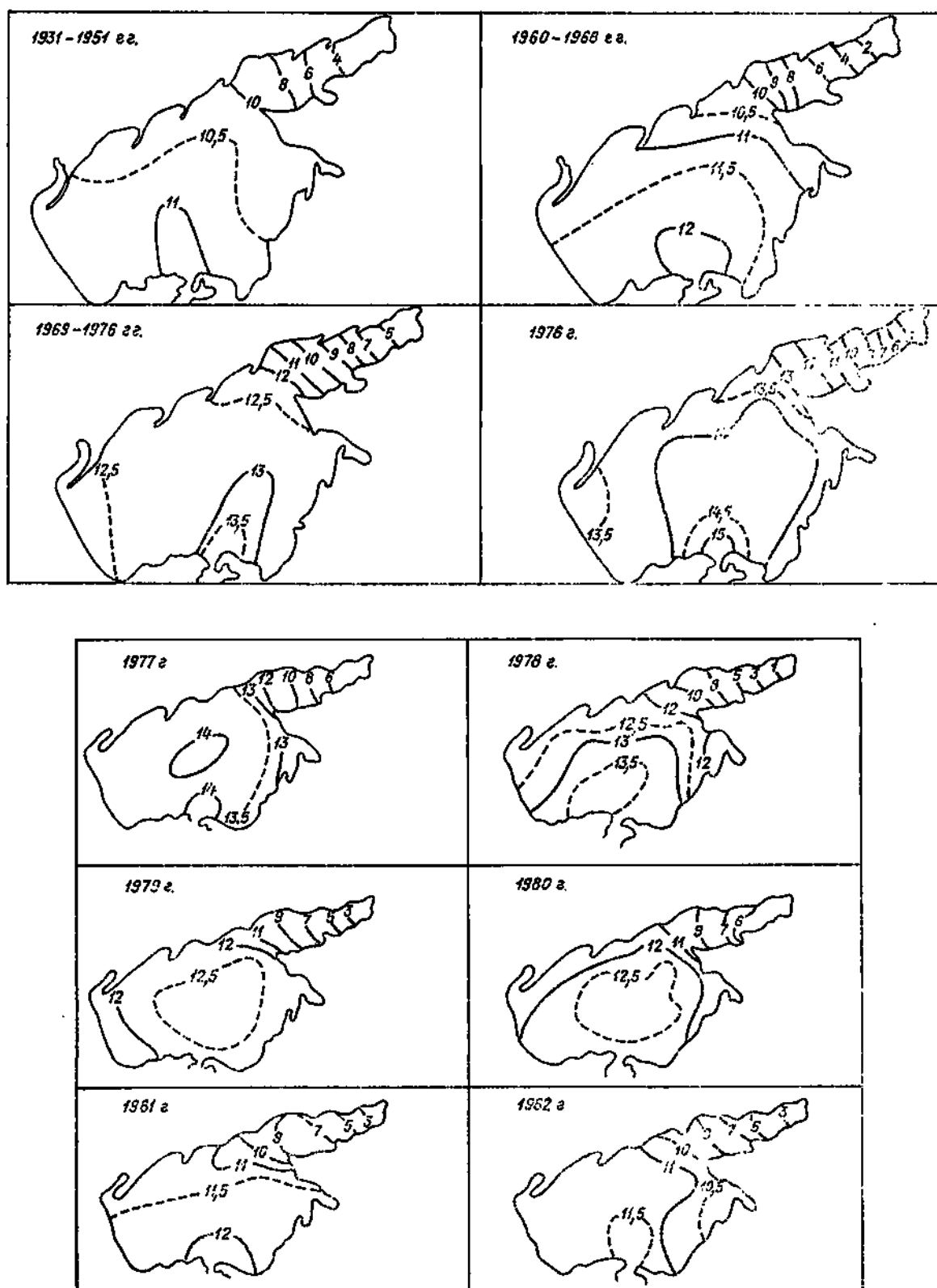


Рис. 3.13. Пространственное распределение солености (‰) в Азовском море в различные периоды.

меньшие сезонные изменения солености отмечаются в предпроливном Керченском районе (район III) и в районе V, занимающем большую часть центрального района открытого моря. В этих районах наблюдается наиболее высокая по морю средняя соленость, общий диапазон изменения солености сужен по сравнению с таковым в других районах (табл. 3.13 и 3.14). Весьма большие значения

средней солености наблюдаются в юго-восточной части Азовского моря (район II), что объясняется близостью Керченского пролива и слабым распреснением вод на приглубом устьевом взморье Кубани.

Вертикальное распределение солености на большей части акватории Азовского моря весьма однородно. Это объясняется мелководностью моря,



Таблица 3.11

## Изменения солености (‰) вод Азовского моря за 1960—1981 гг. по сезонам

| Статистическая характеристика     | Район       |             |             |             |             |            |            |            |            |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
|                                   | I           | II          | III         | IV          | V           | VI         | VII        | VIII       | IX         |
| Зима                              |             |             |             |             |             |            |            |            |            |
| Среднее                           | 11,99       | 12,79       | 13,04       | 11,89       | 12,57       | 11,46      | 9,72       | 7,64       | 6,29       |
| Дисперсия                         | 0,832       | 0,588       | 0,948       | 1,090       | 0,440       | 3,693      | 3,599      | 5,155      | 9,355      |
| Среднее квадратическое отклонение | 0,912       | 0,767       | 0,974       | 1,044       | 0,663       | 1,922      | 1,897      | 2,270      | 3,059      |
| $s_r$ %                           | 7,6         | 6,0         | 7,5         | 8,8         | 5,3         | 16,8       | 19,5       | 29,7       | 48,6       |
| Доверительный интервал            | 10,16—13,81 | 11,25—14,32 | 11,09—14,99 | 9,80—13,98  | 11,25—13,90 | 7,62—15,31 | 5,92—13,51 | 3,10—12,18 | 0,18—12,41 |
| Минимальное значение              | 10,00       | 11,35       | 10,66       | 10,19       | 11,05       | 0,0        | 5,76       | 5,04       | 2,23       |
| Максимальное значение             | 13,11       | 13,81       | 16,85       | 13,35       | 13,81       | 13,56      | 12,24      | 11,10      | 9,78       |
| Весна                             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |
| Среднее                           | 11,78       | 12,33       | 13,04       | 12,06       | 12,54       | 11,92      | 9,70       | 7,46       | 4,56       |
| Дисперсия                         | 0,785       | 1,464       | 1,654       | 0,474       | 0,582       | 1,347      | 11,200     | 10,510     | 4,657      |
| Среднее квадратическое отклонение | 0,886       | 1,210       | 1,286       | 0,688       | 0,763       | 1,160      | 3,347      | 3,242      | 2,158      |
| $s_r$ %                           | 7,5         | 9,8         | 9,9         | 5,7         | 6,1         | 9,7        | 34,5       | 43,5       | 47,3       |
| Доверительный интервал            | 10,09—13,64 | 9,91—14,75  | 10,47—15,62 | 10,69—13,44 | 11,02—14,07 | 9,60—14,24 | 3,01—16,39 | 0,97—13,94 | 0,24—8,87  |
| Минимальное значение              | 10,32       | 7,45        | 11,09       | 10,14       | 10,43       | 8,99       | 1,74       | 1,74       | 0,50       |
| Максимальное значение             | 13,92       | 14,35       | 16,61       | 13,30       | 14,85       | 14,51      | 14,14      | 13,85      | 9,83       |
| Лето                              |             |             |             |             |             |            |            |            |            |
| Среднее                           | 11,69       | 12,74       | 13,04       | 12,34       | 12,57       | 12,00      | 10,14      | 6,92       | 4,45       |
| Дисперсия                         | 1,075       | 1,112       | 2,361       | 1,282       | 0,735       | 2,518      | 5,898      | 5,436      | 8,262      |
| Среднее квадратическое отклонение | 1,037       | 1,055       | 1,536       | 1,132       | 0,857       | 1,587      | 2,429      | 2,331      | 2,874      |
| $s_r$ %                           | 8,9         | 8,3         | 11,8        | 9,2         | 6,8         | 13,2       | 23,9       | 33,7       | 64,5       |
| Доверительный интервал            | 9,62—13,77  | 10,63—14,85 | 9,97—16,11  | 10,07—14,60 | 10,86—14,29 | 8,82—15,17 | 5,28—15,00 | 2,26—11,58 | 1,29—10,20 |
| Минимальное значение              | 8,74        | 7,02        | 11,02       | 9,94        | 10,46       | 5,59       | 2,96       | 2,20       | 0,27       |
| Максимальное значение             | 13,65       | 14,80       | 17,27       | 14,03       | 14,80       | 14,26      | 14,08      | 12,45      | 12,25      |
| Осень                             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |
| Среднее                           | 11,75       | 12,14       | 13,08       | 11,62       | 12,68       | 12,12      | 10,35      | 7,87       | 4,76       |
| Дисперсия                         | 1,144       | 1,29        | 4,786       | 1,590       | 0,770       | 1,333      | 3,667      | 6,849      | 6,862      |
| Среднее квадратическое отклонение | 1,070       | 1,136       | 2,188       | 1,261       | 0,877       | 1,154      | 1,912      | 2,617      | 2,620      |
| $s_r$ %                           | 9,1         | 9,4         | 16,7        | 10,8        | 6,9         | 9,5        | 18,5       | 33,2       | 55,0       |
| Доверительный интервал            | 19,61—13,89 | 9,86—14,41  | 8,71—17,46  | 9,09—14,14  | 10,92—14,43 | 9,82—14,43 | 6,52—14,17 | 2,63—13,10 | 0,47—10,00 |
| Минимальное значение              | 10,05       | 9,46        | 11,63       | 7,18        | 9,46        | 9,64       | 6,04       | 0,0        | 0,59       |
| Максимальное значение             | 14,51       | 14,51       | 17,40       | 13,45       | 16,72       | 14,08      | 13,44      | 12,95      | 11,09      |

Таблица 3.12

## Распределение (%) вероятностных характеристик значений солености по сезонам в районе IX за 1960—1981 гг.

| Сезон | Соленость, ‰ |          |          |          |          |          |          |          |          |           |            |            |
|-------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|
|       | 0,3—1,3      | 1,31—2,3 | 2,31—3,3 | 3,31—4,3 | 4,31—5,3 | 5,31—6,3 | 6,31—7,3 | 7,31—8,3 | 8,31—9,3 | 9,31—10,3 | 10,31—11,3 | 11,31—12,3 |
| Зима  | —            | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —        | —         | —          | —          |
| Весна | 4            | 10       | 30       | 15       | 13       | 10       | 8        | 6        | 3        | 1         | 0          | 0          |
| Лето  | 16           | 15       | 14       | 12       | 12       | 11       | 6        | 4        | 4        | 3         | 2          | 1          |
| Осень | 11           | 14       | 17       | 14       | 10       | 8        | 7        | 6        | 5        | 4         | 3          | 1          |

Таблица 3.13

## Распределение (%) вероятностных характеристик значений солености в районе III по сезонам за 1960—1981 гг.

| Сезон | Соленость, ‰ |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|       | 11,2—11,7    | 11,71—12,2 | 12,21—12,7 | 12,71—13,2 | 13,21—13,7 | 13,71—14,2 | 14,21—14,7 | 14,71—15,2 | 15,21—15,7 | 15,71—16,2 | 16,21—16,7 | 16,71—17,2 |
| Зима  | 10           | 4          | 7          | 12         | 60         | 4          | 1          | 2          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Весна | 15           | 3          | 10         | 14         | 22         | 17         | 11         | 3          | 1          | 2          | 2          | 0          |
| Лето  | 13           | 13         | 28         | 8          | 10         | 12         | 11         | 1          | 1          | 1          | 1          | 1          |
| Осень | 5            | 7          | 35         | 5          | 20         | 4          | 13         | 4          | 4          | 3          | 0          | 0          |

Таблица 3.14

Распределение (%) вероятностных характеристик значений солёности в районе V Азовского моря в различные сезоны

| Сезон                             | Солёность, ‰ |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                   | 10,2—10,7    | 10,71—11,2 | 11,21—11,7 | 11,71—12,2 | 12,21—12,7 | 12,71—13,2 | 13,21—13,7 | 13,71—14,2 | 14,21—14,7 |
| 1960—1981 гг.                     |              |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Зима                              | 0            | 0          | 8          | 18         | 22         | 24         | 23         | 5          | 0          |
| Весна                             | 0            | 1          | 5          | 18         | 22         | 21         | 18         | 18         | 4          |
| Лето                              | 0            | 3          | 5          | 25         | 22         | 17         | 14         | 10         | 4          |
| Осень                             | 0            | 4          | 4          | 10         | 23         | 26         | 17         | 10         | 5          |
| Многоводный период, 1977—1981 гг. |              |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Зима                              | 0            | 0          | 0          | 0          | 33         | 49         | 15         | 3          | 0          |
| Весна                             | 0            | 1          | 4          | 7          | 14         | 20         | 26         | 22         | 6          |
| Лето                              | 0            | 0          | 9          | 16         | 21         | 24         | 19         | 11         | 1          |
| Осень                             | 5            | 7          | 8          | 11         | 43         | 17         | 7          | 2          | 0          |
| Маловодный период, 1972—1976 гг.  |              |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Зима                              | 0            | 0          | 0          | 0          | 0          | 43         | 57         | 0          | 0          |
| Весна                             | 0            | 0          | 5          | 10         | 31         | 37         | 16         | 1          | 0          |
| Лето                              | 0            | 0          | 0          | 2          | 11         | 26         | 41         | 16         | 4          |
| Осень                             | 0            | 0          | 0          | 0          | 12         | 21         | 25         | 40         | 2          |

что приводит к полному ветро-волновому перемешиванию всей толщи вод уже при умеренной скорости ветра. Даже в зонах активного смешения речных и морских вод в Таганрогском и Темрюкском заливах и азовских и черноморских вод в предпроливном Керченском районе, несмотря на наличие больших горизонтальных градиентов солёности, в большинстве случаев вертикальные профили солёности существенно выравниваются уже на небольшом расстоянии от зоны непосредственного контакта смешиваемых вод.

Такие ситуации преобладают в Азовском море, однако в отдельные промежутки времени при оп-

Таблица 3.15

Наибольшие измеренные разности солёности вод в поверхностном и придонном слоях Азовского моря по районам

| Район | Год  | Сезон | Разность<br>солёности,<br>‰ | Район | Год  | Сезон | Разность<br>солёности,<br>‰ |
|-------|------|-------|-----------------------------|-------|------|-------|-----------------------------|
| I     | 1962 | Лето  | 1,6                         | VII   | 1968 | Лето  | 3,8                         |
|       | 1964 | Осень | 1,6                         |       | 1968 | Осень | 1,6                         |
| II    | 1972 | Весна | 3,5                         | VIII  | 1971 | Лето  | 2,6                         |
|       | 1976 | Лето  | 6,3                         |       | 1975 | Осень | 1,3                         |
| III   | 1977 | Весна | 5,1                         | IX    | 1976 | Осень | 2,2                         |
|       | 1980 | Весна | 9,0                         |       | 1977 | Осень | 1,5                         |
| IV    | 1961 | Весна | 3,3                         | X     | 1978 | Весна | 2,1                         |
|       | 1962 | Весна | 2,5                         |       | 1979 | Осень | 2,1                         |
| V     | 1963 | Зима  | 2,2                         | XI    | 1963 | Весна | 3,1                         |
|       | 1965 | Зима  | 4,8                         |       | 1963 | Лето  | 1,5                         |
| VI    | 1970 | Лето  | 4,5                         | XII   | 1965 | Лето  | 2,4                         |
|       | 1972 | Весна | 2,1                         |       | 1971 | Лето  | 2,4                         |
| VII   | 1975 | Лето  | 3,2                         | XIII  | 1973 | Лето  | 1,6                         |
|       | 1976 | Лето  | 2,4                         |       | 1975 | Лето  | 1,8                         |
| VIII  | 1979 | Лето  | 3,1                         | XIV   | 1975 | Осень | 3,4                         |
|       | 1979 | Осень | 2,2                         |       | 1976 | Осень | 2,1                         |
| IX    | 1980 | Осень | 3,2                         | XV    | 1969 | Весна | 3,2                         |
|       | 1962 | Весна | 2,6                         |       | 1973 | Лето  | 1,9                         |
| X     | 1968 | Осень | 1,8                         | XVI   | 1975 | Лето  | 1,6                         |
|       | 1969 | Осень | 3,5                         |       | 1975 | Осень | 5,1                         |
| XI    | 1961 | Зима  | 1,8                         | XVII  | 1976 | Осень | 3,3                         |
|       | 1969 | Осень | 2,2                         |       | 1978 | Весна | 1,7                         |
| XII   | 1970 | Весна | 3,4                         | XVIII | 1979 | Весна | 2,1                         |
|       | 1979 | Осень | 2,1                         |       | 1979 | Осень | 5,2                         |
| XIII  | 1961 | Весна | 1,4                         | XIX   | 1961 | Весна | 1,4                         |
|       | 1963 | Лето  | 4,4                         |       | 1963 | Лето  | 4,4                         |

ределённых условиях могут возникать весьма большие вертикальные градиенты солёности (табл. 3.15). Так, например, в IX районе (вершина Таганрогского залива) осенью 1975 и 1976 гг. разность между солёностью в поверхностном и придонном слоях составляла свыше 5 ‰. В центральной и западной частях Таганрогского залива (районы VIII и VII) вертикальные разности солёности достигают 3—4,5 ‰, в предпроливном Керченском районе 4,5—4,8 ‰. В центральной части моря (V район) измеренная разность составляла 3,5 ‰.

Наиболее часто большие вертикальные градиенты солёности отмечаются в Темрюкском заливе (II район), где воды Кубани выносятся на приглубое устьевое взморье. Весной 1980 г. здесь разность солёности у поверхности и у дна достигала 9 ‰.

Вероятно, максимальные вертикальные градиенты солёности, формирующиеся зимой в Таганрогском и Темрюкском заливах при наличии сплошного ледяного покрова в случае, когда ветро-волновое перемешивание отсутствует и пресные речные воды подо льдом покрывают нижележащие осолоненные слои воды, могут значительно превосходить вышеприведенные значения. Однако данных о вертикальном распределении солёности зимой в этих районах практически нет. Средние же значения разности солёности в поверхностном и придонном слоях в этих районах составляют округленно 0,4—0,6 ‰. Во всех остальных районах моря они заведомо меньше.

### 3.4. Плотность и устойчивость вод

Средняя плотность вод Азовского моря невелика по сравнению с плотностью океанских вод и изменяется от 1,001 г/см<sup>3</sup> в распресненных районах до 1,012 г/см<sup>3</sup> в зоне наибольшего влияния черноморских вод. Средняя плотность имеет отчетливо выраженный годовой ход, определяемый в основном годовым ходом температуры воды.

Пространственное распределение плотности находится в прямой зависимости от интенсивности адвекции речных вод в устьевых районах Дона и Кубани и черноморских вод в районе Керченского пролива, а также от гидрометеорологических условий над акваторией моря.

Вертикальные изменения плотности для среднемесячных значений, как правило, невелики и не превышают 1,0 ед. условной плотности от поверхности до дна.

Вследствие небольших глубин Азовского моря в дальнейшем для характеристики вертикального распределения плотности будем пользоваться значением ее разности от поверхности до дна.

Наибольших значений вертикальные градиенты плотности достигают в наиболее активных районах — Таганрогском заливе, устьевом взморье Кубани и районе, прилегающем к Керченскому проливу.

Так, в апреле наибольшие вертикальные градиенты плотности приурочены к Таганрогскому заливу и западной части моря (1,0 ед. условной плотности) и связаны с опресняющим поверхностные воды влиянием стока Дона и процессов ледотаяния.

В июле высокие градиенты сохраняются в Таганрогском заливе и предустьевом взморье Кубани

и связаны с опресняющим влиянием повышенного речного стока.

Октябрь характеризуется малоградиентным полем с относительно высокими (порядка 0,5 ед.) значениями градиентов условной плотности в районе, прилегающем к Керченскому проливу, за счет влияния высокосоленных черноморских вод, распространяющихся в придонном слое.

Состояние вертикальной устойчивости вод моря определяется изменениями температурного фона, вертикального распределения солёности (для районов адвекции речных и черноморских вод), а также ветровой активности, способствующей выравниванию характеристик практически всей толщи вод Азовского моря. О многолетних изменениях устойчивости вод дано представление табл. 3.16. В мно-

Таблица 3.16

Динамика устойчивости вод в Азовском море

| Год  | Азовское море в целом |       |           | Собственно Азовское море |       |           | Таганрогский залив |       |           |
|------|-----------------------|-------|-----------|--------------------------|-------|-----------|--------------------|-------|-----------|
|      | $E_t$                 | $E_s$ | $E_{общ}$ | $E_t$                    | $E_s$ | $E_{общ}$ | $E_t$              | $E_s$ | $E_{общ}$ |
| 1961 | 443                   | 390   | 833       | 530                      | 264   | 794       | —95                | 1159  | 1064      |
| 1962 | 417                   | 1574  | 1991      | 502                      | 803   | 1305      | —107               | 6296  | 6189      |
| 1963 | 1271                  | 3640  | 4911      | 1365                     | 2724  | 4089      | 1379               | 9250  | 10629     |
| 1964 | 912                   | 2901  | 3813      | 767                      | 2427  | 3194      | 1801               | 5809  | 7610      |
| 1965 | 1367                  | 1485  | 2852      | 1308                     | 1129  | 2437      | 1724               | 3610  | 5394      |
| 1966 | 1266                  | 2584  | 3850      | 1293                     | 2154  | 3447      | 1097               | 5225  | 6322      |
| 1967 | 1207                  | 1217  | 2424      | 1275                     | 664   | 1939      | 792                | 4606  | 5400      |
| 1968 | 158                   | 979   | 1137      | 156                      | 801   | 957       | 169                | 2070  | 2239      |
| 1969 | 802                   | 1041  | 1843      | 789                      | 689   | 1478      | 881                | 3204  | 4085      |
| 1970 | 405                   | 1724  | 2129      | 283                      | 1105  | 1388      | 1156               | 5522  | 6678      |
| 1971 | 882                   | 2222  | 3104      | 749                      | 1534  | 2283      | 1698               | 6442  | 8140      |
| 1972 | 761                   | 1928  | 2689      | 752                      | 1369  | 2121      | 814                | 5356  | 6170      |
| 1973 | 899                   | 1825  | 2724      | 702                      | 645   | 1347      | 2107               | 9067  | 11174     |
| 1974 | 661                   | 2034  | 2895      | 685                      | 1956  | 2641      | 510                | 2513  | 3023      |
| 1975 | 1488                  | 2024  | 3512      | 1627                     | 1299  | 2926      | 636                | 6471  | 7107      |
| 1976 | 611                   | 3219  | 3830      | 637                      | 2306  | 2943      | 445                | 8818  | 9263      |
| 1977 | 1686                  | 2977  | 4363      | 1718                     | 2577  | 4295      | 1425               | 8032  | 9527      |
| 1978 | 1244                  | 1203  | 2447      | 1368                     | 1044  | 2412      | 488                | 2181  | 2669      |
| 1979 | 589                   | 2643  | 3232      | 601                      | 2332  | 2933      | 514                | 4267  | 4781      |
| 1980 | 647                   | 2607  | 3254      | 680                      | 2102  | 2782      | 623                | 5555  | 6178      |
| 1981 | 1437                  | 2827  | 4264      | 1318                     | 1906  | 3224      | 2165               | 8474  | 10639     |

голетних колебаниях общей среднегодовой устойчивости собственно Азовского моря отчетливо прослеживаются два периода повышенных значений (1963—1966 и 1974—1981 гг.,  $E=3292$  и 3195 ед.) и один семилетний период пониженных значений (1967—1973 гг.,  $E=1644$  ед.).

Устойчивость вод Таганрогского залива значительно устойчивее вод открытого моря. Выделенные для моря характерные периоды проявляются здесь не столь отчетливо. В целом в Таганрогском заливе с 1965 по 1969 г. отмечались пониженные значения устойчивости ( $E=4688$  ед.), а в дальнейшем ее повышенные значения ( $E=7112$  ед.), однако внутри этого периода отмечаются годы (1974, 1978, 1979) резко пониженных значений.

Обращает на себя внимание, что солёностная составляющая устойчивости, как правило, выше температурной составляющей. Особенно резко это явление заметно в Таганрогском заливе, где солёностная составляющая общей устойчивости в 4—5 раз превышает температурную составляющую.

### 3.5. Цвет и прозрачность Азовского моря

Данный раздел составлен по данным работ [39] и [40], а также Морских гидрометеорологических ежемесячников Черного и Азовского морей до 1975 г. и аналогичных ежегодников после 1975 г. В [39] обработаны данные 1190 наблюдений, выполненных диском прозрачности с 1960 по 1976 г.

Для Азовского моря характерна небольшая прозрачность — 1,5—3,5 м. Изменение прозрачности сильно связано с речным стоком, волнением, наличием планктона, а мелководность моря приводит к тому, что даже при небольшом волнении прозрачность моря резко уменьшается из-за взмучивания донного ила.

В табл. 3.17 приведена повторяемость прозрачности по данным [32], в табл. 3.18 — максималь-

Таблица 3.17

Повторяемость (%) прозрачности в разных районах Азовского моря

| Прозрачность, м | Таганрогский залив | Район Азовского моря |             |          |
|-----------------|--------------------|----------------------|-------------|----------|
|                 |                    | восточный            | центральный | западный |
| 8,9—8,5         |                    |                      | 1           |          |
| 8,4—8,0         |                    |                      | 1           |          |
| 7,9—7,5         |                    |                      | 1           | 1        |
| 7,4—7,0         |                    | 1                    | 1           | 1        |
| 6,9—6,5         |                    | 1                    | 1           | 2        |
| 6,4—6,0         |                    | 1                    | 1           | 2        |
| 5,9—5,5         | 1                  | 1                    | 2           | 2        |
| 5,4—5,0         | 1                  | 1                    | 3           | 3        |
| 4,9—4,5         | 1                  | 2                    | 4           | 3        |
| 4,4—4,0         | 1                  | 5                    | 4           | 4        |
| 3,9—3,5         | 1                  | 5                    | 6           | 6        |
| 3,4—3,0         | 1                  | 9                    | 16          | 14       |
| 2,9—2,5         | 2                  | 12                   | 15          | 16       |
| 2,4—2,0         | 5                  | 16                   | 14          | 21       |
| 1,9—1,5         | 7                  | 16                   | 14          | 10       |
| 1,4—1,0         | 20                 | 13                   | 10          | 7        |
| 0,9—0,5         | 32                 | 9                    | 6           | 4        |
| 0,4—0,0         | 32                 | 9                    | 3           | 3        |

Таблица 3.18

Экстремальные и средние значения прозрачности (м) в различных районах Азовского моря

| Прозрачность | Таганрогский залив | Район Азовского моря |             |          |
|--------------|--------------------|----------------------|-------------|----------|
|              |                    | восточный            | центральный | западный |
| Максимальная | 5,6                | 7,0                  | 8,5         | 8,0      |
| Минимальная  | 0,1                | 0,1                  | 0,5         | 0,1      |
| Средняя      | 0,8                | 2,1                  | 3,0         | 3,0      |

ные, минимальные и средние значения прозрачности в различных районах моря (рис. 3.14). По тем же данным составлена карта среднегодового распределения прозрачности (см. рис. 3.14). Как видно, прозрачность моря увеличивается от Таганрогского залива к Керченскому проливу.

В Таганрогском заливе прозрачность почти в 70 % случаев не бывает больше 1 м. Средняя прозрачность увеличивается от 0,3 м в вершине залива до 1,2 м на входе в залив. Здесь особенно сильно сказывается влияние стока Дона и взмучивания ила со дна.

В восточном районе моря вода более прозрачная. Почти в 70 % случаев прозрачность достигает

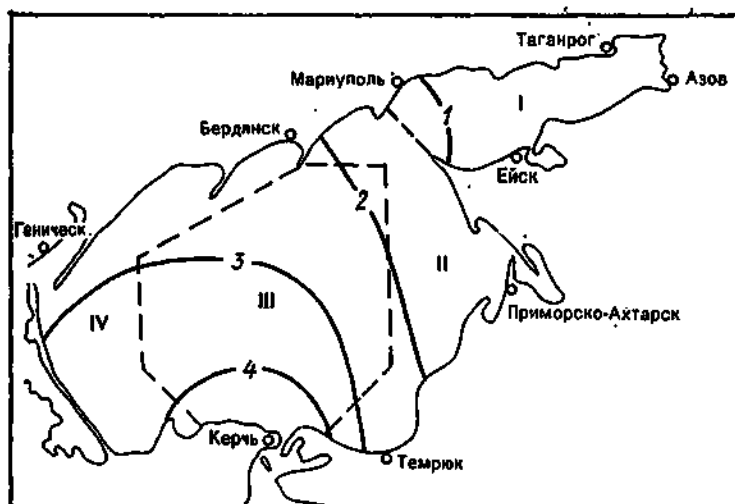


Рис. 3.14. Карта распределения средних многолетних значений прозрачности (м).

здесь 1,5 м. Летом сильное влияние на прозрачность оказывает паводок Кубани. Из-за мелководности района в периоды волнения прозрачность может уменьшаться практически до нуля.

В западном районе прозрачность несколько выше, чем в восточном, но в холодное полугодие при усилении восточных ветров и соответственно волнения она может уменьшиться до 2 м.

Наибольшая прозрачность отмечается в центральном районе. В 70 % случаев она превышает 2 м, а в южной части района может достигать 8,5 м.

Представляет определенный интерес и сезонное распределение прозрачности, приведенное на рис. 3.15 [40]. Естественно, что сезонное изменение прозрачности моря определяется сезонным характером ветровой деятельности и развитием планктона. В периоды усиления штормов (осенью и зимой) прозрачность уменьшается из-за взмучивания донного ила. В периоды более спокойной погоды (весной и летом) взмучивание ила мало, но развивается планктон, уменьшающий прозрачность. Кроме того, в это время увеличивается и речной сток мутных вод, также уменьшающий прозрачность.

Зимой (см. рис. 3.15 а) прибрежные районы моря покрыты припайным льдом, и данные о прозрачности имеются только для центрального района. Здесь прозрачность находится в пределах 1,5–2,5 м, увеличиваясь к Керченскому проливу до 7–8 м.

Весной (см. рис. 3.15 б) интенсивно развивается планктон, усиливается сток рек, что создает следующее распределение прозрачности: в Таганрогском заливе прозрачность уменьшается до 0,3 м, а в южной части моря она достигает 6 м. Общая картина распределения прозрачности напоминает зимнюю, но абсолютные величины возрастают. Цвет моря изменяется от желто-коричневого (устье Дона) до голубовато-зеленого (Керченский пролив). В восточном районе общая прозрачность составляет около 1,5 м (с уменьшением на севере до 0,8 м и увеличением на юге до 2,6 м). В западном районе прозрачность колеблется от 1,1 до 2,4 м. В северной части этих районов преобладает зелено-бурый цвет, в южной — зеленый.

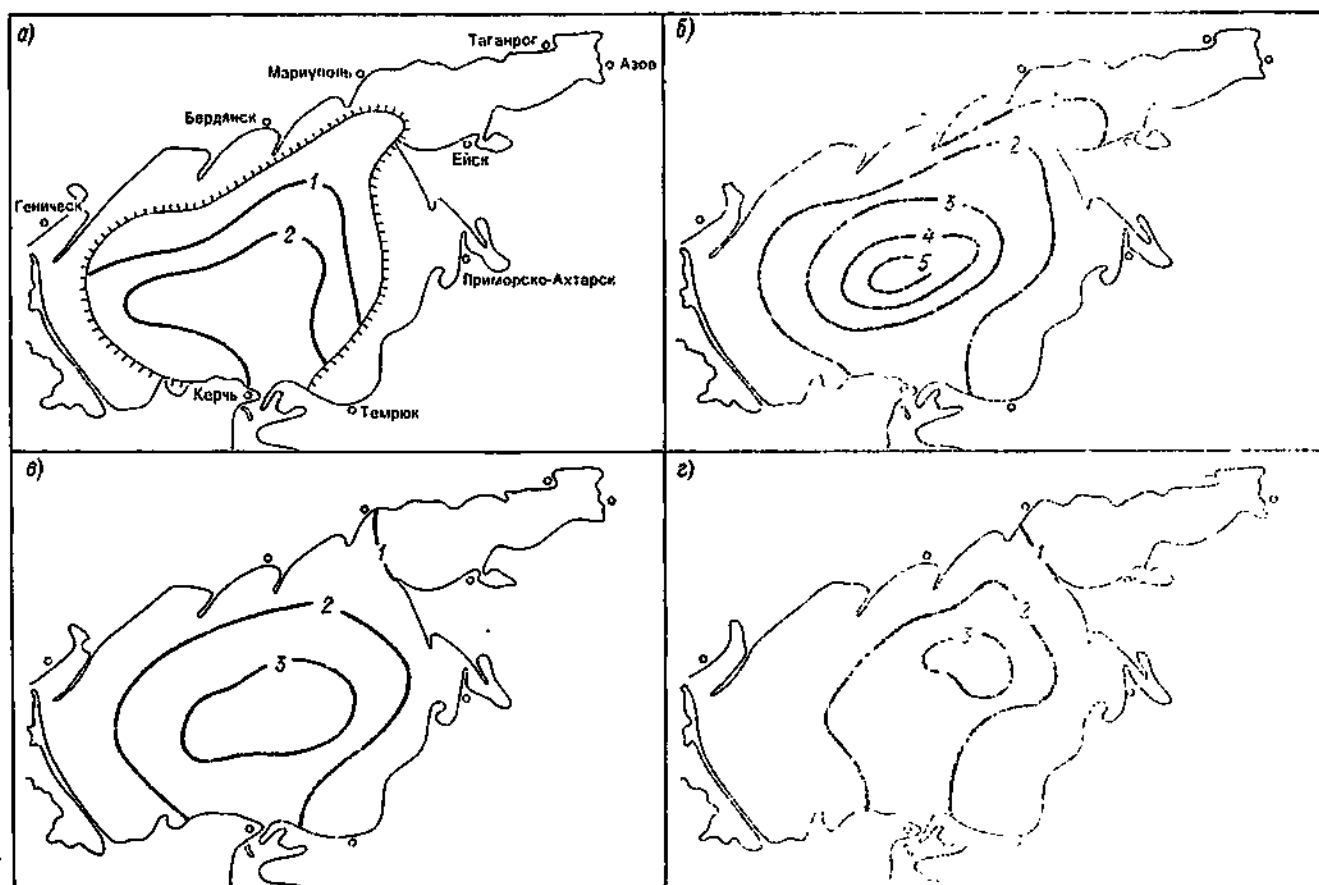


Рис. 3.15. Распределение прозрачности (м) в море зимой (а), весной (б), летом (в) и осенью (г).

Летом (рис. 3.15 а) прозрачность по сравнению с прозрачностью весной практически не изменяется. Из-за более спокойной погоды распределение прозрачности более однородное. В результате сильного развития планктона в Таганрогском заливе преобладают воды зеленого цвета, а в открытой части — желто-бурого со средней прозрачностью 0,7 м. В восточном районе прозрачность изменяется от 0,7 м в его северной части до 2,4 м в южной. При увеличении стока Кубани цвет моря приближается к светло-коричневому. В западном районе прозрачность изменяется от 0,7 м в северной части до 2,6 м в центральной. Цвет изменяется от желто-зеленого до зеленого. В центральном районе наблюдается максимальная прозрачность моря — 8,0 м, а преобладает прозрачность 2,0 м.

Осенью (см. рис. 3.15 б) область повышенной прозрачности смещается к северо-востоку. Преобладающие в это время шторма восточных румбов определяют прозрачность воды менее 2,0 м и ее желто-зеленый цвет. В Таганрогском заливе прозрачность воды изменяется от 0,4 до 0,8 м, а ее цвет — от желто-коричневого (в вершине залива) до мутно-желтого (на выходе в море). В восточном районе прозрачность воды относительно высока: от 0,7 м в его северной части до 3,0 м в центральной (с преобладанием 1,5 м), и она имеет коричнево-желтый цвет. В западном районе прозрачность практически однородна — 0,5 м (максимум 1,9 м). Цвет моря мутно-желтый, а в Арабатском заливе — коричнево-желтый. В центральном районе моря преобладает прозрачность 1,5 м (максимум 3,6 м в его восточной части).

Таким образом, прозрачность моря в течение года изменяется от 0,3 м (Таганрогский залив) до 8,5 м (Керченский пролив). Наиболее характерная для всего моря прозрачность составляет 1,5 м. Годовой ход прозрачности в море характеризуют средние для центрального района значения по сезонам: зимой — 1,7 м, весной — 2,7 м, летом — 2,3 м, осенью — 2,0 м.

### 3.6. Уровень моря

На Азовском море можно выделить два основных вида колебаний уровня: объемные многолетние и сезонные и децивеляционные сгонно-нагонные и сейшевые.

Многолетние, сезонные и сгонно-нагонные колебания уровня моря по данным многолетних наблюдений и расчетам водного баланса рассматриваются в работах [40, 74, 85]. Сейшевым колебаниям уровня моря посвящены специальные работы Г. С. Иванова [42] и И. В. Курчатова [50]. Выделение районов с однородной изменчивостью уровня Азовского моря выполнено Л. А. Фомичевой [85].

Среди работ прогностического направления, основанных на установлении эмпирических зависимостей между колебаниями уровня моря и метеорологическими факторами, следует назвать работы А. И. Каракаша [43], Л. Н. Кропачева [49], О. И. Шереметевской [90, 91].

Исследования в области статистических методов краткосрочных прогнозов непериодических колебаний уровня Азовского моря были выполнены В. Х. Германом [34, 36, 38]. Численному мо-

делированию сгонно-нагонных явлений посвящены публикации И. Ф. Кириллова [44, 45], С. Н. Овсиенко [54, 55], В. П. Белова и Ю. Г. Филиппова [18, 19].

Исследования, результаты которых обсуждаются в настоящей главе, основаны как на обобщении и анализе материалов многолетних наблюдений за уровнем, так и на результатах численного моделирования динамической структуры Азовского моря. Подобное сочетание двух различных методических подходов: эмпирического и расчетно-теоретического — позволило получить информацию о режиме уровня на всей акватории водоема, включая открытое море и участки побережья, не обеспеченные мареографными или срочными наблюдениями.

#### 3.6.1. Многолетние и сезонные колебания уровня моря

При изучении этого вида колебаний уровня моря были использованы данные наблюдений на прибрежных пунктах Азовского моря (табл. 3.19) за весь период наблюдений по 1985 г. включительно. Эти данные, содержащиеся в справочниках-ежемесячниках, ежегодниках и каталогах уровенных наблюдений, дополнены сведениями, полученными в последние годы, из таблиц ТГМ-1 и ТГМ-7.

Систематические наблюдения на уровенных постах Керчь, Генничск, Таганрог ведутся с конца XIX в., а с начала XX в. — и на уровенных постах Ейск, Приморско-Ахтарск, Темрюк.

Данные наблюдений отвечают условиям однородности, т. е. они приведены к единой системе высот и обобщены за тот же период 1923—1985 гг.

В настоящее время действует главная высотная основа СССР 1977 г. (ГВО СССР), введенная с 1 января 1979 г. на всей территории СССР и отнесенная к эпохе 1977 г. Для перехода от Балтийской системы высот (БС), принятой ранее, к системе высот 1977 г. вводились поправки, представляющие собой разность между отметками высот реперов в БС и ГВО СССР. Значения этих

Таблица 3.19

Периоды наблюдений и средние уровни Азовского моря по многолетним данным наблюдений на некоторых прибрежных пунктах

| Пункт             | Период наблюдений, годы                               | Средний уровень, см БС |
|-------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| Керчь             | 1873—1879, 1882—1885, 1887—1888, 1893—1941, 1944—1985 | —20                    |
| Опасное           | 1945—1985                                             | —20                    |
| Мысовое           | 1926—1941, 1947—1985                                  | —21                    |
| Генничск          | 1878—1886, 1890—1914, 1916—1919, 1923—1941, 1944—1985 | —20                    |
| Бердянск          | 1923—1941, 1944—1985                                  | —29                    |
| Мариполь          | 1923—1941, 1944—1985                                  | —29                    |
| Таганрог          | 1882—1885, 1887, 1889—1941, 1944—1985                 | —33                    |
| Ейск              | 1915—1920, 1922—1942, 1944—1985                       | —32                    |
| Приморско-Ахтарск | 1916—1919, 1921—1942, 1944—1985                       | —26                    |
| Темрюк            | 1910—1942, 1944, 1946—1985                            | —23                    |

Примечание. Средний уровень в Опасном и Мысовом вычислен за весь период наблюдений, по остальным постам — за 1923—1985 гг.

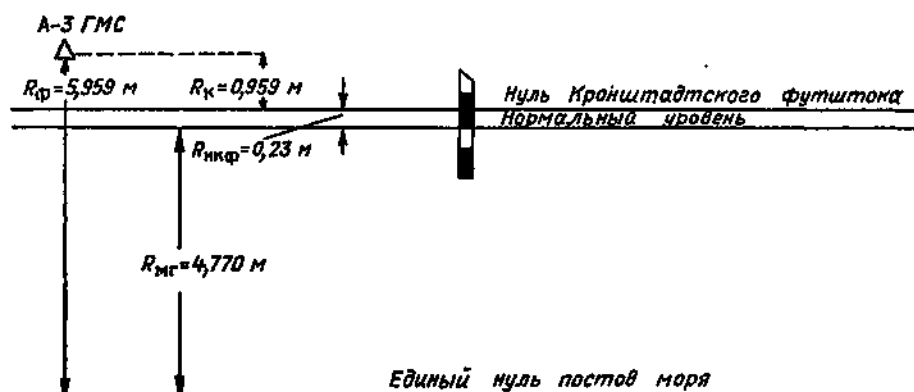


Рис. 3.16. Взаимное положение репера и отсчетных горизонтов уровня поста Керчь.

$R_{\phi}$  — превышение основного репера над нулем поста,  $R_{мг}$  — высота среднего многолетнего уровня над нулем поста,  $R_{нкф}$  — высота среднего многолетнего уровня над нулем Кронштадтского футштока,  $R_k$  — превышение основного репера над нулем Кронштадтского футштока.

поправок в различных пунктах Азовского моря изменяются от 5 до 10 см и имеют положительный знак. Поэтому высоты уровня, приводимые в настоящей работе, отличаются от ранее опубликованных. Высоты уровня даны относительно нуля Кронштадтского футштока (рис. 3.16, табл. 3.20).

За единый нуль постов Азовского моря, который используется для оперативных целей, с 1961 г. принята отметка, равная —5,000 м БС. Для перехода от отметок, помещенных в данном разделе, к единому нулю постов моря необходимо в высоты уровней вводить поправку +5,000 м.

Годовой ход и многолетние колебания уровня Азовского моря обусловлены изменением общего объема воды в море вследствие изменения соотношений между составляющими водного баланса: речным стоком, количеством атмосферных осадков, испарением и водообменом через Керченский пролив с Черным морем.

Основной вклад в приходную часть водного баланса вносят речной сток (41 %) и приток воды из Черного моря (41 %), а в расходную — сток воды в Черное море через Керченский пролив (60 %) и испарение (39 %).

Среди составляющих водного баланса наибольшей изменчивостью от года к году и внутри года отличается речной сток. Размах колебаний годового стока за рассматриваемый период составил

51,6 км<sup>3</sup>, что соответствует изменению уровня на 140 см. В среднем за год материковый сток эквивалентен повышению уровня на 105 см. Обусловленная им разность высот уровня за сезон достигает в многолетнем плане больших значений — до 101 см.

Приток черноморской воды менее изменчив, чем материковый сток. В среднем за год его значение эквивалентно повышению уровня почти на 100 см, минимальный приток составляет 67 см, максимальный — 134 см. Наибольший приток — до 65 % от годового — наблюдается осенью и зимой.

Значительно меньший вклад в приходную часть водного баланса вносят атмосферные осадки, повышающие уровень в среднем на 42 см (27—55 см). Распределение осадков по сезонам относительно равномерное, несколько большее их количество выпадает зимой.

В расходной части водного баланса наиболее изменчивым элементом является сток воды в Черное море, понижающий уровень Азовского моря в среднем за год на 138 см (94—185 см). Колебания уровня за счет стока весной достигают 62 % от годового, в остальные сезоны — до 47 %. Наибольший сток в Черное море наблюдается весной, когда увеличивается избыток пресных вод, поступающих из рек, наименьший сток — летом, когда уменьшается речной сток и значительно возрастает испарение.

Важным элементом расходной части водного баланса Азовского моря является испарение с водной поверхности, которое в среднем за год составляет 91 см (80—103 см). Наибольшего развития испарение достигает летом — в среднем до 53 % годового значения.

Влияние других составляющих водного баланса — водообмен между морем и Сивашем, подземный сток, фильтрация через Арабатскую стрелку, сезонные изменения плотности — на объемные колебания уровня крайне незначительны.

Расчет сезонных приращений уровня производился по формуле

$$\Delta H = 10^5 \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{P}, \quad (3.1)$$

Примечание. Средний уровень по каждому посту вычислен за весь период наблюдений.

Таблица 3.20

Высотные отметки отсчетных горизонтов и реперов уровенных постов, м

| Уровенный пост    | Репер           | $R_{\phi}$ | $R_{мг}$ | $R_{нкф}$ | $R_k$  |
|-------------------|-----------------|------------|----------|-----------|--------|
| Керчь             | А-3 ГМС, ст. рп | 5,959      | 4,770    | —0,23     | 0,959  |
| Опасное           | № 21, ст. рп    | 7,364      | 4,800    | —0,20     | 2,364  |
| Мысовое           | 6/№, гр. рп     | 21,535     | 4,790    | —0,21     | 16,535 |
| Геничск           | № 26, марка     | 8,876      | 4,800    | —0,20     | 3,876  |
| Бердянск          | № 4036, ст. рп  | 6,659      | 4,710    | —0,29     | 1,659  |
| Марнуполь         | № 68, марка     | 7,860      | 4,710    | —0,29     | 2,860  |
| Таганрог          | № 1078, марка   | 9,928      | 4,660    | —0,34     | 4,928  |
| Ейск              | 6/№, марка      | 6,697      | 4,680    | —0,32     | 1,697  |
| Приморско-Ахтарск | 6/№, гр. рп     | 7,972      | 4,730    | —0,27     | 2,972  |
| Темрюк            | № 141, марка    | 6,951      | 4,770    | —0,23     | 1,951  |

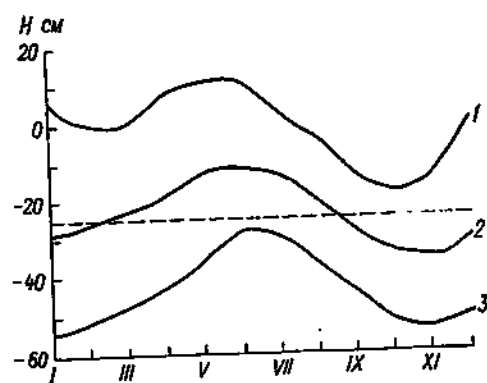


Рис. 3.17. Годовой ход уровня моря. 1923—1985 гг.

1, 2, 3 — соответственно наибольший, средний и наименьший месячные уровни.

где  $\Delta H$  — приращение уровня, см;  $W_i$  — составляющие водного баланса: речной сток, осадки, испарение, сток воды из Азовского моря, приток воды из Черного моря и Сиваша, км<sup>3</sup>;  $F$  — площадь моря, км<sup>2</sup>.

В годовом ходе уровня Азовского моря можно выделить два основных периода: с положительными и отрицательными приращениями уровня моря, когда его значения соответственно выше или ниже среднего многолетнего.

Наиболее высокие уровни наблюдаются летом (—15,0 см) и весной (—17,7 см), когда их значения выше среднего (—25,3 см) на 10,3 и 7,6 см соответственно. Осенью в связи с изменением пресного баланса и увеличением повторяемости северо-восточных ветров, способствующих стоку воды в Черное море, уровень опускается до самых низких отметок (—34,0 см, т. е. на 87 см ниже среднего многолетнего). Зимой уровень несколько выше, чем осенью. Однако его значение (—28,0 см) ниже среднего на 2,7 см. Аналогичный годовой ход имеют наибольшие и наименьшие в ряду лет месячные уровни (рис. 3.17).

Отмеченные сезонные различия в колебаниях уровня Азовского моря отражают преобладающие

тенденции в его годовом ходе, от которых могут быть отклонения. Например, с 1923 по 1985 г. самый высокий уровень отмечался не только летом (56 % от числа случаев) и весной (40 % случаев), но и зимой (4 % случаев), а самый низкий уровень наблюдался не только осенью (67 % случаев) и зимой (24 % случаев), но и весной (9 % случаев). В отдельные годы отметки стояния уровня весной и летом или осенью и зимой оказывались очень близкими между собой. В многолетнем плане среднее значение сезонного хода уровня (см. рис. 3.17) составило 26 см с максимумом летом и минимумом осенью. Наибольшее значение колебаний уровня составило 52 см (1951 г.), наименьшее — 13 см (1976 г.).

Подъем уровня начинается в ноябре—декабре и продолжается до мая—июня. Наиболее интенсивно уровень повышается с марта по май. В мае—июне, после окончания паводка, сток постепенно уменьшается и уровень начинает понижаться. Стояние уровня на отметках выше среднего наблюдается с марта по август, на отметках ниже среднего — с сентября по февраль. Наиболее вероятное время наступления максимумов — май и июнь, минимумов — октябрь и ноябрь.

Средний уровень Азовского моря изменяется не только в течение года, но и от года к году. За период 1923—1985 гг. его максимальное значение (—5,0 см) было отмечено в 1981 г., минимальное (—42,0 см) — в 1949 г., т. е. наибольшее значение колебаний составило 37 см. Межгодовые изменения уровня определяются в основном изменчивостью стока рек Азово-Черноморского бассейна, обусловленной в свою очередь климатическими факторами планетарного масштаба.

В многолетнем ходе среднего уровня Азовского моря и уровня в отдельных пунктах прибрежной зоны (рис. 3.18) наблюдаются периодичности в 2—3, 4—5, 8—10 лет, выделяющиеся на фоне более крупных периодов в 25—30 лет. В среднем промежутке времени между максимумом и последующим минимумом равен 6 годам, а между наиболее высоким и низким стоянием уровня — 18,5 года.

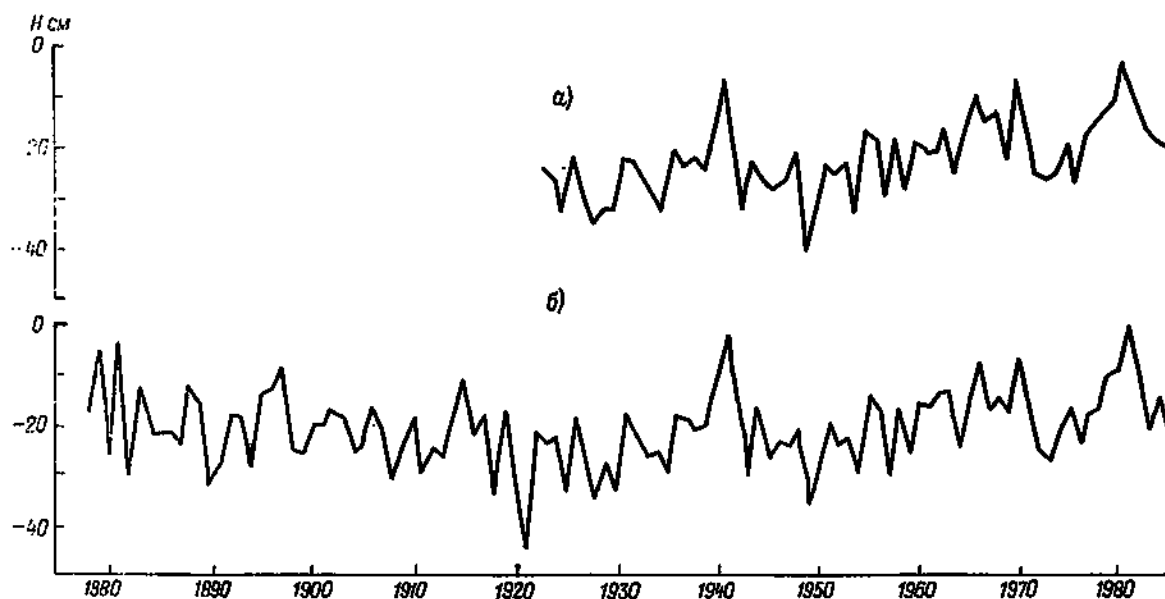


Рис. 3.18. Хронологический ход средней годовой высоты уровня Азовского моря (а) и уровня в районе Генчесска (б).

Отдельные участки кривой многолетнего хода уровня характеризуются наличием однонаправленной тенденции — тренда. С 1878 по 1935 г. уровень моря понижался, а с 1935 по 1985 г. повышался. Коэффициенты тренда для этих периодов соответственно равны 0,184 и 0,107 см/год. Тренд для периода падения уровня составил 10,5 см, для периода подъема — 4,5 см. На отдельных участках величина тренда различная. Так, с 1877 по 1984 г. в ходе уровня заметна тенденция к интенсивному понижению. После наиболее глубокого спада в 1915—1921 гг. отмечаются два периода с тенденцией к повышению. Первый период начинается с минимального (1921 г.) и кончается максимальным (1941 г.) уровнем. Второй период начинается вторым минимумом (1949 г.) и заканчивается вторым максимумом (1970 г.). Продолжительность первого периода составляет 21 год, коэффициент тренда равен 0,70, значение тренда достигает 14 см, для второго периода соответственно: 22 года, 0,83 и 17 см. За период 1923—1941 гг. на фоне циклических изменений среднего уровня моря его значение составило —27,0 см, а за период 1949—1970 гг. —24,0 см. С 1971 по 1985 г. уровень в 73 % случаев имел положительные отклонения от нормы.

### 3.6.2. Сгонно-нагонные и сейшечные колебания уровня моря

На фоне долгопериодных колебаний, связанных с изменением объема вод моря, происходят кратковременные сгонно-нагонные и сейшечные колебания уровня моря. Они возникают под действием ветра, вызывающего развитие ветровых течений и перераспределение масс воды в бассейне. В результате у наветренных берегов образуется нагон, а у подветренных — сгон.

Сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря настолько сильно развиты, что даже в среднем многолетнем масштабе отражаются в наклоне

плоскости поверхности моря вдоль осей симметрии Таганрогского залива и собственно моря. На рис. 3.19 показан наклон уровня по данным наблюдений за 1923—1985 гг. По оси абсцисс отложены расстояния от пунктов наблюдений до вершины Таганрогского залива вдоль осей симметрии, расположенных по азимуту 72° в Таганрогском заливе и 50° в самом море. По оси ординат отложены отметки высот уровня в системе Главной высотной основы СССР 1977 г. (над единым нулем постов Азовского моря, принятым равным —500 см от нуля Кронштадтского футштока).

Как видно из этого рисунка, наклон уровня Азовского моря от вершины Таганрогского залива до Керчи составляет в среднем 16 см. Уравнение наклонной линии имеет следующий вид:

$$Y = 0,00475X + 465;$$

оно может быть также представлено в другом виде:

$$Y = 0,00475(X - X_0) + h_0,$$

где  $Y$  — высота уровня, см;  $X$  — расстояние от рассматриваемого пункта до вершины Таганрогского залива, км;  $X_0$  — расстояние от вершины Таганрогского залива до пункта, избранного в качестве опорного, км;  $h_0$  — отметка уровня моря в этом пункте, см.

Указанный квазистационарный наклон уровня, который отмечался и ранее в работе [68], обуславливается главным образом преобладающими над Азовским морем северо-восточными и восточными ветрами, суммарная повторяемость которых за год составляет 35—45 %, а зимой и осенью 35—52 %.

Сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря имеют вид одноузловой сейши с преобладающей узловой линией, проходящей примерно, как можно предполагать по рис. 3.19, по линии Приморско-Ахтарск—Бердянск. В центральной части моря сгонно-нагонные колебания уровня пе-

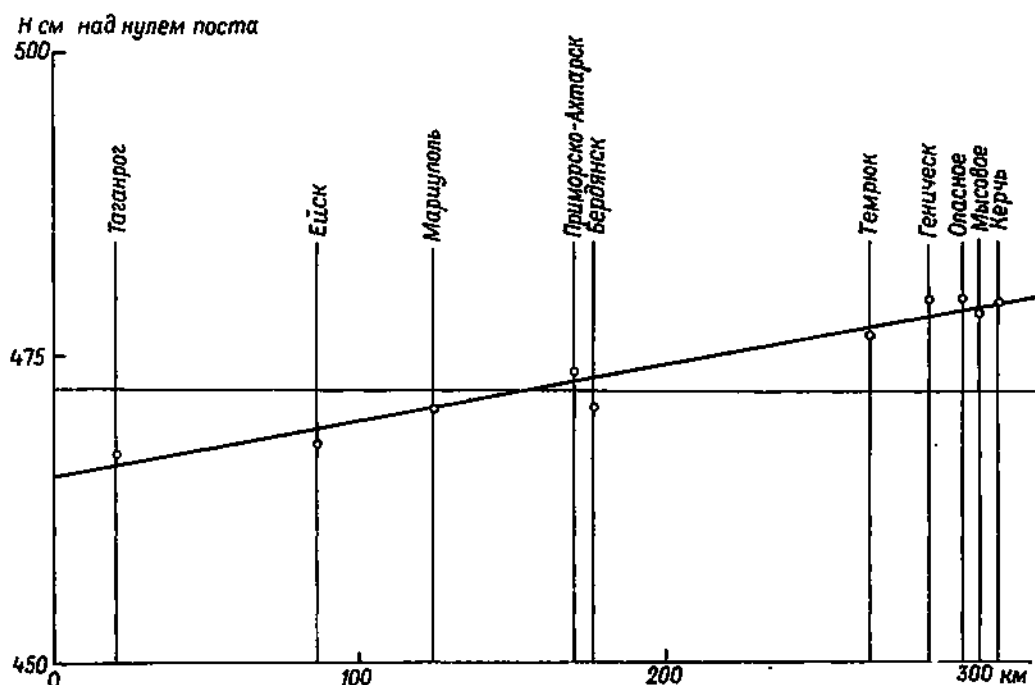


Рис. 3.19. Наклон уровня Азовского моря вдоль оси симметрии.



велики при любых направлениях и скоростях ветра. На местные сгонно-нагонные колебания в различных районах моря влияет ориентация береговой линии относительно господствующих ветров. По сравнению с долгопериодными колебаниями сгонно-нагонные колебания уровня на Азовском море могут достигать очень больших значений и в зависимости от района изменяться от 2,0 м в Бердянске до 6,0 в Таганроге. На юго-восточном побережье в Темрюке при северо-западном шторме в конце октября 1969 г. максимальная высота нагона приближалась к 3,0 м, а по некоторым оценкам, была еще выше.

Изучение сгонно-нагонных процессов имеет поэтому особо важное значение. Наводнения, возникающие при штормовых нагонах, нередко приводят к затоплению обширных участков побережья и причиняют серьезный ущерб народному хозяйству. При сгонах уменьшаются глубины в портах, на барах и судоходных каналах, что осложняет навигационную обстановку. Знание режимных характеристик уровня необходимо при проектировании и эксплуатации гидротехнических, портовых и береговых сооружений, проведении геологической разведки и других видов изысканий в прибрежной зоне и в открытом море.

Важное отличие сгонно-нагонных колебаний уровня от объемных заключается в их быстрой изменчивости во времени и по акватории моря. Между тем число пунктов на побережье, в которых проводятся наблюдения за уровнем, крайне ограничено, и не во всех из них установлены мареографы, обеспечивающие удовлетворительную дискретность измерений во времени. Срочные наблюдения во всех пунктах выполняются только четыре раза в сутки. В подобных условиях резко возрастает вероятность того, что окажутся незафиксированными такие важнейшие характеристики уровня моря, как его экстремальные значения, а графики, полученные на основе срочных наблюдений за ходом уровня, будут существенно отличаться от фактических. Требование Госгидромета СССР о проведении учащенных наблюдений за уровнем моря во время штормов часто не выполняется. Поэтому при исследовании сгонно-нагонных процессов был использован гидродинамический расчетный метод, основанный на интегрировании уравнений «мелкой воды», описанный в работе [18].

При реализации численной схемы акватория моря была аппроксимирована сеточной областью с шагом 9 км. В узлах сетки задавались фактические глубины, скорости и направления ветра. Параметры ветра снимались с карт типовых полей ветра (см. главу 2).

Предварительно для оценки применимости данной численной модели в практических расчетах был выполнен сравнительный анализ наблюдаемых и рассчитанных значений уровня моря. Результаты такого анализа находятся в тесной зависимости от выбора исходной метеорологической информации и ее соответствия фактическим условиям. Этим условиям в наибольшей степени отвечают карты полей ветра, построенные по данным наблюдений прибрежных пунктов Азовского моря. Карты объединялись в серии, отражавшие тенденции в развитии циркуляционных процессов в атмосфере в течение отдельных синоптических периодов. Предпочтение отдавалось периодам с доста-

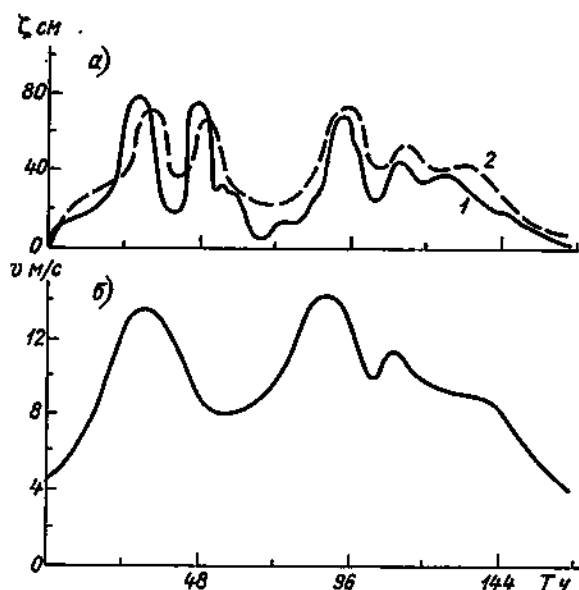


Рис. 3.20. Ход уровня в Приморско-Ахтарске (а) и изменение скорости ветра над акваторией Азовского моря (б) с 6 по 12 февраля 1971 г.

Генеральное направление ветра — западное, с переходами на западо-северо-западное и западо-юго-западное. Наибольшая скорость ветра — 14 м/с; 1 — наблюдаемые уровни, 2 — рассчитанные.

точно устойчивыми и сильными ветрами — от 10 м/с и более.

В процессе сравнительного анализа рассматривались 78 графиков (рис. 3.20) хода уровня в шести прибрежных пунктах в течение 13 периодов с различными ветровыми условиями. Сравнение проводилось по экстремальным значениям, снятым с этих графиков, а разница между его наблюдаемыми  $\zeta_n$  и рассчитанными  $\zeta_p$  характеристиками выражалась относительным отклонением (%):

$$\Delta\zeta = \frac{\zeta_n - \zeta_p}{\zeta_n} \cdot 100.$$

Результаты, полученные при анализе всех графиков в целом, для всех пунктов и периодов, были обобщены и представлены в виде распределения частоты попаданий отклонений  $\Delta\zeta$  в ту или иную градацию (табл. 3.21). При этом зафиксировано всего семь аномально больших отклонений ( $\Delta\zeta > 15\%$ ), объясняемых, по-видимому, неточностями в задании полей ветра. В большинстве случаев отклонение  $\Delta\zeta$  не превысило 10%. При сравнении моментов наступления наблюдаемых и рассчитанных экстремумов оказалось, что они

Таблица 3.21

Частота попаданий (%) относительных отклонений  $\Delta\zeta$  в разные градации уровня (общее число случаев — 78)

| Пункт             | $\Delta\zeta$ % |      |       |       |     |
|-------------------|-----------------|------|-------|-------|-----|
|                   | 0—5             | 6—10 | 11—15 | 16—20 | >20 |
| Темрюк            | 2               | 10   | 7     | 1     | —   |
| Мысовое           | 2               | 9    | 6     | —     | —   |
| Мариуполь         | 1               | 6    | 4     | —     | —   |
| Геничск           | —               | 6    | 5     | —     | —   |
| Приморско-Ахтарск | 2               | 7    | 2     | —     | —   |
| Таганрог          | —               | 2    | 5     | 2     | 1   |
| Всего             | 6,4             | 51,3 | 37,2  | 3,8   | 1,3 |

совпали во всех случаях в пределах часовой дискретности мареографных наблюдений.

Анализ графиков хода уровня в отдельных пунктах, построенных по результатам расчетов, выполненных для условий внезапно возникшего и постоянного по скорости и направлению ветра, позволяет выявить следующие основные тенденции развития сгонно-нагонных процессов в зависимости от региональных и метеорологических факторов.

1. Время наступления экстремума в отдельных пунктах определяется преимущественно направлением ветра и не зависит от его скорости. Например, в Приморско-Ахтарске максимум нагона при северо-западном ветре любой скорости отмечается примерно через 10 ч, а в Мысовом — через 4 ч.

2. Время наступления экстремума в разных пунктах при одном и том же направлении ветра или наоборот в одном и том же пункте при разных направлениях ветра неодинаково. Например, при северо-западном ветре минимум сгона в Мариуполе отмечается через 6 ч, а в Геническе — через 10 ч. Максимум нагона при ветре этого же направления в Приморско-Ахтарске наступает через 10 ч, в Таганроге через 18–20 ч.

3. После прохождения экстремума уровень моря начинает понижаться при нагоне или повышаться при сгоне, постепенно приближаясь к установившемуся. В большинстве случаев весь процесс становления уровня занимает не более 12–24 ч. Исключение представляет Таганрогский залив, где время, необходимое для наступления стационарного состояния, достигает 36–48 ч.

В природе в условиях постепенного усиления или ослабления ветра и его пространственной неоднородности продолжительность этих периодов может оказаться значительно больше. Поэтому их продолжительность, рассчитанную в стационарных условиях, следует рассматривать как минимальную, наиболее близкую к таким условиям, когда скорость ветра возрастает и уменьшается быстро — ситуации, представляющие довольно частое явление на Азовском море.

Максимумы нагонов и минимумы сгонов в 20 прибрежных пунктах, возможные при данных направлении и скорости ветра, представлены в табл. 3.22. Их значения вычисляются относительно среднего многолетнего уровня моря. Схема расположения пунктов дана на рис. 3.21.

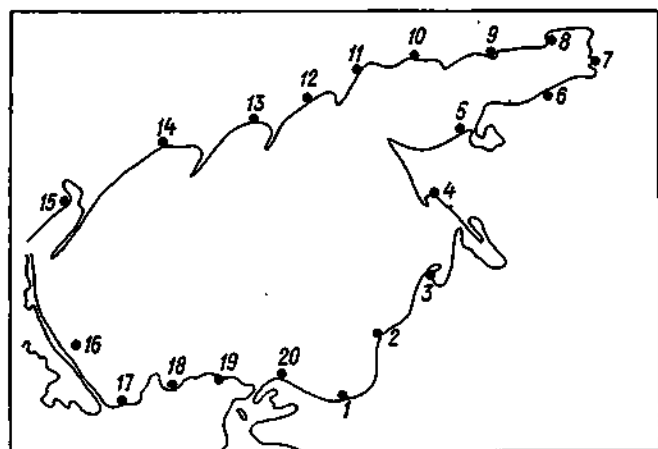


Рис. 3.21. Схема расположения пунктов на побережье Азовского моря для расчета сгонно-нагонных уровней.

Таблица 3.22

Максимальные и минимальные уровни у побережья Азовского моря (м), возможные при различных направлениях ветра

| Пункт<br>(рис. 3.26)     | Тип поля ветра |      |      |      |     |      |      |     |
|--------------------------|----------------|------|------|------|-----|------|------|-----|
|                          | С              | СВ   | В    | ЮВ   | Ю   | ЮЗ   | З    | СЗ  |
| Скорость ветра 10–15 м/с |                |      |      |      |     |      |      |     |
| 1                        | 56             | 15   | –30  | –75  | –30 | –20  | 50   | 70  |
| 2                        | 35             | 0    | –50  | –75  | –25 | 0    | 60   | 60  |
| 3                        | 10             | –35  | –75  | –70  | –10 | 35   | 70   | 50  |
| 4                        | –20            | –55  | –75  | –30  | 10  | 55   | 60   | 30  |
| 5                        | –60            | –125 | –90  | –25  | 50  | 90   | 75   | 25  |
| 6                        | –75            | –150 | –105 | –25  | 70  | 105  | 100  | 30  |
| 7                        | –110           | –175 | –120 | –30  | 90  | 120  | 110  | 40  |
| 8                        | –100           | –140 | –90  | –15  | 80  | 75   | 75   | 30  |
| 9                        | –75            | –90  | –60  | 0    | 70  | 70   | 55   | 0   |
| 10                       | –70            | –50  | –35  | 25   | 60  | 60   | 30   | –25 |
| 11                       | –60            | –30  | –30  | 50   | 50  | 50   | 15   | –50 |
| 12                       | –55            | –25  | 0    | 50   | 40  | 35   | 0    | –50 |
| 13                       | –35            | –10  | 30   | 50   | 30  | 15   | –25  | –50 |
| 14                       | –30            | 20   | 50   | 50   | 20  | –20  | –55  | –55 |
| 15                       | –10            | 50   | 90   | 50   | 10  | –50  | –90  | –70 |
| 16                       | 15             | 75   | 75   | 25   | –10 | –75  | –75  | –25 |
| 17                       | 30             | 75   | 50   | –15  | –30 | –90  | –60  | 10  |
| 18                       | 35             | 70   | 30   | –25  | –30 | –75  | –40  | 20  |
| 19                       | 45             | 45   | 10   | –30  | –30 | –60  | –25  | 30  |
| 20                       | 50             | 25   | –10  | –50  | –30 | –35  | 0    | 50  |
| Скорость ветра 15–20 м/с |                |      |      |      |     |      |      |     |
| 1                        | 78             | 30   | –75  | –105 | –70 | –25  | 75   | 100 |
| 2                        | 50             | 0    | –90  | –100 | –50 | 0    | 75   | 90  |
| 3                        | 15             | –75  | –115 | –100 | –25 | 55   | 90   | 75  |
| 4                        | –35            | –100 | –100 | –60  | 20  | 75   | 90   | 50  |
| 5                        | –100           | –175 | –175 | –30  | 70  | 150  | 150  | 50  |
| 6                        | –135           | –215 | –215 | –30  | 100 | 175  | 170  | 60  |
| 7                        | –165           | –225 | –235 | –35  | 125 | 200  | 190  | 70  |
| 8                        | –155           | –190 | –175 | –25  | 120 | 150  | 150  | 40  |
| 9                        | –125           | –135 | –90  | 15   | 100 | 120  | 90   | 0   |
| 10                       | –115           | –90  | –50  | 30   | 90  | 90   | 70   | –50 |
| 11                       | –100           | –75  | –25  | 60   | 75  | 60   | 25   | –60 |
| 12                       | –90            | –60  | 0    | 60   | 60  | 50   | 0    | –60 |
| 13                       | –60            | –30  | 25   | 55   | 40  | 25   | –25  | –60 |
| 14                       | –50            | 30   | 90   | 80   | 25  | –25  | –85  | –75 |
| 15                       | –25            | 75   | 135  | 90   | 0   | –75  | –130 | –90 |
| 16                       | 30             | 125  | 110  | 50   | –25 | –125 | –115 | –70 |
| 17                       | 55             | 120  | 90   | 0    | –50 | –125 | –90  | 0   |
| 18                       | 60             | 90   | 70   | –25  | –50 | –90  | –70  | 20  |
| 19                       | 70             | 75   | 50   | –50  | –50 | –75  | –50  | 40  |
| 20                       | 70             | 50   | –15  | –75  | –50 | –45  | 10   | 75  |

После прекращения ветра в море в течение какого-то времени сохраняются постепенно затухающие сейшевые колебания уровня. Высота сейш и период, необходимый для их затухания, находятся в тесной зависимости от скорости ветра и его направления. При ветрах нагонного или сгонного направлений относительно данного участка берега сейшевые колебания могут достигать 0,4–0,6 от экстремального значения нагона или сгона при первой или второй волне сейшевых колебаний. В дальнейшем колебания быстро уменьшаются. Период затухания в зависимости от указанных выше факторов (направление и скорость ветра) изменяется в широких пределах: 2–8 сут.

### 3.6.3. Режимные характеристики уровня моря

Расчет режимных вероятностных характеристик уровня осуществлялся путем статистической обработки массива данных, полученных предварительно в результате гидродинамического расчета. Этот массив включает в себя графики хода уровня

в прибрежных пунктах и карты рельефа уровенной поверхности моря, которые отражают динамику уровня в процессе действия одного из типовых полей ветра.

В основу метода положено предположение о том, что результаты теоретического расчета по нестационарной модели можно рассматривать как результаты инструментальных мареографных наблюдений, а шаг по времени при расчетах — как дискретность. При обработке подобных «расчитанных» массивов необходимо учитывать среднюю повторяемость и продолжительность действия типовых полей ветра в течение интересующего нас периода — месяца, сезона, года. Во всем остальном такая обработка ничем не отличается от обычной статистической обработки данных многолетних наблюдений и сводится к выполнению следующих основных операций.

1. С графиков хода уровня последовательно, через каждые 60 мин (общепринятая в практике дискретность мареографных наблюдений), снимаются значения уровня и подсчитывается число попаданий  $n$  в ту или иную градацию  $k$  за период, равный средней продолжительности действия данного типового поля, которое затем умножается на его среднюю повторяемость  $p$ . Таким образом определяется число попаданий уровня в разные градации в результате действия этого типового поля  $j$  во всем периоде.

2. Общее число попаданий  $N \cdot k$  в данную градацию под действием всех типовых полей ветра

Таблица 3.23

Сравнительные характеристики (%) наблюдаемых ( $\zeta_n$ ) и рассчитанных ( $\zeta_p$ ) уровней 1 %-ной обеспеченности в отдельных пунктах на побережье Азовского моря

| Пункт             | Март—май  |           |      | Июнь—август |           |      | Сентябрь—ноябрь |           |      |
|-------------------|-----------|-----------|------|-------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
|                   | $\zeta_n$ | $\zeta_p$ | %    | $\zeta_n$   | $\zeta_p$ | %    | $\zeta_n$       | $\zeta_p$ | %    |
|                   | л.в.      | л.п.      |      | л.в.        | л.п.      |      | л.в.            | л.п.      |      |
| Темрюк            | 84        | 78        | 7,2  | 48          | 54        | 12,5 | 88              | 96        | 9,1  |
| Приморско-Ахтарск | 92        | 80        | 13,0 | 65          | 60        | 7,7  | 107             | 98        | 8,4  |
| Мариуполь         | 50        | 56        | 12,0 | 45          | 50        | 11,1 | 67              | 74        | 10,4 |
| Генчак            | 127       | 118       | 7,1  | 84          | 75        | 10,7 | 124             | 132       | 6,3  |
| Мысовое           | 66        | 56        | 15,0 | 35          | 40        | 14,3 | 75              | 66        | 12,0 |

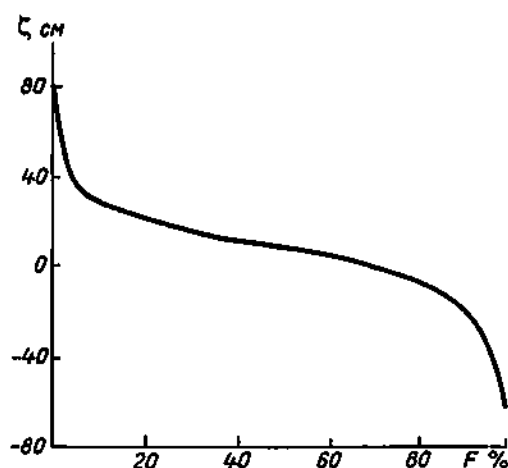


Рис. 3.22. Интегральная функция распределения уровня в Темрюке. Март—май.

Таблица 3.24  
Режимные характеристики уровня Азовского моря (см)

| Пункт<br>(рис. 3.21) | Обеспеченность, % |     |    |    |     |     |      |      |
|----------------------|-------------------|-----|----|----|-----|-----|------|------|
|                      | 1                 | 5   | 10 | 25 | 75  | 90  | 95   | 99   |
| Март—май             |                   |     |    |    |     |     |      |      |
| 1                    | 78                | 36  | 24 | 16 | -4  | -18 | -34  | -56  |
| 2                    | 74                | 36  | 24 | 16 | 0   | -20 | -40  | -60  |
| 3                    | 80                | 40  | 28 | 18 | 0   | -24 | -58  | -76  |
| 4                    | 80                | 58  | 36 | 18 | -4  | -32 | -62  | -85  |
| 5                    | 120               | 80  | 40 | 20 | -8  | -40 | -80  | -120 |
| 6                    | 128               | 88  | 48 | 26 | -26 | -60 | -92  | -136 |
| 7                    | 136               | 96  | 60 | 28 | -38 | -72 | -104 | -140 |
| 8                    | 108               | 78  | 50 | 22 | -28 | -56 | -78  | -112 |
| 9                    | 96                | 64  | 37 | 16 | -25 | -50 | -75  | -100 |
| 10                   | 72                | 48  | 27 | 13 | -15 | -33 | -55  | -78  |
| 11                   | 56                | 28  | 18 | 10 | -10 | -26 | -45  | -65  |
| 12                   | 40                | 24  | 16 | 8  | -4  | -16 | -28  | -45  |
| 13                   | 36                | 20  | 12 | 6  | -4  | -12 | -24  | -40  |
| 14                   | 72                | 48  | 26 | 12 | -12 | -24 | -40  | -55  |
| 15                   | 118               | 78  | 52 | 18 | -12 | -30 | -45  | -77  |
| 16                   | 96                | 66  | 38 | 16 | -14 | -34 | -56  | -85  |
| 17                   | 78                | 40  | 24 | 10 | -5  | -22 | -44  | -58  |
| 18                   | 65                | 43  | 28 | 12 | -7  | -18 | -32  | -50  |
| 19                   | 56                | 32  | 20 | 10 | 0   | -15 | -27  | -45  |
| 20                   | 50                | 30  | 18 | 8  | 0   | -15 | -30  | -47  |
| Июнь—август          |                   |     |    |    |     |     |      |      |
| 1                    | 54                | 28  | 18 | 8  | 0   | -12 | -24  | -36  |
| 2                    | 58                | 38  | 22 | 10 | 0   | -12 | -28  | -40  |
| 3                    | 60                | 40  | 24 | 12 | 0   | -16 | -37  | -60  |
| 4                    | 66                | 42  | 24 | 12 | -4  | -23 | -47  | -68  |
| 5                    | 80                | 50  | 36 | 16 | -4  | -36 | -66  | -105 |
| 6                    | 88                | 56  | 40 | 18 | -16 | -48 | -80  | -120 |
| 7                    | 98                | 64  | 42 | 18 | -24 | -66 | -88  | -128 |
| 8                    | 84                | 48  | 30 | 15 | -17 | -46 | -72  | -108 |
| 9                    | 76                | 42  | 26 | 13 | -10 | -38 | -60  | -90  |
| 10                   | 55                | 35  | 20 | 9  | -5  | -25 | -37  | -58  |
| 11                   | 50                | 33  | 15 | 5  | -5  | -17 | -35  | -55  |
| 12                   | 35                | 26  | 13 | 5  | -5  | -15 | -25  | -37  |
| 13                   | 30                | 20  | 10 | 0  | 0   | -10 | -18  | -28  |
| 14                   | 48                | 36  | 18 | 8  | -7  | -17 | -30  | -45  |
| 15                   | 75                | 50  | 35 | 10 | -8  | -20 | -40  | -68  |
| 16                   | 60                | 40  | 20 | 8  | -6  | -16 | -36  | -56  |
| 17                   | 60                | 36  | 18 | 8  | -4  | -10 | -27  | -45  |
| 18                   | 50                | 30  | 18 | 8  | -4  | -10 | -25  | -40  |
| 19                   | 40                | 24  | 16 | 6  | 0   | -8  | -16  | -28  |
| 20                   | 40                | 24  | 14 | 7  | 0   | -8  | -15  | -30  |
| Сентябрь—ноябрь      |                   |     |    |    |     |     |      |      |
| 1                    | 96                | 64  | 36 | 18 | -6  | -26 | -48  | -72  |
| 2                    | 84                | 58  | 32 | 18 | -6  | -28 | -52  | -76  |
| 3                    | 98                | 66  | 38 | 20 | -4  | -32 | -68  | -108 |
| 4                    | 92                | 68  | 36 | 20 | -8  | -36 | -66  | -98  |
| 5                    | 136               | 96  | 56 | 28 | -8  | -54 | -90  | -148 |
| 6                    | 148               | 104 | 66 | 36 | -38 | -72 | -112 | -164 |
| 7                    | 156               | 118 | 75 | 36 | -45 | -90 | -126 | -178 |
| 8                    | 120               | 88  | 56 | 27 | -36 | -66 | -90  | -145 |
| 9                    | 108               | 76  | 48 | 18 | -30 | -58 | -80  | -120 |
| 10                   | 90                | 56  | 40 | 24 | -24 | -42 | -64  | -96  |
| 11                   | 74                | 40  | 24 | 16 | -18 | -32 | -48  | -78  |
| 12                   | 48                | 30  | 18 | 10 | -10 | -20 | -32  | -50  |
| 13                   | 40                | 24  | 14 | 8  | -4  | -16 | -28  | -45  |
| 14                   | 96                | 66  | 36 | 12 | -10 | -26 | -48  | -78  |
| 15                   | 132               | 90  | 60 | 25 | -17 | -38 | -64  | -96  |
| 16                   | 108               | 76  | 42 | 22 | -14 | -34 | -60  | -90  |
| 17                   | 96                | 58  | 32 | 14 | -10 | -22 | -42  | -74  |
| 18                   | 75                | 45  | 28 | 12 | -4  | -18 | -36  | -60  |
| 19                   | 66                | 38  | 24 | 16 | -4  | -16 | -32  | -56  |
| 20                   | 60                | 40  | 20 | 12 | 0   | -14 | -33  | -50  |

находится по формуле

$$Nk = \sum_{i=1}^l (nkp), \quad (3.2)$$

где  $i$  — число типовых полей ветра.

3. Повторяемость (%) отдельных градаций (дифференциальная функция распределения) уровня находится из соотношения:

$$P = \frac{Nk}{\sum N} \cdot 100, \quad (3.3)$$

где  $\sum N$  — суммарное число попаданий во все градации.

4. Обеспеченность этих градаций (интегральная функция распределения) получается обычным способом — путем суммирования значений  $P$  от наибольших уровней к наименьшим. Кривые, построенные по результатам подобных расчетов (рис. 3.22), позволяют находить уровни любой заданной обеспеченности в данной точке.

Сравнительный анализ вероятностных характеристик уровня, полученный в результате статистической обработки рассчитанных и наблюдаемых массивов за период 1960—1969 гг. (для которого построены типовые поля ветра), дает основание полагать предложенный выше подход к их определению достаточно правомерным: в большинстве случаев разница между ними не превысила 15 % (табл. 3.23).

Результаты расчета вероятностных характеристик уровня в прибрежных пунктах (табл. 3.24) и в открытом море указывают на то, что существуют определенные закономерности, отражающие изменчивость его режима во времени и по акватории моря.

Область наименьших значений уровня  $\xi$ , ограниченная на картах (рис. 3.23) замкнутой изолинией, по форме немного напоминающей эллипс, находится в центральной части моря. Большая ось этого эллипса ориентирована в меридиональном направлении, а малая — в зональном. Центр эллипса приблизительно совпадает с точками пересечения узловых линий, разделяющих море на зоны сгона и нагона. Своеобразная конфигурация этой изолинии определяется преобладающими ветрами: восточными — северо-восточными и западными — юго-западными. В связи с внутригодовым изменением повторяемости и продолжительности действия типовых ветровых ситуаций конфигурация этой

изолинии незначительно изменяется от сезона к сезону.

С удалением от центра моря колебания постепенно возрастают и наибольшие значения достигают на западном (коса Обиточная — м. Казантип) и восточном (коса Долгая — м. Ачугевский) берегах Азовского моря, но особенно в Таганрогском заливе, где отмечаются и наибольшие уклоны уровенной поверхности. В течение всего года на западном побережье преобладают нагоны, а на восточном — сгоны. Отмеченные особенности уровенного режима обусловлены тем, что повторяемость и продолжительность восточных ветров существенно больше, чем западных. Летом, когда в режиме ветра возрастает роль малоградентных барических ситуаций, а сильные и штормовые ветры достаточно редки, эти различия несколько сглаживаются. На северном (коса Обиточная — коса Бердянская) и южном (м. Казантип — м. Каменный) участках побережья сгонно-нагонные колебания уровня значительно меньше таковых на восточном и западном.

Еще одной важной в практическом отношении режимной характеристикой уровня являются его экстремальные значения при штормовых нагонах и сгонах (табл. 3.25), повторение которых можно ожидать один раз в заданное число лет. Они рассчитываются по наиболее вероятной максимальной скорости ветра строго нагонного или сгонного для данного пункта направления, возможной один раз в то же самое число лет. Методика расчета такой скорости ветра изложена в [89]. Данные табл. 3.22 справедливы для условий, когда море свободно ото льда (апрель — ноябрь). В холодный период, когда море полностью или частично покрыто льдом и площадь свободной поверхности, на которую может воздействовать ветер, сокращается, сгонно-нагонные колебания уровня уменьшаются.

При рассмотрении этих экстремальных уровней нельзя не упомянуть о катастрофическом нагоне на юго-восточном побережье Азовского моря в конце октября 1969 г., который был вызван быстрым перемещением над морем очень глубокого и сравнительно небольшого по размерам циклона. Можно высказать предположение, что развитие сгонно-нагонных процессов в данном случае определялось не только большой скоростью ветра — более 30 м/с, — но и быстрой сменой его направления во времени — юго-западного на западное и

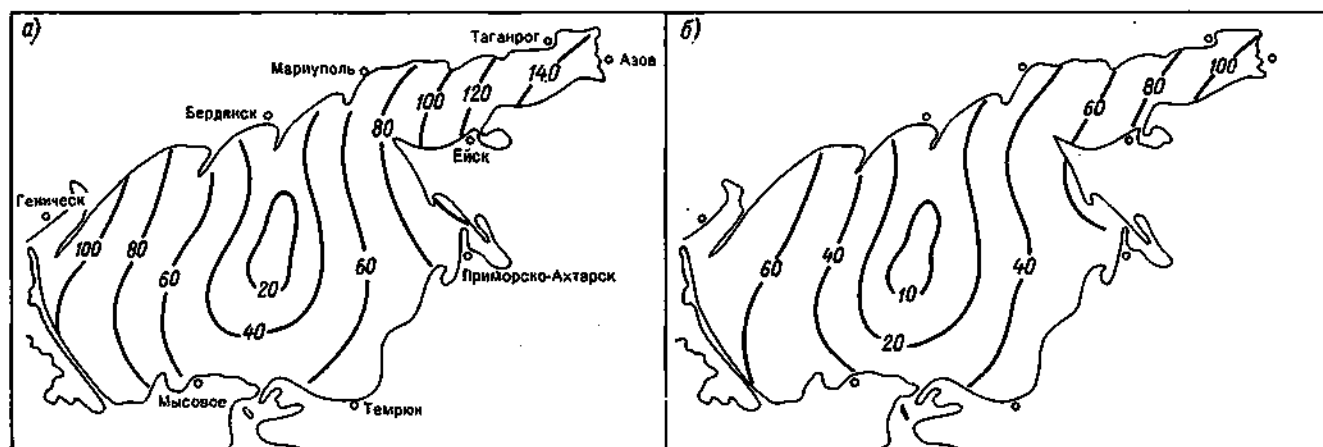


Рис. 3.23. Уровни 1 %-ной (а) и 5 %-ной (б) обеспеченности на Азовском море. Сентябрь — ноябрь.

Таблица 3.25

Экстремальные (относительно среднего многолетнего) уровни Азовского моря редкой повторяемости с периодами 100, 50, 25, 10, 5 лет и 1 год

| Пункт<br>(рис. 3.26) | Повторяемость, число лет |     |     |     |     |     |                         |      |      |      |      |      |
|----------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|------|------|------|------|------|
|                      | 100                      | 50  | 25  | 20  | 5   | 1   | 100                     | 50   | 25   | 10   | 5    | 1    |
|                      | Максимальный уровень, см |     |     |     |     |     | Минимальный уровень, см |      |      |      |      |      |
| 1                    | 312                      | 284 | 242 | 202 | 174 | 128 | -136                    | -126 | -114 | -104 | -92  | -57  |
| 2                    | 272                      | 248 | 220 | 184 | 160 | 108 | -184                    | -172 | -154 | -138 | -122 | -68  |
| 3                    | 220                      | 208 | 192 | 164 | 148 | 86  | -224                    | -212 | -196 | -172 | -154 | -90  |
| 4                    | 224                      | 212 | 188 | 168 | 152 | 90  | -236                    | -218 | -201 | -180 | -162 | -92  |
| 5                    | 236                      | 216 | 198 | 170 | 156 | 84  | -292                    | -268 | -246 | -217 | -195 | -108 |
| 6                    | 302                      | 280 | 256 | 228 | 196 | 108 | -384                    | -352 | -317 | -278 | -250 | -135 |
| 7                    | 366                      | 334 | 308 | 275 | 242 | 128 | -472                    | -430 | -398 | -342 | -306 | -162 |
| 8                    | 357                      | 328 | 304 | 268 | 235 | 120 | -466                    | -424 | -390 | -336 | -298 | -154 |
| 9                    | 230                      | 210 | 178 | 160 | 144 | 82  | -306                    | -284 | -260 | -227 | -204 | -116 |
| 10                   | 198                      | 182 | 160 | 142 | 126 | 70  | -248                    | -226 | -201 | -176 | -158 | -94  |
| 11                   | 164                      | 152 | 140 | 124 | 108 | 62  | -190                    | -174 | -157 | -138 | -126 | -75  |
| 12                   | 156                      | 143 | 128 | 114 | 102 | 60  | -154                    | -136 | -120 | -104 | -94  | -58  |
| 13                   | 148                      | 132 | 118 | 106 | 96  | 58  | -120                    | -112 | -99  | -87  | -78  | -48  |
| 14                   | 202                      | 184 | 166 | 148 | 132 | 64  | -174                    | -158 | -142 | -128 | -116 | -64  |
| 15                   | 258                      | 236 | 218 | 186 | 167 | 88  | -240                    | -218 | -202 | -184 | -162 | -88  |
| 16                   | 240                      | 218 | 196 | 167 | 148 | 76  | -220                    | -196 | -178 | -162 | -144 | -76  |
| 17                   | 212                      | 190 | 168 | 138 | 112 | 64  | -202                    | -184 | -166 | -154 | -132 | -68  |
| 18                   | 188                      | 170 | 156 | 132 | 110 | 60  | -170                    | -154 | -136 | -124 | -112 | -58  |
| 19                   | 180                      | 164 | 150 | 127 | 115 | 56  | -132                    | -120 | -113 | -100 | -90  | -52  |
| 20                   | 208                      | 190 | 172 | 148 | 122 | 86  | -130                    | -118 | -110 | -96  | -86  | -48  |

северо-западное. По-видимому, именно последнее обстоятельство способствовало концентрации больших масс воды преимущественно в юго-восточной части водоема и необычно высокому подъему уровня — до 3,0—3,5 м по разным оценкам в Темрюке. Заметим, что эти цифры близки к рассчитанному экстремуму штормового нагона, возможному один раз в 100 лет (см. табл. 3.22), и что в Азовском море циклоны подобного «ныряющего» типа представляют крайне редкое синоптическое явление.

### 3.7. Волнение

Развитие волн на Азовском море определяется двумя основными факторами: ветром над морем и небольшими глубинами, которые ограничивают рост волн. Следует отметить, что ограниченное развитие волн вследствие мелководности помимо прочего накладывает отпечаток на характер динамического и теплового взаимодействия между верхним слоем моря и приводным слоем атмосферы. В холодное время года (декабрь—март) развитию волнения препятствуют льды.

Режим волнения на Азовском море до сих пор изучен слабо и число исследований [17, 18, 39], посвященных этому вопросу, крайне мало. В 1963—1970 гг. гидрометслужбой были подготовлены и изданы справочные пособия в виде атласов волнения и ветра для всех морей СССР. Азовское море — единственное, для которого такой атлас составлен не был.

Сведения, помещенные в данной главе, предназначены для использования в самых различных целях: при проектировании нефтегазопромысловых платформ, выборе оптимальных условий плавания судов, составлении прогнозов волнения, а также при решении других гидрометеорологических прикладных задач. Все расчеты выполнены в соответствии с методикой, рекомендованной в [63, 64].

#### 3.7.1. Поля и режимные характеристики волн

При расчете полей волнения учитывались все основные факторы, определяющие развитие ветровых волн: сила и продолжительность ветра, длина «разгона», глубина места. Типовые карты волнения рассчитаны для всех полей ветра, помещенных в главе 2 настоящей монографии, и имеют одинаковые с ними повторяемости.

Расчет проведен для средней продолжительности действия каждого типового поля ветра. В подавляющем большинстве случаев этого времени бывает достаточно для развития волн. Для построения карт полей волн использованы значения средних высот ( $\bar{h}$ ) и периодов ( $\bar{T}$ ) волн, рассчитанных в 25 реперных точках, более или менее равномерно распределенных по всей акватории моря.

Средняя длина  $\bar{\lambda}$  волны рассчитывается по формуле

$$\bar{\lambda} = 1,56\bar{T}^2,$$

где  $\bar{T}$  — средний период.

В результате анализа полей средних высот периодов волн, построенных для ветров восьми основных румбов со скоростями свыше 10 м/с, можно сделать следующие выводы.

При северном, северо-восточном и северо-западном ветрах поля высот и периодов волн очень близки между собой. Область наибольших высот и периодов волн располагается над центральной частью моря с некоторым смещением к югу (рис. 3.24). При восточных ветрах той же скорости параметры высот и периодов волн практически не меняются, но область их наибольших значений смещается несколько к юго-западной части моря (см. рис. 3.24).

Юго-восточные ветры смещают области наибольших значений средних высот и периодов волн несколько к северо-западу, но они по-прежнему

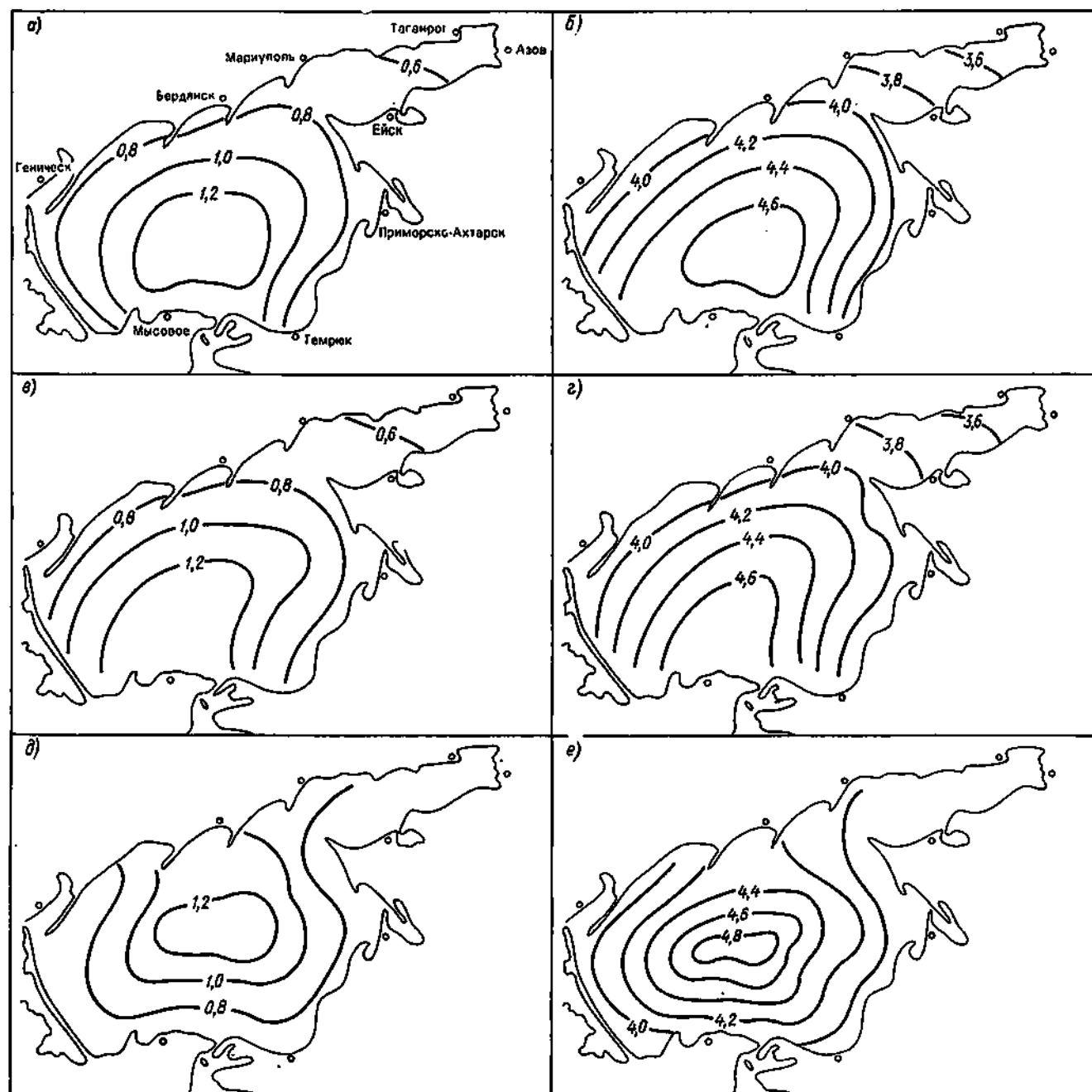


Рис. 3.24. Средние высоты (а, в, д) и периоды (б, г, е) волн.

а, б — ветер северо-восточный, 15—20 м/с, в, г — ветер восточный, 15—20 м/с, д, е — ветер южный, 15—20 м/с.

остаются над относительно глубоководными районами.

Южные и юго-западные ветры формируют аналогичные поля волн, области наибольших высот волн смещаются от центра моря несколько к северу (см. рис. 3.24). При западном ветре общая картина поля волнения остается близкой к таковой при северо-западном ветре, но наибольшие значения высот и периодов волн расположены ближе к центру моря.

В целом вследствие относительно симметричной конфигурации берегов основной части моря (за исключением заливов и кос), весьма однородных глубин в открытом море и небольших размеров моря поля волн при различных направлениях ветра меняются незначительно.

Располагая данными о средних высотах волн, можно получить значения высот различных обес-

печенностей  $i(\%)$  в ряду волн. Для того чтобы вычислить высоту волн заданной обеспеченности, среднюю высоту умножают на коэффициент  $K_H$ , отвечающий значению безразмерной функции распределения высот:

|                  |     |     |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
| $i \%$ . . . . . | 1   | 3   | 5   | 20  |
| $K_H$ . . . . .  | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,4 |

Например, если в данной точке моря  $\bar{h} = 1,2$  м, то  $\bar{h}_1 \% = 1,2 \cdot 2,2 = 2,6$  м.

В результате статистического обобщения высот волн, рассчитанных по всем типовым полям ветра, были определены их режимные обеспеченности, которые показывают долю случаев (в %), когда высота волн может быть равна или превышать то или иное указанное ее значение. Карты, приведенные на рис. 3.25, в общих чертах напоминают рас-

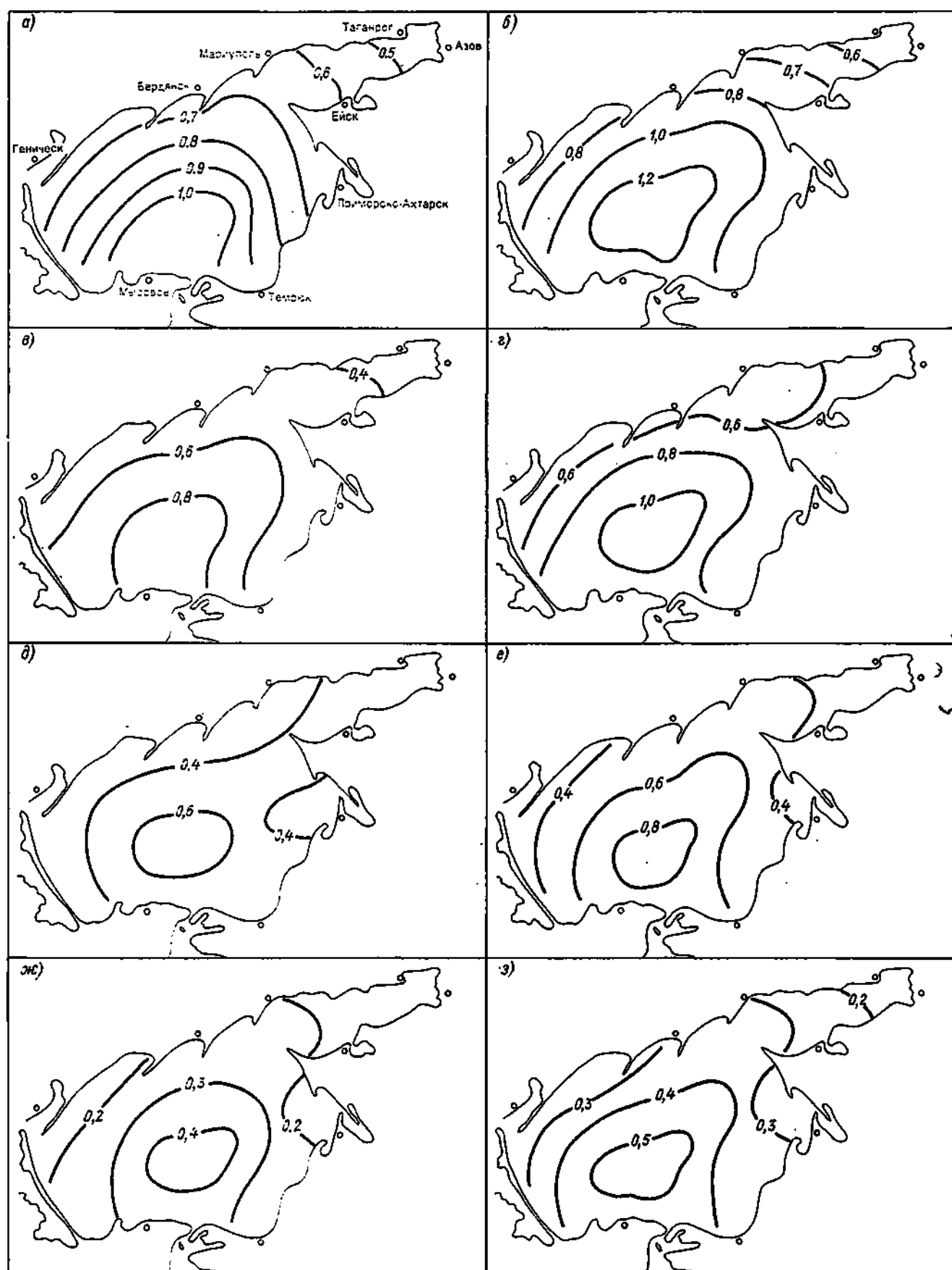


Рис. 3.25. Средние высоты волн 1 %-ной (а, б), 5 %-ной (в, г), 20 %-ной (д, е) и 50 %-ной (ж, з) режимной обеспеченности летом (а, в, д, ж) и весной, осенью (б, г, е, з).

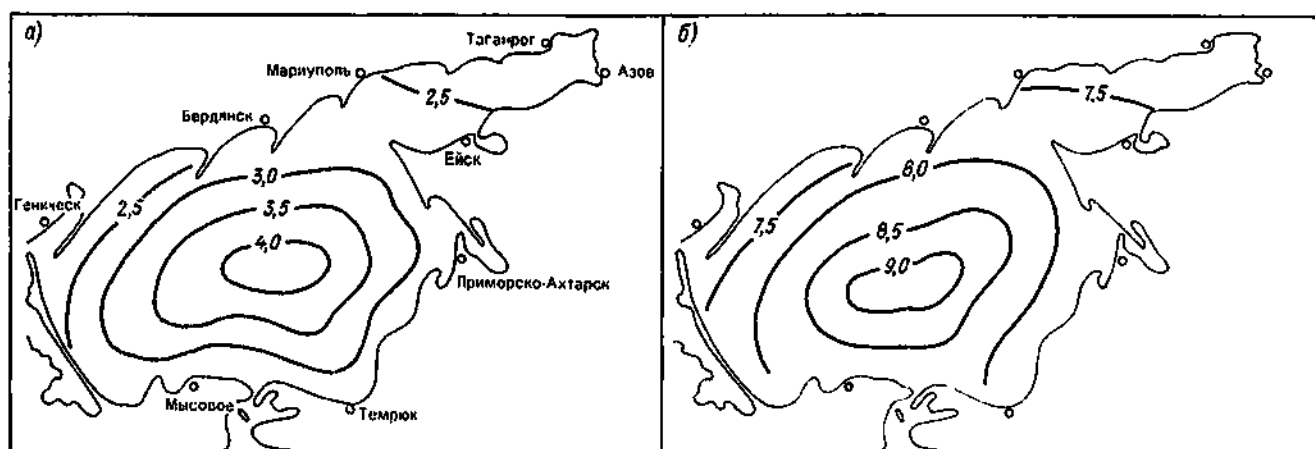


Рис. 3.26. Наибольшие высоты (а) и периоды (б) волн, возможные при северо-западных и восточных ветрах скоростью 20 м/с.

смотренные выше карты полей высот волн, хотя и имеют другой физический смысл. Наибольшие значения высот волн здесь также относятся к центральным районам моря со сдвигом к югу. Характерным для всех карт является то, что высоты волн любой режимной обеспеченности оказываются летом меньше, чем осенью и весной.

Если нас интересует режим не средних высот волн, а высот 1, 3, 5 и 20 %-ной обеспеченности в ряду волн, то средние высоты, показанные на этих картах, достаточно умножить на соответствующий коэффициент (см. выше). Например, умножая средние высоты на коэффициент  $K_H = 2,2$ , получим высоты волн 1 %-ной обеспеченности, значения которых близки к абсолютным максимумам (режимная обеспеченность сохраняется такой же, как и исходных средних высот волн).

Наибольшие высоты волн, возможные один раз в  $n$  лет при различных направлениях ветра, представлены в табл. 3.26. Из этой таблицы видно, что

Таблица 3.26

Наибольшие высоты (м) волн 1 %-ной обеспеченности, возможные один раз в год, 5, 10, 25 и 50 лет

| Число лет | Направление ветра |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | С                 | СВ  | В   | ЮВ  | Ю   | ЮЗ  | З   | СЗ  |
| 1         | 2,5               | 2,8 | 2,8 | 1,2 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 2,8 |
| 5         | 2,8               | 3,4 | 3,4 | 1,5 | 2,7 | 2,8 | 3,4 | 3,4 |
| 10        | 3,1               | 3,8 | 3,8 | 1,7 | 2,8 | 2,9 | 3,8 | 3,8 |
| 25        | 3,4               | 4,1 | 4,1 | 1,9 | 2,9 | 3,1 | 4,1 | 4,1 |
| 50        | 3,8               | 4,3 | 4,3 | 2,2 | 3,1 | 3,4 | 4,3 | 4,3 |

наибольшие высоты волн следует ожидать от северо-восточных, восточных, западных и северо-западных ветров с равной степенью вероятности. Наименьшие высоты волн 1 %-ной обеспеченности вызывают юго-восточные и южные ветры. Эти особенности развития максимальных волн связаны с особенностями режима ветра на Азовском море. Во-первых, повторяемость северо-восточных, восточных, западных и северо-западных ветров в среднем по морю составляет около 16 %, а юго-восточных и южных — менее 8 % (7,6), т. е. в два раза меньше. Во-вторых, ветры СВ—В и З—СЗ секторов более устойчивы по направлению, чем ЮВ—Ю сектора. Продолжительность непрерывного дей-

ствия сильных ветров (свыше 15 м/с) первых, как правило, намного превосходит продолжительность действия вторых.

В более мелководных районах рост волн уже при скорости ветра примерно 20 м/с ограничивается глубиной.

При оценке волнения в мелководной зоне, непосредственно прилегающей к урезу воды, помещенные в данной работе сведения о волнении следует использовать в качестве исходных значений. Расчет параметров волн для этой зоны осуществляется в соответствии с рекомендациями, изложенными в [65]. Помимо полей волнения, полученных для типовых условий, на картах рис. 3.26 даны возможные наибольшие значения высот и периодов с указанием, при каких скорости и направлении ветра могут наблюдаться такие волны. Следует обратить внимание на то, что эти карты не являются полями волн в физическом смысле, т. е. указанные на них величины относятся к различным моментам времени.

Приведенные выше сведения о волнении служат главным образом целям определения характеристик режима волнения. Однако карты полей ветра и соответствующих им полей волн могут использоваться в целях определения текущих или ожидаемых ветро-волновых условий. Для этого необходимо знать текущие или ожидаемые ветровые условия.

### 3.8. Ветровые течения

Основной вклад в формирование режима течений Азовского моря, как и многих других мелководных водоемов, вносят течения, обусловленные воздействием ветра на морскую поверхность. Даже при относительно слабых ветрах в условиях небольших глубин в море происходит перемешивание до дна, и практически его можно считать однородным по плотности. Влияние рек, даже таких, как Дон и Кубань, заметно лишь на устьевых взморьях. Различия в атмосферном давлении по акватории моря не превышают 10—15 гПа, поэтому их воздействие на изменение уровня, а следовательно, и на формирование бароградиентных течений незначительно.

Течения являются одним из наименее изученных элементов гидрологического режима Азовского



моря, что связано с недостаточным числом наблюдений за течениями и почти полным отсутствием наблюдений, выполненных при сильных и штормовых ветрах.

Это не только затрудняет получение достаточно надежных эмпирических зависимостей между ветром и течениями, а также схем циркуляции вод, но и не позволяет получить удовлетворительные режимно-статистические характеристики течения. Серьезные трудности возникают и при исследовании процесса развития течений и их изменчивости во времени и пространстве при тех или иных синоптических ситуациях.

К немногим опубликованным до настоящего времени работам, в которых рассматриваются вопросы циркуляции вод и течений Азовского моря, относятся справочники [39], в которых приводятся схемы результирующей циркуляции, характеристики режима течений в отдельных районах и высказаны некоторые соображения о вертикальной структуре и сезонной изменчивости течений. Сделанные выводы основаны преимущественно на результатах рейдовых наблюдений и гидролого-гидрохимических съемок.

Среди работ регионального направления можно сослаться на работы А. М. Бронфмана [29], И. П. Соколова [75], Н. А. Родионова [62] и Н. А. Скриптунова [71], в которых на основе эмпирических материалов рассматриваются особенности циркуляции вод в Таганрогском заливе при нагонах и сгонах.

Вопросы циркуляции вод в Керченском проливе наиболее подробно рассмотрены Э. Н. Альтманом [7, 9, 10]. В его исследованиях, основанных на результатах как наблюдений, так и эмпирико-гидродинамических методов расчета, главное внимание уделяется исключительно сложной проблеме водообмена между Азовским и Черным морями.

Первый опыт применения трехмерной нестационарной численной схемы для расчета течений Азовского моря принадлежит Ю. Г. Филиппову [84], который получил схемы поверхностных и придонных течений и выявил наиболее характерные особенности циркуляции в зависимости от направления и скорости ветра.

Некоторые результаты расчетов течений, полученные по этой модели с привлечением типовых полей ветра В. П. Беловым и Ю. Г. Филипповым, опубликованы в [18, 20].

Исследования, результаты которых изложены ниже, направлены на дальнейшее расширение и углубление наших знаний о динамике движения вод, пространственно-временной изменчивости, вертикальной структуре и режиме ветровых течений.

Для полноты понимания изложим кратко методические основы расчета течений.

При моделировании вертикальной структуры течений используются уравнения движения

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= f v - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + A \Delta u, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -f u - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + A \Delta v\end{aligned}\quad (3.4)$$

с граничными условиями

$$A_z \frac{\partial v}{\partial z} = -\zeta \tau \text{ при } z=0 \text{ (поверхность моря),} \quad (3.5)$$

$$|u| = 0 \text{ при } z=D \text{ (слой трения), } u=(u, v).$$

Превышение уровня  $\zeta$  определяется путем параллельного решения уравнений движения жидкости в приближении «мелкой воды». Коэффициент вертикального турбулентного обмена, исходя из соотношения размерностей, можно записать в виде

$$A_z = c \left| \frac{\partial v}{\partial z} \right| (h + \zeta)^2, \quad (3.6)$$

$h$  — глубина моря.

Заменяя градиент скорости в этом выражении его средним по слою значением, имеем

$$A_z = c |v_n - v_h| (h + \zeta), \quad (3.7)$$

где  $v_n$  и  $v_h$  — скорости течений у поверхности и ближайшей ко дну точке сетки. Для определения коэффициента  $c$  сравним последнее выражение с аналогичной формулой А. И. Фельзенбаума для мелкого однородного моря:  $A_z = 0,54 W h$ ,  $W$  — скорость ветра, м/с;  $h$  — в м. При ее выводе использовался ветровой коэффициент, равный 0,015. Подставляя в формуле Фельзенбаума вместо скорости ветра скорость течения на поверхности с учетом ветрового коэффициента, получаем

$$A_z = 0,36 |v_n - v_h| (h + \zeta). \quad (3.8)$$

В расчетах значения  $v_n$  и  $v_h$  определяются по результатам предыдущего временного шага.

Сравнение рассчитанных по этой модели элементов течений и эпизодических инструментальных измерений свидетельствует о близости полученных результатов. Численное решение уравнений (3.4), (3.5) позволяет высказать следующие соображения.

В процессе формирования ветровых течений Азовского моря участвуют три компонента: дрейфовый, компенсационный и инерционный, относительные вклады которых в этот процесс изменяются во времени, по акватории моря и его глубине.

На первой стадии развития шторма — от момента возникновения ветра до достижения им своего максимума — во всем слое воды преобладают дрейфовые течения, скорости которых возрастают по мере его усиления. Одновременно увеличивается толщина слоя воды, охваченного движением. Реакция верхнего слоя на изменение скорости ветра протекает быстро: максимумы скорости течений по времени близко совпадают с его максимумом. Отклонение течений от направления ветра не превышает 20—30°, за исключением подветренных участков побережья, где оно может быть больше (40—50°). Наибольшая скорость течений отмечается у поверхности, наименьшая — у дна. На этой стадии скорости течений верхнего слоя (0—3 м) по акватории моря сравнительно однородна.

На второй стадии, при условии продолжения действия достаточно устойчивого по скорости и направлению ветра, на глубине формируется компенсационное течение (рис. 3.27), интенсивность которого постепенно возрастает. Формирование глубинного течения сопровождается уменьшением скорости течения в поверхностном слое. Движение приближается к установившемуся. В море развивается двуслойная циркуляция: в верхнем слое — по ветру, на глубине — против ветра. Наибольшая скорость течений наблюдается у поверхности и в осевой части компенсационного потока, наимень-

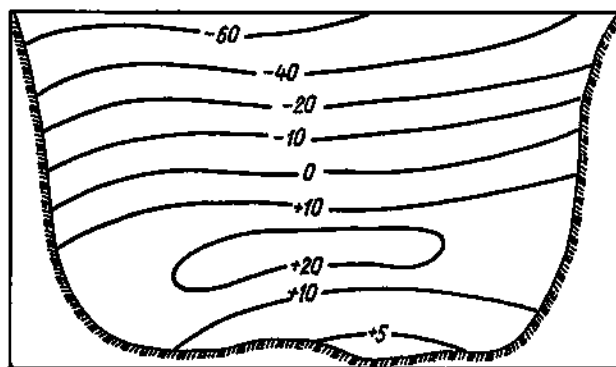


Рис. 3.27. Вертикальная структура установившихся течений на разрезе коса Обиточная — мыс Чаганы через 18 ч после возникновения восточного ветра скоростью 15 м/с.

Знаком «—» обозначены течения, направленные на запад; знаком «+» — на восток; цифрами — скорость течения, см/с.

шая — вблизи границы раздела потоков. При этом поверхностный максимум значительно больше глубинного. Подобная двуслойная структура течений характерна для всей акватории открытого моря, ограниченной примерно 5-метровой изобатой, вплоть до того момента, пока не начнет ослабевать ветер или изменяться другие его параметры (например, направление ветра перейдет с одного румба на другой).

На третьей стадии — стадии ослабления ветра — постепенно уменьшается относительный вклад дрейфовой составляющей и возрастает роль компенсационных и инерционных течений. Уменьшается и скорость течения. Одновременно изменяется их пространственная и вертикальная структура. Циркуляция вод в бассейне приобретает более сложный характер.

Рассмотрим для примера эволюцию динамической структуры вод Азовского моря в течение условного синоптического периода общей продолжительностью  $T = 48$  ч, в котором выделим два интервала. Первый из них представлен восточным штормом, в котором скорость ветра, постепенно возрастая, достигает в момент  $T = 12$  ч максимума 15 м/с, а затем начинает уменьшаться и при  $T = 24$  ч полностью стихает. Второй интервал представлен полным безветрием и характеризуется постепенным затуханием возбужденных ветром движений. В разных районах и на разных глубинах

нах этот процесс эволюции течений протекает с неодинаковой степенью интенсивности.

С момента ( $T = 0$ ) начала действия ветра до момента максимума ( $T = 12$  ч) течения во всем слое направлены по ветру. Скорости течений поверхностного слоя на момент максимума ( $T = 12$  ч) достигают в открытом море 40—60 см/с, а в Таганрогском заливе — 60—90 см/с (рис. 3.28). На глубине они составляют соответственно 5—15 и 30—50 см/с.

В момент ( $T = 24$  ч), когда ветер прекращается, структура поля течений заметно меняется. Вдоль всего северного побережья под влиянием все еще мощного потока из Таганрогского залива сохраняется западное течение со скоростью до 30 см/с. В то же время в южной части моря существенно возрастает вклад градиентной составляющей, что приводит к развитию компенсационных течений восточного направления и к формированию в центральной части моря циклонического круговорота со скоростью 10—25 см/с (рис. 3.28). При этом вдоль южного побережья Таганрогского залива развивается градиентное восточное течение, скорость которого не превышает 10—20 см/с.

В момент  $T = 36$  ч на всей акватории Азовского моря преобладает циклоническое движение вод во всем слое воды. Скорость у поверхности достигает при этом 5—15 см/с, у дна не превышает 3—7 см/с. В Таганрогском заливе в это время преобладает восточное градиентное течение. Скорость по всему его сечению колеблется в пределах 20—40 см/с.

В момент  $T = 48$  ч инерционные и градиентные движения практически затухают. На акватории Азовского моря преобладает слабо выраженное циклоническое движение со скоростью 3—10 см/с. В Таганрогском заливе восточное градиентное течение меняется на западное — стоковое. Указанные изменения в динамической структуре вод связаны, по-видимому, с возникновением сейшевых колебаний и, как следствие, сейшевых течений, скорость которых в открытом море не превышает 4—6 см/с, а в Таганрогском заливе 10—20 см/с. Признаки сейшевых течений наблюдаются вплоть до момента, когда система приходит в состояние полного равновесия — явление, возможное только теоретически.

Таким образом, в эволюции динамической структуры вод Азовского моря можно выделить три основные стадии:

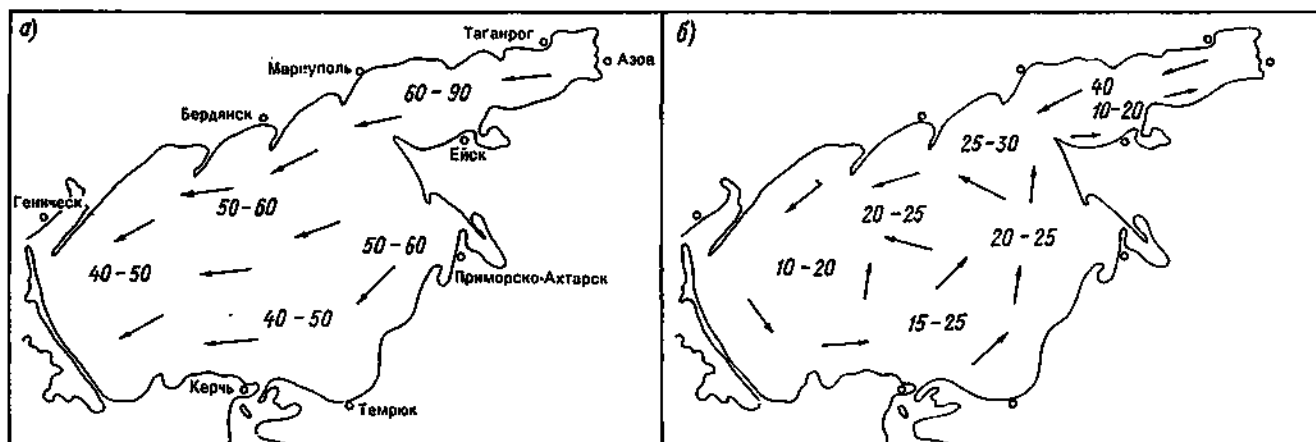


Рис. 3.28. Поля течений поверхностного слоя моря в момент максимального развития ветра ( $T = 12$  ч,  $V = 15$  м/с) (а) и после полного затухания ветра ( $T = 24$  ч,  $V = 0$ ) (б).

1) дрейфовых потоков — в условиях усиления ветра;

2) дрейфовых и градиентных течений с преобладанием двуслойной циркуляции в условиях более или менее стабильной ветровой обстановки;

3) затухающих течений — градиентных, инерционных и сейшевых, — продолжающих существование в период ослабления ветра и после полного его прекращения. Этот «пассивный» период характеризуется тем не менее достаточно интенсивной и сложной структурой течений. Отличительной чертой является развитие в море циклонических или антициклонических (в зависимости от направления вызвавшего движение ветра) вихрей. Продолжительность «пассивного» периода зависит от силы ветра и продолжительности «активной» фазы шторма.

Для получения типовых полей и режимных характеристик течений в качестве исходной метеорологической информации использованы типовые поля ветра из главы 2.

При численной реализации гидродинамической модели акватория Азовского моря, так же как и при расчете уровня, была аппроксимирована сеткой с шагом 9 км. Рассчитанные по ним типовые поля течений имеют ту же повторяемость и продолжительность действия, что и сами ветровые поля. При рассмотрении типовых полей ветра не следует забывать, что они являются результатом осреднения многократно повторявшихся в природе ситуаций и представляют собой «фрагменты» естественных синоптических периодов со сходными условиями распределения направления и скорости ветра над морем. Тем интереснее отметить, что и в этих практически стационарных ветровых условиях динамическая структура вод находится в состоянии непрерывного изменения. Например, при достаточно продолжительном действии типовой ситуации, способствующей развитию глубинных компенсационных течений, скорость течения у поверхности после достижения максимума начинает уменьшаться, составляя на стадии установившихся потоков не более 50—60 % максимального значения. Таким образом, изменчивость течений во времени часто выражена значительно резче, чем по площади моря.

Отметим некоторые основные особенности пространственной структуры типовых полей течений, характерные для различных типов и подтипов полей ветра.

1. Северный ветер — скорость течений возрастает в Азовском море с северо-запада на юго-восток, в Таганрогском заливе — с востока на запад. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 40—80 см/с (подтип 15—20 м/с), 20—45 см/с (подтип 10—15 м/с), 7—20 см/с (подтип 5—10 м/с).

2. Северо-восточный ветер — скорость течений возрастает в Азовском море с северо-запада на юг и юго-восток, в Таганрогском заливе — с востока на запад. Максимальная скорость течений по всей площади моря изменяется в пределах 50—120 см/с (подтип 15—20 м/с), 25—75 см/с (подтип 10—15 м/с), 10—25 см/с (подтип 5—10 м/с).

3. Восточный ветер — скорость течений возрастает с северо-запада на юг и юго-восток в Азовском море и с востока на запад — в Таганрогском заливе. Максимальная скорость течений изменя-

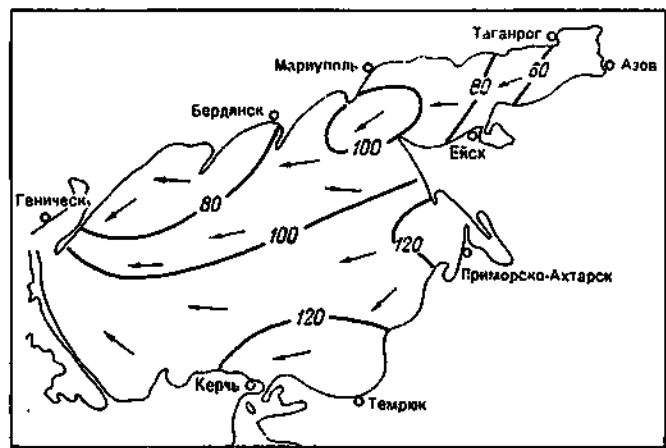


Рис. 3.29. Поле максимальных течений поверхностного слоя Азовского моря. Тип ветра — восточный, подтип 20—25 м/с. Стрелками показано направление течений, сплошные линии — изотакхи, см/с.

ется по площади моря в пределах 50—110 см/с (подтип 15—20 м/с), 25—60 см/с (подтип 10—15 м/с), 10—28 см/с (подтип 5—10 м/с). При восточном ветре скоростью 20—25 м/с, который наблюдается только в осенне-зимний период, максимальная скорость течений — 120—135 см/с — наблюдается в юго-восточном районе (рис. 3.29).

4. Юго-восточный ветер — скорость течений во всем море, включая залив, возрастает с северо-востока на юго-восток. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 25—80 см/с (подтип 15—20 м/с), 10—40 см/с (подтип 10—15 м/с), 8—15 см/с (подтип 5—10 м/с).

5. Южный ветер — скорость течений во всем море возрастает с северо-востока на юг и юго-запад. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 30—75 см/с (подтип 15—20 м/с), 15—45 см/с (подтип 10—15 м/с), 6—18 см/с (подтип 5—10 м/с).

6. Юго-западный ветер — скорость течений во всем море возрастает на юго-запад и юг. Максимальные скорости течений изменяются по площади моря в пределах 50—90 см/с (подтип 15—20 м/с), 20—45 см/с (подтип 10—15 м/с), 10—20 см/с (подтип 5—10 м/с).

7. Западный ветер — скорость течений возрастает с запада на восток и северо-восток. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 60—135 см/с (подтип 15—20 м/с), 25—60 см/с (подтип 10—15 м/с), 10—20 см/с (подтип 5—10 м/с).

8. Северо-западный ветер — скорость течений возрастает с северо-востока на юг и запад. Максимальная скорость течений изменяется по площади моря в пределах 30—80 см/с (подтип 15—20 м/с), 15—45 см/с (подтип 10—15 м/с), 6—15 см/с (подтип 5—10 м/с). При этом ветре при скорости 20—25 м/с максимальная скорость течений отмечается в южной половине моря и достигает 100—135 см/с.

В целом анализ карт типовых полей течений указывает на то, что их пространственная структура самым тесным образом связана со структурой типовых полей ветра — чем резче выражена

Таблица 3.27

Повторяемость течений различных направлений по грациям скоростей ( $P\%$ ), и обеспеченность модуля скорости течений ( $F\%$ ) в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе в марте—ноябре

| Градации скорости, м/с           | Направление течений |      |      |     |     |      |      |     |       |       |
|----------------------------------|---------------------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-------|-------|
|                                  | С                   | СВ   | В    | ЮВ  | Ю   | ЮЗ   | З    | СЗ  | $P\%$ | $F\%$ |
| Центральная часть Азовского моря |                     |      |      |     |     |      |      |     |       |       |
| 0—10                             | 6,4                 | 7,2  | 6,2  | 6,7 | 5,4 | 6,4  | 13,7 | 6,7 | 58,7  | 100,0 |
| 11—20                            | 1,1                 | 4,1  | 3,3  | 1,0 | 2,2 | 6,3  | 7,9  | 0,9 | 26,6  | 41,3  |
| 21—30                            | 0,9                 | 1,0  | 1,1  | 0,4 | 0,5 | 1,2  | 2,7  | 0,2 | 8,0   | 14,5  |
| 31—40                            | 0,4                 | 0,7  | 0,4  | 0,2 | 0,3 | 0,7  | 1,2  | —   | 3,9   | 6,5   |
| 41—50                            | —                   | 0,1  | 0,2  | —   | 0,1 | 0,4  | 0,6  | —   | 1,4   | 2,6   |
| 51—60                            | —                   | 0,1  | 0,1  | —   | —   | 0,2  | 0,3  | —   | 0,7   | 1,2   |
| 61—70                            | —                   | —    | —    | —   | —   | 0,1  | 0,2  | —   | 0,3   | 0,5   |
| 71—80                            | —                   | —    | —    | —   | —   | 0,1  | 0,1  | —   | 0,2   | 0,2   |
| Сумма                            | 8,8                 | 13,2 | 11,3 | 8,3 | 8,5 | 15,4 | 26,7 | 7,8 | 100,0 |       |
| Таганрогский залив               |                     |      |      |     |     |      |      |     |       |       |
| 0—10                             | 1,6                 | 9,4  | 13,6 | 2,4 | 2,5 | 14,0 | 16,0 | 2,6 | 62,5  | 100,0 |
| 11—20                            | 0,2                 | 2,4  | 5,3  | 0,3 | 0,2 | 2,3  | 7,3  | 0,3 | 18,3  | 37,5  |
| 21—30                            | 0,1                 | 0,9  | 2,7  | 0,2 | 0,1 | 0,8  | 4,4  | 0,1 | 9,3   | 19,2  |
| 31—40                            | —                   | 0,3  | 1,4  | 0,1 | —   | 0,4  | 2,2  | —   | 4,4   | 9,9   |
| 41—50                            | —                   | 0,1  | 0,8  | —   | —   | 0,2  | 1,4  | —   | 2,5   | 5,5   |
| 51—60                            | —                   | —    | 0,3  | —   | —   | —    | 0,9  | —   | 1,2   | 3,0   |
| 61—70                            | —                   | —    | 0,2  | —   | —   | —    | 0,7  | —   | 0,9   | 1,8   |
| 71—80                            | —                   | —    | 0,1  | —   | —   | —    | 0,4  | —   | 0,5   | 0,9   |
| 81—90                            | —                   | —    | —    | —   | —   | —    | 0,3  | —   | 0,3   | 0,4   |
| 91—100                           | —                   | —    | —    | —   | —   | —    | 0,1  | —   | 0,1   | 0,1   |
| Сумма                            | 1,9                 | 13,1 | 24,4 | 3,0 | 2,8 | 17,7 | 34,1 | 3,0 | 100,0 |       |

Таблица 3.28

Скорость течений (см/с) обеспеченностью  $F\%$  в центральной части Азовского моря и в Таганрогском заливе в марте—ноябре

| $F\%$                            | Направление течений |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|                                  | С                   | СВ | В  | ЮВ | Ю  | ЮЗ | З  | СЗ |
| Центральная часть Азовского моря |                     |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                                | 28                  | 48 | 46 | 36 | 32 | 58 | 68 | 26 |
| 5                                | 24                  | 34 | 32 | 22 | 27 | 45 | 48 | 16 |
| 10                               | 20                  | 26 | 22 | 16 | 21 | 33 | 36 | 10 |
| 20                               | 15                  | 18 | 17 | 10 | 14 | 24 | 25 | 7  |
| 50                               | 6                   | 9  | 9  | 5  | 7  | 12 | 14 | 5  |
| Таганрогский залив               |                     |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                                | 22                  | 46 | 78 | 32 | 24 | 36 | 58 | 18 |
| 5                                | 13                  | 32 | 60 | 22 | 16 | 26 | 42 | 9  |
| 10                               | 9                   | 20 | 42 | 16 | 10 | 18 | 30 | 6  |
| 20                               | 7                   | 14 | 27 | 10 | 7  | 13 | 22 | 4  |
| 50                               | 4                   | 7  | 12 | 6  | 4  | 6  | 10 | 2  |

Таблица 3.29

Интервалы изменения скорости течения по акватории моря при различных типах и подтипах полей ветра (направления течений совпадают с направлением ветра, скорости ветра — в м/с, скорости течений — в см/с)

| Подтип ветра, м/с  | Тип ветра |       |        |       |       |       |         |        |
|--------------------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|--------|
|                    | С         | СВ    | В      | ЮВ    | Ю     | ЮЗ    | З       | СЗ     |
| Азовское море      |           |       |        |       |       |       |         |        |
| 5—10               | 10—15     | 14—18 | 16—20  | 8—12  | 9—13  | 14—18 | 12—16   | 8—12   |
| 10—15              | 25—35     | 35—55 | 35—50  | 20—30 | 30—40 | 30—40 | 30—50   | 30—40  |
| 15—20              | 60—70     | 60—90 | 60—90  | 50—70 | 55—75 | 60—80 | 70—100  | 50—70  |
| 20—25              | —         | —     | 80—120 | —     | —     | —     | —       | 80—120 |
| Таганрогский залив |           |       |        |       |       |       |         |        |
| 5—10               | 10—12     | 16—20 | 18—20  | 10—12 | 8—10  | 16—20 | 14—18   | 10—12  |
| 10—15              | 25—30     | 30—40 | 30—40  | 15—20 | 25—30 | 30—40 | 30—40   | 15—25  |
| 15—20              | 40—50     | 60—80 | 60—80  | 30—40 | 30—40 | 60—70 | 100—120 | 30—50  |
| 20—25              | —         | —     | 60—100 | —     | —     | —     | —       | 60—70  |

Наблюдаемый сток в Азовское море, км<sup>3</sup>

| Год            | Дон     | Кубань | Малые реки | Ежегодный сток |
|----------------|---------|--------|------------|----------------|
| 1923           | 19,0    | 12,3   | 2,05       | 33,4           |
| 1924           | 27,7    | 11,9   | 2,05       | 41,6           |
| 1925           | 17,9    | 11,0   | 2,05       | 31,0           |
| 1926           | 45,4    | 11,8   | 2,59       | 59,8           |
| 1927           | 31,4    | 12,0   | 1,42       | 44,8           |
| 1928           | 32,3    | 9,50   | 2,89       | 44,7           |
| 1929           | 44,9    | 11,0   | 3,00       | 58,9           |
| 1930           | 20,3    | 6,81   | 0,96       | 28,1           |
| 1931           | 30,6    | 13,0   | 1,52       | 45,1           |
| 1932           | 43,8    | 17,0   | 3,31       | 64,1           |
| 1933           | 20,2    | 14,3   | 2,28       | 36,8           |
| 1934           | 20,8    | 9,13   | 2,46       | 32,4           |
| 1935           | 13,4    | 7,06   | 1,13       | 21,6           |
| 1936           | 21,1    | 12,1   | 1,24       | 34,4           |
| 1937           | 21,8    | 14,9   | 3,68       | 40,4           |
| 1938           | 16,5    | 11,9   | 1,73       | 30,1           |
| 1939           | 17,1    | 17,4   | 1,46       | 36,0           |
| 1940           | 30,9    | 18,9   | 5,19       | 55,0           |
| 1941           | 48,7    | 18,6   | 3,26       | 70,6           |
| 1942           | 49,9    | 13,8   | 2,05       | 65,8           |
| 1943           | 17,2    | 11,9   | 2,58       | 31,7           |
| 1944           | 16,9    | 15,2   | 2,05       | 34,2           |
| 1945           | 20,0    | 13,1   | 2,05       | 35,2           |
| 1946           | 33,8    | 14,2   | 1,31       | 49,3           |
| 1947           | 29,8    | 11,0   | 4,89       | 45,7           |
| 1948           | 33,5    | 13,0   | 1,76       | 48,2           |
| 1949           | 14,1    | 10,6   | 1,74       | 26,4           |
| 1950           | 12,3    | 7,63   | 0,90       | 20,8           |
| 1951           | 29,4    | 9,90   | 1,17       | 40,5           |
| 1952           | 12,9    | 15,9   | 1,30       | 30,1           |
| 1953           | 27,4    | 15,9   | 2,52       | 45,8           |
| 1954           | 14,9    | 12,9   | 1,05       | 28,8           |
| 1955           | 24,0    | 12,9   | 1,01       | 37,9           |
| 1956           | 32,6    | 17,5   | 2,31       | 52,4           |
| 1957           | 24,7    | 8,17   | 1,90       | 34,8           |
| 1958           | 26,1    | 13,6   | 2,09       | 41,8           |
| 1959           | 21,4    | 9,75   | 1,62       | 32,8           |
| 1960           | 32,7    | 13,3   | 1,71       | 38,7           |
| 1961           | 17,4    | 13,6   | 1,45       | 32,4           |
| 1962           | 15,6    | 10,8   | 1,39       | 27,8           |
| 1963           | 34,9    | 17,4   | 2,34       | 54,6           |
| 1964           | 31,1    | 12,1   | 4,75       | 48,0           |
| 1965           | 18,4    | 13,3   | 1,43       | 33,1           |
| 1966           | 18,1    | 13,8   | 2,52       | 34,4           |
| 1967           | 16,4    | 15,8   | 2,64       | 34,8           |
| 1968           | 26,4    | 15,1   | 3,80       | 45,3           |
| 1969           | 13,5    | 5,12   | 1,28       | 19,9           |
| 1970           | 26,9    | 12,7   | 2,95       | 42,6           |
| 1971           | 20,5    | 8,88   | 1,18       | 30,6           |
| 1972           | 8,95    | 11,8   | 0,375      | 21,1           |
| 1973           | 11,4    | 12,2   | 1,16       | 24,8           |
| 1974           | 15,5    | 9,48   | 1,05       | 26,0           |
| 1975           | 10,5    | 9,78   | 0,667      | 25,9           |
| 1976           | 10,7    | 13,3   | 1,72       | 25,7           |
| 1977           | 21,6    | 7,7    | 4,19       | 33,5           |
| 1978           | 21,8    | 9,9    | 2,4        | 34,1           |
| 1979           | 37,9    | 7,9    | 4,5        | 50,3           |
| 1980           | 21,3    | 8,3    | 2,37       | 32,0           |
| 1981           | 34,4    | 11,5   | 5,0        | 50,0           |
| Сумма          | 1430,65 | 721,31 | 129,442    | 2280,6         |
| Среднее        | 24,248  | 12,226 | 2,194      | 38,65          |
| $\sigma_{n-1}$ | 9,981   | 3,064  | 1,138      | 12,02          |
| $\sigma_n$     | 9,896   | 3,038  | 1,129      | 11,92          |
| $\sigma_0$     | 0,408   | 0,248  | 0,514      | 0,308          |

Таблица 3.30

Реки, впадающие в Азовское море

| Река                                                              | Длина реки, км | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| Дон                                                               | 1870           | 422 000                            |
| Кубань                                                            | 870            | 57 900                             |
| Реки Крыма (Салгир и др.)                                         | —              | 11 600                             |
| Реки между Крымом и Доном (Молочная, Берда, Кальмиус, Миус и др.) | —              | 40 000                             |
| Реки между Доном и Кубанью (Калгальник, Ея, Челбас и др.)         | —              | 37 800                             |
| Итого                                                             | —              | 569 300                            |

для равнинной части бассейна Азовского моря, и увеличением безвозвратного водопотребления. В 1936—1940 гг. оно составляло 2 км<sup>3</sup>, в 1961—1965 гг. 4,8 км<sup>3</sup>, в 1971—1975 гг. 9,7 км<sup>3</sup>, в последние годы достигло 11—12 км<sup>3</sup>.

Тенденция сокращения весеннего притока, так же как и годового, прослеживается с 1949 г. Однако вследствие регулирующего влияния Цимлян-

Естественный сток (км³) рек в Азовское море.  
По данным ГГИ

| Год               | Дон    | Кубань | Малые реки | Ежегодный сток |
|-------------------|--------|--------|------------|----------------|
| 1923              | 19,5   | 12,3   | 2,05       | 33,85          |
| 1924              | 28,6   | 11,9   | 2,05       | 42,55          |
| 1925              | 16,5   | 11,0   | 2,05       | 29,55          |
| 1926              | 41,6   | 11,8   | 2,59       | 55,99          |
| 1927              | 35,0   | 12,0   | 1,42       | 48,42          |
| 1928              | 34,0   | 9,5    | 2,89       | 46,39          |
| 1929              | 42,2   | 11,0   | 3,00       | 56,20          |
| 1930              | 20,3   | 8,83   | 0,96       | 30,09          |
| 1931              | 31,2   | 13,9   | 1,52       | 46,62          |
| 1932              | 43,7   | 13,2   | 3,31       | 60,21          |
| 1933              | 20,6   | 11,4   | 2,28       | 34,28          |
| 1934              | 21,2   | 10,2   | 2,46       | 33,86          |
| 1935              | 13,5   | 9,0    | 1,13       | 23,63          |
| 1936              | 21,1   | 11,8   | 1,24       | 34,14          |
| 1937              | 21,7   | 13,5   | 3,68       | 38,88          |
| 1938              | 16,5   | 13,4   | 1,73       | 31,63          |
| 1939              | 17,3   | 15,0   | 1,46       | 33,76          |
| 1940              | 30,6   | 15,9   | 5,19       | 51,69          |
| 1941              | 48,3   | 16,6   | 3,26       | 68,16          |
| 1942              | 49,6   | 13,7   | 2,05       | 65,35          |
| 1943              | 18,2   | 8,2    | 2,58       | 28,98          |
| 1944              | 17,6   | 14,0   | 2,05       | 33,65          |
| 1945              | 19,7   | 11,2   | 2,05       | 32,95          |
| 1946              | 33,7   | 15,0   | 1,31       | 50,01          |
| 1947              | 30,0   | 12,5   | 4,89       | 47,39          |
| 1948              | 33,5   | 15,2   | 1,76       | 50,46          |
| 1949              | 14,2   | 11,2   | 1,74       | 27,14          |
| 1950              | 12,4   | 9,7    | 0,90       | 23,00          |
| 1951              | 29,5   | 11,2   | 1,17       | 41,87          |
| 1952              | 24,2   | 15,7   | 1,30       | 41,20          |
| 1953              | 31,5   | 15,0   | 2,52       | 52,02          |
| 1954              | 10,7   | 13,7   | 1,05       | 25,45          |
| 1955              | 35,8   | 11,3   | 1,01       | 48,11          |
| 1956              | 32,3   | 16,9   | 2,31       | 51,51          |
| 1957              | 26,0   | 11,5   | 1,90       | 39,40          |
| 1958              | 27,4   | 15,5   | 2,09       | 44,99          |
| 1959              | 20,4   | 12,0   | 1,62       | 34,02          |
| 1960              | 27,6   | 14,3   | 1,71       | 43,61          |
| 1961              | 18,1   | 13,1   | 1,45       | 32,65          |
| 1962              | 17,5   | 13,0   | 1,39       | 31,89          |
| 1963              | 41,8   | 17,1   | 2,34       | 61,24          |
| 1964              | 35,4   | 11,6   | 4,75       | 51,75          |
| 1965              | 19,1   | 12,7   | 1,43       | 33,23          |
| 1966              | 19,7   | 12,5   | 2,52       | 34,72          |
| 1967              | 21,4   | 14,1   | 2,64       | 38,14          |
| 1968              | 29,6   | 16,2   | 3,80       | 49,60          |
| 1969              | 16,7   | 7,5    | 1,28       | 25,48          |
| 1970              | 34,4   | 12,7   | 2,95       | 50,05          |
| 1971              | 23,9   | 11,9   | 1,18       | 36,98          |
| 1972              | 11,1   | 14,0   | 0,375      | 25,48          |
| 1973              | 16,3   | 11,8   | 1,16       | 29,26          |
| 1974              | 22,1   | 11,0   | 1,05       | 34,15          |
| 1975              | 12,9   | 13,8   | 0,667      | 27,37          |
| 1976              | 17,2   | 14,2   | 1,72       | 33,12          |
| 1977              | 29,1   | 12,8   | 1,94       | 43,84          |
| 1978              | 27,2   | 14,3   | 2,19       | 43,69          |
| 1979              | 43,7   | 13,1   | 0,06       | 57,76          |
| 1980              | 29,9   | 13,7   | 2,42       | 46,02          |
| Сумма             | 1507,8 | 741,13 | 118,493    |                |
| Среднее           | 25,966 | 12,778 | 2,043      | 40,81          |
| $\sigma_{n-1}$    | 9,779  | 2,142  | 1,011      | 11,12          |
| $\sigma_n$        | 9,694  | 2,124  | 1,002      | 11,03          |
| $\sigma_{\sigma}$ | 0,373  | 0,166  | 0,491      | 0,270          |

стока, наблюдаемого и естественного (см. табл. 3.28, 3.29), Дона и Кубани за периоды до зарегулирования (до 1952 г.) и после, последний период 1953—1981 гг. является несколько более маловодным. Снижение стока происходит главным образом за счет снижения притока из бассейна Дона.

ского водохранилища (1952 г.) она выражена более четко. И наоборот, осенний сток с 1955 г. значительно увеличился (в 1,5 раза) по сравнению с предшествующим периодом. Изменения же летнего и зимнего стока менее существенны. В многолетних колебаниях притока с июня по август можно выделить четыре маловодных периода (1911—1925; 1933—1940; 1943—1951; 1969—1976 гг.) и столько же многоводных (1926—1932; 1941—1942; 1952—1968; 1977—1981 гг.). Для зимнего стока характерно наличие лишь двух более или менее длительных и четко выраженных периодов с повышенной (1954—1968 гг.) и пониженной (1926—1953 гг.) водностью рек Дона и Кубани. В многолетних колебаниях годового стока рассматриваемых рек прослеживается пять многоводных (1915—1920; 1926—1932; 1940—1942; 1963—1964; 1978—1981 гг.) и четыре маловодных (1921—1925; 1933—1939; 1949—1962; 1965—1977 гг.) периодов различной продолжительности. Исключительно низкий приток (22—27 км³) донских и кубанских вод с максимумом летом отмечен в 1972—1976 гг. По естественной водности этот период почти идентичен исключительно маловодной фазе, наблюдавшейся в 1933—1939 гг., когда сток Дона и Кубани был на уровне, близком к 70—75 %-ной обеспеченности. По фактическому же стоку период 1972—1976 гг. не имеет аналога, являясь самым маловодным для периода наблюдений (1911—1985 гг.). Средний сток за этот период составляет 23,72 км³.

Иные, более благоприятные для формирования стока климатические условия, особенно в равнинной части бассейна Азовского моря, сложились в 1977—1981 гг. Несмотря на значительные безвозвратные изъятия, средний годовой приток увеличился до 38,27 км³, т. е. почти до средних значений, наблюдавшихся в незарегулированных условиях (около 40 км³). По естественной водности этот период соответствует 25 %-ной обеспеченности и близок к стоку, наблюдавшемуся в 1926—1929 гг. Тем не менее даже при такой водности достаточно высокий весенний сток был лишь в исключительно многоводные 1979 и 1981 гг., которые по естественной водности соответствуют 10 %-ной и 15 %-ной обеспеченности. После зарегулирования стока Дона подобный приток в море наблюдался лишь четыре раза: в 1963, 1964, 1968 и 1970 гг. Однако даже в эти годы весенний сток (апрель—май) был ниже характерного для периода до зарегулирования Цимлянского водохранилища.

Восстановление естественного стока Дона и Кубани и на их основе естественного притока в Азовское море получено в ГГИ путем введения в наблюдаемый сток поправок, отражающих влияние хозяйственной деятельности на сток (табл. 3.32). По характеру воздействия на водный режим рек факторы хозяйственной деятельности разделены на две группы:

1) факторы, действующие в русле реки и перераспределяющие сток во времени и по территории (создание и эксплуатация водохранилищ, крупные водозаборы, переброски стока и т. д.);

2) факторы, изменяющие соотношение между элементами водного баланса на водосборе (агротехнические и лесомелиоративные мероприятия, урбанизация, осушение заболоченных земель и т. д.).

Как видно из сопоставления средних значений



Дон берет начало на восточных склонах Среднерусской возвышенности у г. Новомосковска (Тульской области, РСФСР), впадает в Таганрогский залив. Местами его глубина достигает 20 м. Ниже г. Ростова-на-Дону начинается дельта р. Дона (площадь 340 км<sup>2</sup>). Приток в море с бассейна Дона обычно принимается равным стоку у станции Раздорской, расположенной на расстоянии 151 км от устья. Створ Дона у Раздорской замыкает 378 тыс. км<sup>2</sup> водосбора. Водосток находится за пределами влияния сгонно-нагонных явлений, вносящих значительные искажения в режим уровня и расходов воды в нижнем течении реки. Наблюдения ведутся с 1881 г., однако наиболее надежные данные имеются только с 1923 г.

За период естественного режима средний сток у станции Раздорской составлял 26,4 км<sup>3</sup>. В современных условиях сток Дона зарегулирован Цимлянским водохранилищем (1952 г.), осуществляющим многолетнее регулирование стока. Непрерывно увеличивающееся с этого времени водопотребление уменьшило средний сток до 22 км<sup>3</sup>. По ряду наблюдений с 1923 по 1981 г. наибольший объем стока приходится на 1942 г. (49,9 км<sup>3</sup>), наименьший — на 1972 г. (9 км<sup>3</sup>). Период 1977—1981 гг. характеризуется повышенным стоком — 27,4 км<sup>3</sup>, этот период сменился периодом с очень низким стоком — 11,41 км<sup>3</sup> (1972—1976 гг.). Статистические параметры наблюдаемого стока Дона приведены в табл. 3.33.

Таблица 3.33

Теоретическая обеспеченность годового стока основных рек бассейна Азовского моря

| Обеспеченность, % | р. Дон (станция Раздорская) | р. Кубань (г. Краснодар) | Суммарный сток |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| 5                 | 50,1                        | 17,4                     | 65,9           |
| 10                | 42,3                        | 16,4                     | 60,9           |
| 20                | 35,3                        | 15,9                     | 49,7           |
| 25                | 34,8                        | 14,9                     | 47,9           |
| 30                | 33,1                        | 14,7                     | 46,4           |
| 40                | 29,6                        | 14,0                     | 42,4           |
| 50                | 27,2                        | 13,4                     | 39,7           |
| 60                | 22,8                        | 12,7                     | 33,5           |
| 70                | 20,4                        | 12,1                     | 31,9           |
| 75                | 19,4                        | 11,9                     | 31,0           |
| 80                | 17,7                        | 11,7                     | 28,8           |
| 90                | 15,9                        | 9,8                      | 26,5           |
| 95                | 13,6                        | 9,0                      | 24,7           |
| 100               | 11,8                        | 8,6                      | 21,0           |

Кубань образуется слиянием рек Уллукам и Учкулан, берущих начало на склонах Эльбруса, у края ледника Уллукам, впадает в Темрюкский залив, имеет обширную устьевую область (площадь 4300 км<sup>2</sup>). Наиболее длительные и надежные данные наблюдений за стоком Кубани имеются для станции г. Краснодара (с 1912 г.). Для реки характерны растянутое летнее половодье, дождевые паводки; зимой — паводки от оттепелей и дождей.

На гидрологический режим Кубани в нижнем течении оказывают влияния заборы воды в Невинномысский канал (с 1948 г.) и Большой Ставропольский канал (с 1973 г.), Краснодарское водохранилище, осуществляющие сезонное регулирование стока. В связи с тем что изменение стока

в придельтовой и дельтовой зонах в отдельные годы колеблется в значительных пределах — от 2,33 до 2,74 км<sup>3</sup>, — приток Кубани рассчитывается как алгебраическая сумма стока у г. Краснодара и изменения стока на участке Краснодар — устье.

Наибольший объем стока приходится на 1940 г. (18,9 км<sup>3</sup>), наименьший — на 1960 г. (5,1 км<sup>3</sup>). Нормы стока до зарегулирования (до 1948 г.) составляла 12,8 км<sup>3</sup>, после зарегулирования — 11,42 км<sup>3</sup>. Статистические параметры наблюдаемого стока Кубани приведены в табл. 3.33.

**Сток малых рек.** Характеристика стока малых рек получена как сумма стока рек, протекающих на территории каждой из трех, выделенных в табл. 3.30 зон. Суммарная доля стока малых рек в общем объеме поверхностного притока к морю составляет в среднем 5 %.

**Атмосферные осадки.** Количество осадков, как известно, инструментально измеряется только на прибрежных пунктах. В открытом море на экспедиционных и попутных судах отмечается лишь время и продолжительность осадков и их характер. Поэтому количество осадков определяется косвенным путем — либо исходя из теоретических предположений, что в сторону открытого моря количество осадков уменьшается, либо путем приближенного перехода от данных судовых наблюдений к данным прибрежных пунктов через продолжительность и характеристики интенсивности осадков. Таким приближенным путем можно определить многолетние «нормы» количества осадков на береговых станциях и по районам открытого моря, а затем, исходя из предположения, что относительные отклонения от нормы за конкретные годы на береговых станциях соответствуют отклонениям по районам открытого моря, рассчитывать количество осадков, выпавших за конкретные годы на поверхность моря в целом.

Для расчетов были использованы данные гидрометстанций Таганрог, Мариуполь, Ейск для Таганрогского залива и Бердянск, Генческ, Мысовое и Темрюк для собственно Азовского моря. Пропорция по площади между заливом и морем принята 0,14 : 0,86.

В распределении осадков над морем прослеживаются региональные особенности: с апреля по октябрь наименьшее количество осадков выпадает в центральных районах моря, с ноября по март — в западном и юго-западном. Данные о сезонном ходе осадков в различных районах моря приведены в табл. 2.21.

Наибольшее количество осадков, выпадающее на поверхность всего моря, за период 1923—1985 гг. составило 20,9 км<sup>3</sup> (1939 г.), наименьшее — 10,8 км<sup>3</sup> (1954 г.). Среднеквадратическое отклонение — 2,97 км<sup>3</sup>, коэффициент вариации — 0,174.

Сопоставляя полученные нами данные с полученными ранее в ГОИН и других организациях, мы установили, что, несмотря на сходный многолетний ход в целом, в отдельные годы между ними имеются заметные расхождения. Поскольку наши данные, как и другие, носят по известным причинам приближенный характер, мы сочли возможным осреднить их и использовать для расчетов водного баланса. При этом среднее многолетнее количество осадков, полученное первоначально нами, и осредненное практически совпали (около 15,5 км<sup>3</sup>). Экстремальные значения несколько изменились.

**Водообмен через Керченский пролив.** Исследования динамики вод в Керченском проливе имеют почти вековую историю. Однако значительная сложность самого объекта исследования и связанные с этим трудности в постановке наблюдений привели к тому, что до настоящего времени нет возможности получить достаточно надежные данные о расходах воды через Керченский пролив.

В связи с указанным обстоятельством исследования водообмена между Черным и Азовским морем выполнялись в основном с помощью косвенных расчетов, основанных либо на воднобалансовых методах, либо на решениях гидродинамических уравнений движения. Наиболее существенные проработки этого вопроса выполнены в последние десятилетия в ГОИН и СО ГОИН [4, 7, 8, 18, 93]. В результате выполненных исследований к настоящему времени разработаны гидродинамические и эмпирические методы расчета водообмена через Керченский пролив, учитывающие перепады уровня на концах пролива, тангенциальное напряжение ветра, влияние речного стока и пресного баланса Азовского моря на водообмен.

Выполненные расчеты водообмена позволили получить средние многолетние значения стока азовских вод и притока черноморских вод, которые, однако, весьма приблизительно отражают действительный водообмен через пролив и недостаточно точно увязываются с результатами расчетов водного и солевого балансов Азовского моря. Об этом свидетельствует широкий разброс крайних значений (максимальных и минимальных) азовского и черноморского потоков, приводимых в различных источниках. Так, ежегодный максимум азовского потока, по разным источникам, оценивается округленно в 77—67 км<sup>3</sup>, черноморского — в 51—38 км<sup>3</sup>. Минимальный поток из Азовского моря в Черное отмечается в пределах 32—43 км<sup>3</sup>, а черноморских — 22—28 км<sup>3</sup> в год.

Эмпирические уравнения связи потоков с речным стоком или с пресной составляющей водного баланса представляются то линейными, то показательными или степенными уравнениями. Более того, даже однотипные по структуре уравнения иногда заметно отличаются числовыми коэффициентами в зависимости от того, какие данные были использованы при их получении. В принципе же зависимость между речным стоком или с пресной составляющей водного баланса не может быть линейной. Из анализа значений результирующих потоков через Керченский пролив мы получили, что их связь с пресной составляющей водного баланса может быть приближенно представлена полукубической параболой вида  $B_0 = -0,2077 F^{1.5}$ , где  $B_0$  — результирующий водообмен (обычно отрицательный для Азовского моря), км<sup>3</sup>;  $F$  — пресная составляющая водного баланса, км<sup>3</sup>/год.

Однако это не означает, что в некоторых ограниченных пределах изменения пресного баланса и  $B_0$  эмпирическая связь не может быть представлена линейным уравнением.

Водообмен между Азовским и Черным морями зависит от режима течений в проливе и колебаний уровня поверхности моря, вызывающей изменения площади живого сечения.

На длиннопериодные (фоновые) колебания уровня, обусловленные пресным балансом моря (главным образом, речным стоком), накладыва-

ются высокочастотные колебания, вызванные ветром. При этом ветровая составляющая может значительно превосходить стоковую.

Уравнение для средней по сечению пролива скорости течения ( $\bar{U}$ ) найдено в виде

$$\bar{U} = \frac{T}{\rho r h} \left( 1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \lambda h} \right) + \frac{1}{\lambda h} \frac{g}{\rho} (\operatorname{th} \lambda h - \lambda h) d \frac{\xi}{x}, \quad (3.10)$$

где  $T$  — тангенциальное напряжение ветра,  $\rho$  — плотность воды,  $r$  — коэффициент горизонтального трения,  $h$  — глубина,  $\lambda = \sqrt{\frac{\rho}{\mu}}$ ,  $\mu$  — коэффициент

вертикального трения,  $g$  — ускорение свободного падения,  $\xi$  — превышение уровня над невозмущенной поверхностью. Расчеты для конкретных периодов выполняются с помощью номограмм или на ЭВМ. Входными данными являются среднесуточная разность уровней Мысовое — Феодосия и проекция ветра на ось пролива по данным пунктов Мысовое, Темрюк, Феодосия, Анапа.

По средней скорости течения, определенной по уравнению (3.10), и среднесуточному уровню в Опасном определяются среднесуточные расходы через пролив (северную узкость). Для перехода от расходов к фактическому водообмену учитываются объемы вод, не выходящие из пролива при смене знака расхода.

Для расчетов характеристик водообмена в многолетнем плане исследовались зависимости водообмена от «пресной» составляющей (речной сток + осадки — испарение) водного баланса, принятые в следующем виде:

а) для малотрансформированного режима (до 1951 г.)

$$V_A = 46,2 \cdot 1,01^F; V_C = \frac{47,4}{1,014^F}, \quad (3.11)$$

б) для зарегулированного режима

$$V_A = 41,4 \cdot 1,01^F; V_C = \frac{42,6}{1,014^F}, \quad (3.12)$$

где  $V_A$  — азовский поток,  $V_C$  — черноморский поток,  $F$  — пресная составляющая баланса.

Различие зависимостей для периода близкого к естественному режиму стока (до 1951 г.) и для периода зарегулированного стока (после 1952 г.) вызвано, по всей видимости, внутригодовым перераспределением стока, что повлекло за собой изменение значений и характера взаимодействия вынуждающих сил в Керченском проливе. В частности, активная ветровая деятельность, которая весной ранее (до зарегулирования) накладывалась на начало пика паводка, ныне взаимодействует со сглаженным притоком к морю. Аналогичная картина наблюдается и в другие сезоны.

Это привело к изменению абсолютных величин водообмена Азовского моря с Черным — приток черноморских вод увеличился на 4,3 %, а сток из Азовского моря уменьшился на 3,5 %, вследствие чего изменилось и соотношение азовских и черноморских вод, участвующих в водообмене.

Отношение притока соленых черноморских вод к стоку азовских вод при малотрансформированном режиме речного стока в среднем составляло



0,65. В современный период это отношение составляет 0,71.

В среднем за период 1923—1985 гг. в различные отрезки времени годовой приток черноморских вод округленно составил 36—38 км<sup>3</sup>, а сток азовских вод 53—55 км<sup>3</sup>.

По данным наших расчетов, крайние значения азовского и черноморского потоков оказались внутри интервалов, полученных по другим источникам. Наибольшие значения округленно оказались равными 74 и 48 км<sup>3</sup>, наименьшие — 41 и 25 км<sup>3</sup> соответственно.

Водообмен между Азовским морем и заливом Сиваш через пролив Тонкий играет незначительную роль в водном балансе Азовского моря. По данным многочисленных измерений расходов воды в проливе и наблюдений за уровнем и ветром в Геническе Ю. Г. Слатинский построил график связи расхода воды в проливе с определяющими факторами. В среднем ежегодный сток азовской воды в залив оказался около 1,5 км<sup>3</sup>, приток сивашских вод в море — около 0,4 км<sup>3</sup>. Следует отметить, что после строительства Северо-Крымского канала и увеличения сброса вод с орошаемых земель в Сиваш указанное соотношение изменилось в сторону увеличения притока сивашских вод в море (0,5 км<sup>3</sup>) и уменьшения стока азовских вод в Сиваш (1,3 км<sup>3</sup>).

**Испарение.** Испарение является одной из основных расходных составляющих водного баланса моря. Непосредственные инструментальные наблюдения за испарением с морской поверхности не производятся в связи с известными техническими трудностями постановки таких наблюдений и отсутствием соответствующей аппаратуры. Поэтому испарение обычно определяется либо как остаточный член уравнения водного или теплового баланса в случае, когда составляющие баланса могут быть достаточно определены, либо вычисляется по полумпирическим формулам по данным наблюдений за скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха и температурой поверхностного слоя моря. Для Азовского моря, сообщаемого с Черным морем через Керченский пролив, балансовые методы определения испарения являются неприемлемыми.

При расчетах испарения с поверхности моря чаще всего используются формулы, которые не учитывают влияние температурной стратификации приповерхностного слоя атмосферы на температурный обмен (например, формулы Свердруп, В. С. Самойленко и др.).

Для расчета среднего многолетнего годового испарения, когда стратификацию можно считать в среднем близкой к равновесной, такие формулы, как показывают многочисленные расчеты водного баланса замкнутых морских водоемов, дают удовлетворительные результаты. Однако когда возникает необходимость рассчитывать испарение за определенные годы, сезоны и месяцы, использование этих формул может приводить к существенным погрешностям (до 20—30 % при сильно выраженной температурной стратификации). В настоящих расчетах испарения использовалась формула Н. П. Гоптарева, учитывающая влияние температурной стратификации на скорость испарения.

При расчетах месячного испарения с открытых районов моря, когда наблюдения за скоростью

ветра, температурой и влажностью воздуха производятся практически на одной высоте, формула имеет вид

$$E = \frac{325,7 (e_s - e_z) U_z}{(\ln^* z - \ln^* z_0)^2}, \quad (3.13)$$

а для расчета испарения по данным береговых станций

$$E = \frac{325,7 (e_s - e_z) U_z}{(\ln^* z - \ln^* z_0) (\ln^* 2 - \ln^* z_0)}, \quad (3.14)$$

где  $E$  — слой испарившейся воды, мм/мес;  $e_s$  — максимальное парциальное давление водяного пара при  $t = T_w$  и  $S = S_w$ , %;  $e_s = e'_s \cdot (1 - 0,00053 S_w)$ ;  $e_z$ ,  $e_2$  — парциальное давление водяного пара на горизонте  $z$  и 2 м, гПа;  $z$  — горизонт измерения скорости ветра, м;  $U_z$  — скорость ветра, м/с;  $z_0$  — параметр шероховатости;

$$\ln^* z = \ln z - \alpha z + \frac{(\alpha z)^2}{2 \cdot 2!} - \frac{(\alpha z)^3}{3 \cdot 3!} + \dots + \frac{(\alpha z)^n}{n \cdot n!};$$

$\alpha$  — параметр, учитывающий стратификацию атмосферы,  $\alpha = f(r_i)$ ;  $r_i = (t_w - t_a)/U_z^2$  — аналог числа Ричардсона.

По средним многолетним данным были рассчитаны месячные и годовые нормы испарения по 48 квадратам открытой части моря и для девяти прибрежных пунктов (Мариполь, Таганрог, Приморско-Ахтарск, Темрюк, Геническ, Бердянск, Ейск, Должанское, Мысовое). Нормы испарения для моря и Таганрогского залива определялись планиметрированием площадей между изогнетами.

Ввиду того что гидрологических данных для расчета испарения за конкретный отрезок времени по открытому морю, как правило, недостаточно, было принято допущение, что изменения испарения в прибрежных районах моря пропорциональны изменениям испарения в открытом море. Далее предполагалось, что средние многолетние соотношения между испарением в прибрежных районах и в открытой части моря остаются неизменными во времени.

Таким образом, по относительным отклонениям от нормы значения испарения для береговых станций  $\frac{E_i}{\bar{E}} = K$  (где  $E_i$  — испарение в конкретном году и  $\bar{E}$  — норма испарения) можно перейти к испарению с открытой части моря с помощью соотношения:

$$\bar{K} = 0,86 \frac{\sum K_m}{4} + 0,14 \frac{\sum K_z}{2}, \quad (3.15)$$

где  $K_m$  и  $K_z$  — соответственно отклонение от нормы для береговых станций моря и залива, 4 и 2 — число береговых станций залива и моря; 0,86 и 0,14 — площадные коэффициенты.  $E_i = \bar{K} E_m$  — испарение с открытой части моря за конкретный период.

На основании уточненных данных по распределению температуры, воды, скорости ветра, абсолютной влажности, температуры воздуха для открытой части моря, представленных СО ГОИН, по описанной выше методике был проведен расчет испарения за период 1923—1985 гг.

Среднее многолетнее значение испарения с поверхности Азовского моря составляет  $34,6 \text{ км}^3$ . Как показал анализ результатов расчета, изменчивость испарения от года к году относительно невелика ( $\sigma = 0,06 \text{ км}^3$ ). Наибольшие значения испарения были зафиксированы в 1934, 1953 и 1955 гг. ( $38,2 \text{ км}^3$ ), наименьшие ( $25,8 \text{ км}^3$ ) в 1980 г. (табл. 3.31).

Толщина слоя испарения с поверхности Азовского моря имеет отчетливо выраженный годовой ход с максимумом в августе (рис. 3.30).

Географическое распределение испарения по площади моря имеет свои особенности, связанные с морфометрическими и гидрологическими факторами. Для каждого сезона формируется характерное распределение испарения.

Весной в период начала прогревания воды и воздуха интенсивность испарения в мелководных районах значительно больше, чем в центральных.

Летом отчетливо прослеживается тенденция к уменьшению испарения в направлении с севера на юг, причем в юго-восточных и юго-западных районах имеются зоны пониженного испарения.

Осенью в центральном районе моря формируется зона повышенного испарения, определяющаяся повышенным тепловым фоном и ветровой активностью в этом районе. В районе, прилегающем к Керченскому проливу, наблюдается зона относительно повышенного испарения вследствие проникновения более теплых в это время черноморских вод.

Зимой (в начале) в центральной части моря и в районе, прилегающем к Керченскому проливу, сохраняется область повышенного испарения. Это объясняется тем, что большой теплозапас центральной части моря и поступление относительно теплых черноморских вод определяют более высокую температуру воды. В Таганрогском заливе в это время уже отмечается конденсация.

В целом за год область повышенного испарения охватывает Таганрогский залив и центральную часть моря; в юго-западной и юго-восточной частях моря располагаются области пониженного испарения.

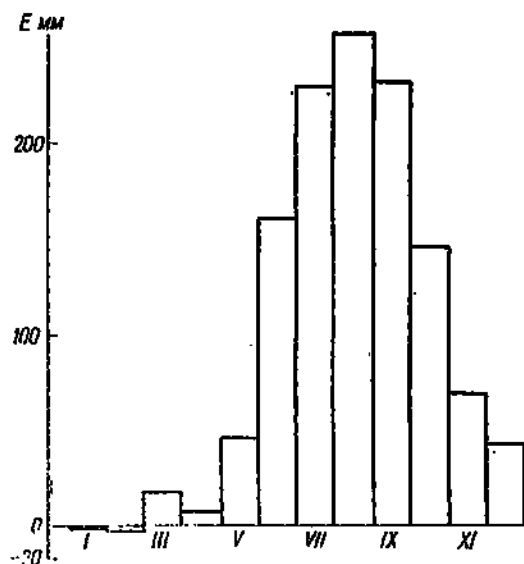


Рис. 3.30. Годовой ход испарения  $E$  с поверхности Азовского моря.

Анализ водного баланса Азовского моря (табл. 3.34) за 1923—1985 гг. показывает, что в составляющих баланса в период до зарегулирования речного стока (1951 г.) и после него произошли заметные изменения. Речной сток в море сократился в среднем на  $5,7 \text{ км}^3/\text{год}$ , приток черноморских вод увеличился на  $1,5 \text{ км}^3$ , сток азовских вод в Черное море на  $1,9 \text{ км}^3$ , но в целом водный баланс изменился мало. До зарегулирования стока он был слабо положительным, после зарегулирования — слабо отрицательным.

### 3.10. Солевой баланс

К наиболее основательным исследованиям солевого баланса Азовского моря следует отнести работы [5, 22, 40, 61, 74, 94].

Солевой баланс представляет собой производную водного баланса, поскольку его составляющие являются произведениями объемов воды, участвующих в водном балансе, на их соленость (минерализацию) и плотность. Аналогично уравнению водного баланса уравнение солевого баланса Азовского моря записывается в следующем виде:

$$V_p S_p + V_{oc} S_{oc} + V_{ч} S_{ч} + R_c S_{ч} - V_{ис} S_{ис} - V_A S_{А} - V'_A S_{А} = \Delta m, \quad (3.16)$$

где  $V$  обозначены соответствующие составляющие водного баланса (см. предыдущий раздел),  $S$  — соленость (или минерализация) и  $\rho$  — плотность вод. Здесь не учтены подземная составляющая, приход солей с атмосферными осадками и уход в атмосферу с испарением из-за их незначительности, а также выпадение сухих солей из атмосферы (например, во время пылевых бурь) вследствие отсутствия данных.

При расчетах солевого баланса были приняты следующие значения солености (минерализации) и плотности составляющих:  $S_p = 0,39 \text{ г/л}$  за 1923—1950 гг.,  $0,42 \text{ г/л}$  за 1951—1975 гг. и  $0,64 \text{ г/л}$  за 1976—1985 гг.;  $S_{ч} = 17,6 \text{ ‰}$ ,  $\rho = 1,014 \text{ г/см}^3$ ;  $S_c = 18,9 \text{ ‰}$ ,  $\rho_c = 1,015 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_A = 1,010 \text{ г/см}^3$ . Соленость азовской воды, стекающей в Черное море и Сиваш, принята переменной, равной солености первого и третьего районов соответственно, согласно районированию Азовского моря, принятому в [31]. Далее по изменению содержания солей в море ( $\Delta m_i$ ) рассчитывалось изменение солености в настоящем году по формуле

$$\Delta S_i = \frac{\Delta m_i - S_{i-1} \Delta V_i \rho}{(V_{i-1} \rho)}, \quad (3.17)$$

где  $\Delta S_i$ ,  $\Delta m_i$  и  $\Delta V_i$  — приращения солености, массы солей и объема воды в расчетном году соответственно;  $S_{i-1}$  и  $V_{i-1}$  — соленость и объем моря в предшествующем году,  $\rho$  — плотность азовских вод.

Результаты расчетов солевого баланса приводятся в табл. 3.35. Из данных табл. 3.35 следует, что ведущая роль как в приходной, так и в расходной частях принадлежит солеобмену через Керченский пролив. В приходной части он составляет 96 %, а в расходной — 98 %. Это обстоятельство явилось основной причиной разработки предложений и проектов регулирования водо-солеобмена в Керченском проливе для оптимизации

Водный баланс Азовского моря

| Год           | $V_p$ | $V_{oc}$ | $V_{ч}$ | $V_c$ | $V_{ис}$ | $V_A$ | $V'_A$ | $\Delta B_p$ | $\Delta B_{и}$ | $\Delta B_p - \Delta B_{и}$ | $F$   |
|---------------|-------|----------|---------|-------|----------|-------|--------|--------------|----------------|-----------------------------|-------|
| 1923          | 33,4  | 13,6     | 39,2    | 0,3   | 33,3     | 52,9  | 1,5    | -1,3         | -0,3           | -1,0                        | 13,7  |
| 1924          | 41,6  | 12,5     | 34,8    | 0,4   | 31,9     | 57,7  | 1,5    | -1,7         | -5,2           | 3,5                         | 22,2  |
| 1925          | 31,0  | 18,4     | 37,0    | 0,3   | 35,3     | 47,6  | 1,5    | 2,3          | 9,2            | -6,9                        | 14,1  |
| 1926          | 59,8  | 14,0     | 27,6    | 0,4   | 31,9     | 68,0  | 1,5    | -2,6         | -5,5           | 2,9                         | 38,9  |
| 1927          | 44,8  | 14,0     | 33,6    | 0,5   | 34,1     | 59,1  | 1,5    | -1,8         | -0,9           | -0,9                        | 21,7  |
| 1928          | 44,7  | 11,0     | 35,4    | 0,3   | 31,6     | 57,0  | 1,5    | -1,7         | 0              | -1,7                        | 21,1  |
| 1929          | 58,9  | 11,6     | 27,6    | 0,4   | 31,5     | 68,1  | 1,5    | -2,6         | -1,8           | 2,2                         | 39,0  |
| 1930          | 28,1  | 13,6     | 40,7    | 0,5   | 37,1     | 43,3  | 1,5    | 1,0          | 3,7            | -2,7                        | 4,6   |
| 1931          | 45,1  | 19,6     | 31,3    | 0,4   | 33,6     | 56,4  | 1,5    | 4,8          | 1,1            | 3,7                         | 31,1  |
| 1932          | 61,1  | 17,2     | 24,6    | 0,6   | 34,0     | 74,0  | 1,5    | -3,0         | -1,4           | +1,4                        | 47,3  |
| 1933          | 36,8  | 18,2     | 33,2    | 0,6   | 29,9     | 53,1  | 1,5    | 4,2          | 8,1            | -3,9                        | 25,1  |
| 1934          | 32,4  | 13,1     | 42,8    | 0,5   | 38,2     | 49,7  | 1,5    | -0,6         | -7,4           | 6,8                         | 7,3   |
| 1935          | 21,6  | 13,6     | 48,7    | 0,5   | 37,1     | 45,3  | 1,5    | 0,4          | 3,7            | -3,3                        | -19,7 |
| 1936          | 34,4  | 13,1     | 37,3    | 0,3   | 31,1     | 47,3  | 1,4    | +2,3         | -2,2           | 4,5                         | 13,4  |
| 1937          | 40,4  | 18,8     | 31,0    | 0,3   | 36,6     | 51,8  | 1,3    | 3,8          | 5,9            | -2,1                        | 22,0  |
| 1938          | 30,1  | 15,2     | 42,1    | 0,3   | 36,8     | 50,3  | 1,3    | -0,6         | -11,4          | 10,8                        | 8,5   |
| 1939          | 36,0  | 20,9     | 31,6    | 0,2   | 35,9     | 51,0  | 1,6    | 3,2          | 10,7           | -7,5                        | 21,0  |
| 1940          | 55,0  | 19,5     | 27,3    | 0,2   | 31,9     | 68,5  | 2,0    | -3,4         | 0,7            | -1,1                        | 39,6  |
| 1946          | 49,3  | 13,4     | 33,5    | 0,5   | 37,8     | 59,2  | 1,0    | -1,3         | -2,9           | 1,6                         | 21,9  |
| 1947          | 45,7  | 14,1     | 33,8    | 0,4   | 36,5     | 52,2  | 1,2    | 4,1          | 9,5            | -5,4                        | 23,3  |
| 1948          | 48,2  | 13,0     | 32,8    | 0,3   | 34,6     | 60,2  | 1,7    | -2,2         | -9,2           | 7,0                         | 26,6  |
| 1949          | 26,4  | 11,0     | 47,0    | 0,7   | 36,8     | 46,5  | 0,5    | +1,3         | 2,9            | -1,6                        | 0,6   |
| 1950          | 20,8  | 14,3     | 43,5    | 0,7   | 37,2     | 40,6  | 0,7    | 0,8          | 2,2            | -2,1                        | -2,1  |
| 1951          | 40,5  | 12,2     | 37,6    | 0,2   | 36,1     | 54,5  | 1,8    | -1,9         | -1,5           | -0,4                        | 16,8  |
| 1952          | 30,1  | 17,0     | 40,7    | 0,3   | 36,2     | 51,5  | 1,3    | -0,8         | 2,2            | -3,0                        | 10,9  |
| 1953          | 45,8  | 15,8     | 34,2    | 0,3   | 38,2     | 58,3  | 1,6    | -2,0         | -8,8           | 6,8                         | 23,4  |
| 1954          | 28,8  | 10,8     | 41,9    | 0,1   | 37,9     | 42,1  | 0,7    | 0,9          | 5,9            | -5,0                        | 1,7   |
| 1955          | 37,9  | 20,4     | 31,9    | 0,3   | 38,2     | 50,6  | 2,0    | 2,7          | 4,4            | -1,7                        | 20,1  |
| 1956          | 52,4  | 20,0     | 27,9    | 0,5   | 31,3     | 67,5  | 1,6    | -2,6         | -1,4           | 1,8                         | 38,1  |
| 1957          | 34,8  | 14,2     | 37,7    | 0,2   | 36,8     | 46,7  | 0,8    | +2,6         | 2,2            | 0,4                         | 12,2  |
| 1958          | 41,8  | 16,9     | 34,4    | 0,3   | 35,7     | 58,1  | 1,9    | -2,2         | -1,8           | -0,4                        | 23,0  |
| 1959          | 32,8  | 14,4     | 39,1    | 0,4   | 33,1     | 53,0  | 1,1    | -0,8         | -3,7           | 2,9                         | 13,8  |
| 1960          | 38,7  | 16,2     | 34,5    | 0,4   | 33,7     | 51,1  | 1,8    | 3,2          | 7,0            | -3,8                        | 21,2  |
| 1961          | 32,4  | 16,4     | 38,1    | 0,3   | 33,0     | 54,1  | 2,1    | -2,0         | -3,3           | 1,3                         | 15,8  |
| 1962          | 27,8  | 13,6     | 44,0    | 0,4   | 36,1     | 48,7  | 1,8    | -0,8         | -2,6           | 1,8                         | 5,3   |
| 1963          | 54,6  | 15,4     | 30,0    | 0,3   | 37,1     | 61,1  | 1,9    | -2,8         | -2,2           | -0,6                        | 32,9  |
| 1964          | 48,0  | 15,6     | 31,6    | 0,2   | 31,0     | 62,0  | 1,3    | -1,9         | +1,1           | -3,0                        | 29,6  |
| 1965          | 33,1  | 14,0     | 37,6    | 0,2   | 34,5     | 46,9  | 1,4    | 2,0          | 5,5            | -3,5                        | 12,6  |
| 1966          | 34,4  | 18,4     | 37,0    | 0,2   | 31,9     | 55,2  | 1,7    | -1,8         | -2,2           | 0,4                         | 17,9  |
| 1967          | 34,8  | 19,8     | 34,5    | 0,3   | 33,3     | 51,2  | 2,1    | 2,8          | 1,5            | 1,3                         | 21,3  |
| 1968          | 45,3  | 16,3     | 32,8    | 0,3   | 35,0     | 60,2  | 2,2    | -2,8         | -7,0           | 4,2                         | 26,6  |
| 1969          | 19,9  | 16,1     | 47,5    | 0,4   | 36,2     | 46,1  | 2,0    | 0,1          | 5,9            | -5,8                        | -0,2  |
| 1970          | 42,6  | 20,1     | 33,1    | 0,3   | 36,8     | 59,8  | 2,4    | -2,9         | -0,1           | -2,5                        | 25,9  |
| 1971          | 30,6  | 11,8     | 41,4    | 0,4   | 35,7     | 50,9  | 1,6    | -1,0         | -0,7           | -0,3                        | 9,7   |
| 1972          | 21,1  | 16,0     | 46,4    | 0,6   | 33,0     | 46,5  | 0,8    | 0,8          | -2,2           | 3,0                         | 1,6   |
| 1973          | 24,8  | 19,8     | 38,0    | 0,8   | 33,0     | 46,5  | 0,8    | 3,1          | 2,2            | 0,9                         | 11,6  |
| 1974          | 26,0  | 13,4     | 41,5    | 0,1   | 36,8     | 42,5  | 1,0    | 1,0          | 5,2            | -1,2                        | 2,6   |
| 1975          | 20,9  | 14,1     | 42,9    | 0,4   | 35,6     | 41,8  | 1,3    | 0,2          | -3,3           | 3,5                         | -0,6  |
| 1976          | 25,7  | 16,3     | 43,0    | 0,5   | 35,0     | 49,5  | 0,4    | 0,6          | -3,0           | 3,6                         | 7,0   |
| 1977          | 33,5  | 19,3     | 32,7    | 0,5   | 23,1     | 60,3  | 1,2    | -1,6         | 1,1            | -2,7                        | 26,7  |
| 1978          | 34,1  | 14,0     | 35,5    | 0,4   | 29,8     | 49,7  | 1,5    | 3,0          | 3,3            | -0,3                        | 18,3  |
| 1979          | 50,3  | 13,8     | 30,2    | 0,3   | 31,6     | 63,8  | 1,9    | -2,8         | -0,4           | -2,4                        | 32,5  |
| 1980          | 32,0  | 18,0     | 33,5    | 0,5   | 25,8     | 52,7  | 1,5    | 4,0          | 8,9            | -1,9                        | 21,2  |
| 1981          | 50,0  | 19,3     | 27,1    | 0,6   | 29,2     | 68,9  | 2,0    | -3,0         | -0,4           | -2,6                        | 40,1  |
| 1982          | 35,1  | 12,9     | 39,0    | 0,6   | 31,0     | 53,1  | 1,4    | -0,9         | -11,0          | 10,1                        | 14,0  |
| 1983          | 27,1  | 14,2     | 42,2    | 0,6   | 33,0     | 50,2  | 1,2    | -0,2         | -1,4           | 4,2                         | 8,3   |
| 1984          | 22,1  | 13,6     | 47,3    | 0,5   | 35,5     | 46,3  | 1,3    | 0,4          | -0,4           | 0,8                         | 0,2   |
| 1985          | 31,1  | 14,8     | 38,0    | 0,5   | 31,3     | 46,5  | 1,3    | 2,3          | 3,7            | -1,4                        | 11,6  |
| Среднее       |       |          |         |       |          |       |        |              |                |                             |       |
| 1923—1985 гг. | 37,1  | 15,5     | 36,73   | 0,4   | 31,6     | 53,64 | 1,5    | -0,005       | +0,01          |                             | 18,0  |
| 1923—1951 гг. | 40,4  | 14,8     | 35,83   | 0,4   | 35,1     | 54,76 | 1,4    | 0,6          | 0,1            |                             | 20,1  |
| 1952—1985 гг. | 34,7  | 16,1     | 7,36    | 0,4   | 31,3     | 52,85 | 1,5    | 0,1          | -0,1           |                             | 16,5  |

солевого режима Азовского моря в условиях дефицита пресной воды в его бассейне.

Многолетний размах колебаний величин основных составляющих солевого баланса весьма велик.

По нашим данным, за 1923—1985 гг. приток черноморских солей изменился более чем вдвое — от 430 млн. т в 1981 г. до 903 млн. т в 1935 г. (средний 635 млн. т).

Отток азовских солей в Черное море в 1984 г. составлял 467 млн. т, в 1940 г. — 849 млн. т

(средний 633 млн. т). Самый большой относительный многолетний размах, несмотря на малую абсолютную величину, имеет приток солей с речными водами — от 8,4 млн. т в 1935 и 1969 гг. до 32,2 млн. т в 1979 г. (средний 16,5 млн. т), т. е. изменяется почти в четыре раза.

Следует иметь в виду, что расчеты солевого баланса, выполненные прямым путем, являются весьма приближенными, поэтому расхождения между расчетными и наблюдаемыми значениями

Таблица 3.35

## Современный солевой баланс и соленость Азовского моря, млн. т

| Год     | $m_p$ | $m_c$ | $m_{\Sigma}$ | Приход<br>$\Sigma$ | $m_A$ | $m'_A$ | Расход<br>$\Sigma$ | $\Delta m$ | $S_p$ ‰ | $S_n$ ‰ | $S_p - S_n$ ‰ |
|---------|-------|-------|--------------|--------------------|-------|--------|--------------------|------------|---------|---------|---------------|
| 1923    | 13,0  | 5,8   | 748,4        | 767,2              | 598,4 | 11,5   | 609,9              | 157,3      | 10,7    | 10,5    | 0,2           |
| 1924    | 16,2  | 5,8   | 640,5        | 662,5              | 691,3 | 11,9   | 703,1              | -40,7      | 10,5    | 10,2    | 0,3           |
| 1925    | 12,1  | 5,8   | 729,9        | 747,8              | 624,5 | 11,8   | 636,3              | 111,5      | 10,9    | 10,5    | 0,4           |
| 1926    | 23,3  | 5,8   | 502,9        | 532,0              | 834,1 | 12,1   | 846,1              | -314,2     | 10,0    | 10,2    | -0,2          |
| 1927    | 17,5  | 5,8   | 620,3        | 643,6              | 672,7 | 11,3   | 684,0              | -40,4      | 9,9     | 9,9     | 0,0           |
| 1928    | 17,5  | 5,8   | 654,0        | 677,2              | 642,6 | 11,2   | 653,8              | 23,4       | 9,9     | 10,4    | -0,5          |
| 1929    | 23,0  | 5,8   | 564,0        | 592,8              | 666,1 | 11,3   | 676,4              | -83,6      | 9,7     | 10,1    | -0,4          |
| 1930    | 11,0  | 5,8   | 820,3        | 837,1              | 520,3 | 10,7   | 531,0              | 306,1      | 10,1    | 10,1    | 0,0           |
| 1931    | 17,6  | 5,8   | 568,3        | 591,7              | 723,9 | 11,4   | 735,4              | -143,7     | 9,7     | 10,4    | -0,7          |
| 1932    | 26,0  | 5,8   | 451,8        | 482,6              | 827,6 | 11,1   | 838,7              | -356,1     | 8,7     | 9,3     | -0,6          |
| 1933    | 14,4  | 5,8   | 628,1        | 648,3              | 603,5 | 10,2   | 613,7              | 34,5       | 8,8     | 9,3     | -0,8          |
| 1931    | 12,6  | 5,8   | 789,0        | 807,4              | 517,5 | 10,3   | 527,9              | 279,6      | 4,6     | 9,6     | 0,0           |
| 1935    | 8,4   | 5,8   | 902,9        | 917,1              | 501,2 | 11,0   | 512,3              | 404,9      | 10,8    | 10,3    | 0,5           |
| 1936    | 13,4  | 5,8   | 725,9        | 745,0              | 637,8 | 12,0   | 649,8              | 95,3       | 11,1    | 11,2    | -0,1          |
| 1937    | 15,8  | 5,8   | 645,9        | 667,4              | 706,6 | 12,2   | 718,8              | -51,4      | 10,9    | 11,2    | -0,3          |
| 1938    | 11,8  | 5,8   | 774,9        | 792,4              | 613,6 | 12,1   | 625,7              | 166,7      | 11,4    | 11,4    | 0,0           |
| 1939    | 11,1  | 3,8   | 655,8        | 673,7              | 714,0 | 12,5   | 726,4              | -52,7      | 11,2    | 11,8    | -0,6          |
| 1940    | 21,5  | 3,8   | 507,8        | 533,1              | 848,9 | 12,4   | 861,3              | -328,2     | 10,3    | 11,0    | -0,7          |
| 1946    | 19,2  | 9,6   | 619,5        | 648,3              | 702,4 | 11,8   | 714,2              | -65,9      | 10,3    | 10,5    | -0,2          |
| 1947    | 17,8  | 7,7   | 635,2        | 660,7              | 679,8 | 11,6   | 691,4              | -30,7      | 10,2    | 10,2    | 0,0           |
| 1948    | 18,8  | 5,8   | 520,7        | 545,2              | 778,3 | 11,5   | 789,9              | -244,6     | 9,5     | 10,4    | -0,9          |
| 1949    | 10,3  | 13,4  | 876,9        | 900,7              | 508,9 | 11,0   | 519,9              | 380,8      | 10,6    | 10,7    | -0,1          |
| 1950    | 8,7   | 11,5  | 900,4        | 920,7              | 539,8 | 11,8   | 551,6              | 369,0      | 11,6    | 11,4    | 0,2           |
| 1951    | 17,0  | 3,8   | 590,8        | 611,7              | 626,7 | 12,7   | 639,4              | -27,7      | 11,5    | 11,9    | -0,1          |
| 1952    | 12,7  | 5,8   | 638,6        | 657,0              | 589,6 | 12,6   | 602,2              | 54,8       | 11,7    | 11,9    | -0,2          |
| 1953    | 19,3  | 5,8   | 532,3        | 557,3              | 678,7 | 12,7   | 691,5              | -134,2     | 11,3    | 12,2    | -0,9          |
| 1954    | 12,1  | 1,9   | 739,0        | 753,0              | 521,5 | 12,4   | 533,9              | 219,1      | 11,9    | 11,9    | 0,0           |
| 1955    | 15,9  | 5,8   | 543,5        | 565,2              | 678,5 | 12,9   | 691,5              | -126,3     | 11,5    | 12,3    | -0,8          |
| 1956    | 22,0  | 9,6   | 444,3        | 475,9              | 764,2 | 12,6   | 776,8              | -300,9     | 10,6    | 11,5    | -0,9          |
| 1957    | 14,6  | 3,8   | 648,5        | 666,9              | 545,4 | 11,8   | 557,2              | 109,7      | 10,9    | 11,0    | -0,1          |
| 1958    | 17,6  | 5,8   | 573,0        | 596,3              | 609,3 | 12,1   | 621,3              | -25,0      | 10,8    | 11,1    | -0,3          |
| 1959    | 13,8  | 7,7   | 652,1        | 673,6              | 552,5 | 12,0   | 564,5              | 109,1      | 11,1    | 11,2    | -0,1          |
| 1960    | 16,3  | 7,7   | 595,7        | 619,7              | 602,4 | 12,3   | 614,7              | 5,0        | 11,1    | 11,4    | -0,3          |
| 1961    | 13,6  | 5,8   | 643,1        | 662,5              | 570,8 | 12,3   | 583,1              | 79,4       | 11,4    | 11,4    | 0,0           |
| 1962    | 11,7  | 7,7   | 738,0        | 757,3              | 526,5 | 12,5   | 539,0              | 218,3      | 12,1    | 11,8    | 0,3           |
| 1963    | 23,0  | 5,8   | 504,9        | 533,6              | 722,3 | 13,1   | 735,3              | -201,7     | 11,4    | 11,3    | 0,1           |
| 1964    | 20,2  | 3,8   | 524,9        | 549,0              | 674,0 | 12,5   | 686,5              | -137,5     | 11,0    | 11,1    | -0,1          |
| 1965    | 13,9  | 3,8   | 666,8        | 684,5              | 550,9 | 12,2   | 563,1              | 121,4      | 11,4    | 10,7    | 0,7           |
| 1966    | 14,5  | 3,8   | 630,7        | 649,0              | 588,0 | 12,5   | 600,5              | 48,5       | 11,5    | 10,9    | 0,6           |
| 1967    | 14,6  | 5,8   | 565,1        | 585,5              | 642,7 | 12,6   | 655,3              | -69,8      | 11,3    | 11,2    | 0,1           |
| 1968    | 19,0  | 5,8   | 517,7        | 542,5              | 674,9 | 12,4   | 687,3              | -144,8     | 10,9    | 10,9    | 0,0           |
| 1969    | 8,4   | 7,7   | 769,4        | 785,5              | 493,0 | 12,1   | 505,1              | 280,4      | 11,7    | 11,8    | -0,1          |
| 1970    | 17,9  | 5,8   | 522,8        | 546,4              | 689,6 | 12,8   | 702,4              | -156,0     | 11,3    | 11,9    | -0,6          |
| 1971    | 12,9  | 7,7   | 674,2        | 694,8              | 557,1 | 12,4   | 569,5              | 125,2      | 11,7    | 12,1    | -0,4          |
| 1972    | 8,9   | 11,5  | 752,5        | 772,9              | 528,4 | 12,7   | 541,1              | 231,8      | 12,3    | 12,2    | 0,1           |
| 1973    | 10,4  | 15,3  | 658,5        | 684,2              | 607,3 | 13,3   | 620,6              | 63,7       | 12,5    | 12,6    | -0,1          |
| 1971    | 10,9  | 7,7   | 739,0        | 757,6              | 564,4 | 13,4   | 577,8              | 179,8      | 13,0    | 12,9    | 0,1           |
| 1975    | 13,4  | 7,7   | 746,2        | 767,3              | 579,1 | 13,9   | 593,0              | 174,3      | 13,5    | 13,1    | 0,4           |
| 1976    | 16,5  | 7,7   | 678,0        | 702,1              | 640,1 | 14,3   | 654,3              | 47,8       | 13,6    | 13,7    | -0,1          |
| 1977    | 21,5  | 9,6   | 512,7        | 543,7              | 786,1 | 14,4   | 800,5              | -256,8     | 12,8    | 13,3    | -0,5          |
| 1978    | 21,8  | 7,7   | 583,5        | 613,0              | 681,7 | 13,7   | 695,3              | -82,4      | 12,5    | 12,8    | -0,3          |
| 1979    | 32,2  | 5,8   | 485,0        | 522,9              | 765,4 | 13,4   | 778,8              | -255,9     | 11,7    | 11,8    | -0,1          |
| 1980    | 20,5  | 9,6   | 523,5        | 553,6              | 688,3 | 12,8   | 701,1              | -147,5     | 11,2    | 11,8    | -0,6          |
| 1981    | 32,0  | 11,5  | 429,7        | 473,2              | 767,7 | 12,4   | 780,0              | -306,8     | 10,3    | 11,1    | -0,8          |
| 1982    | 22,5  | 11,5  | 632,5        | 666,4              | 543,5 | 11,5   | 555,1              | 111,4      | 10,6    | 10,8    | -0,2          |
| 1983    | 17,4  | 11,5  | 677,0        | 705,9              | 529,8 | 11,8   | 541,7              | 164,2      | 11,1    | 11,0    | 0,1           |
| 1984    | 14,2  | 9,6   | 630,0        | 653,7              | 467,3 | 12,0   | 479,3              | 174,4      | 11,9    | 11,4    | 0,5           |
| 1985    | 19,9  | 9,6   | 603,2        | 632,7              | 565,1 | 12,6   | 577,7              | 55,0       | 11,9    | 11,6    | 0,3           |
| Среднее | 16,48 | 7,0   | 635,3        | 658,8              | 633,2 | 12,2   | 645,4              | 13,39      | 11,09   | 11,24   | -0,15         |

Примечание.  $m_p$ ,  $m_c$ ,  $m_{\Sigma}$  — приход солей с речным стоком, с сивашскими и черноморскими водами;  $m_A$ ,  $m'_A$  — расход солей в Черное море и Сиваш;  $\Delta m$  — изменение массы солей в море;  $S_p$ ,  $S_n$  — рассчитанные и наблюдаемые значения солёности. Солёность для каждого года рассчитывалась как  $S_p(i) = S_p(i-1) + \Delta S_i$ , т. е. из данных наблюдений бралось только одно значение солёности за год, предшествующий расчетному.

солёности (невязки) иногда бывают значительными. По нашим данным, в 14 случаях из 58 (24 %) невязки превышают 0,5 ‰ и в отдельные годы достигают 0,9 ‰. Это объясняется, на наш взгляд, главным образом недостаточной изученностью механизма водо-солеобмена через Керченский пролив, хотя возможны и другие причины погрешностей. Достаточно сказать, что даже по

данным наблюдений солёность моря, определяемая по нескольким гидрологическим съёмкам за навигационный период, представляется весьма приближенной.

Тем не менее, приведенные здесь данные о солевом балансе Азовского моря дают о нем в целом правильное представление. Половина всех невязок не превышает  $\pm 0,2$  ‰.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А. А. Изменения гидрологического режима Азовского моря в связи с зарегулированием стока рек Дона и Кубани.— Труды ГОИН, 1955, вып. 12.
2. Аксенов А. А. Предстоящие изменения в гидрологическом режиме Азовского моря.— Труды ГОИН, 1955, вып. 20.
3. Алдакимова А. Я., Некрасова М. Я., Студеникина Е. И. Гидрологический режим Азовского моря и его изменения в связи с преобразованием речного стока.— В кн.: Вопросы биогеографии Азовского моря и его бассейна. Л., 1977.
4. Альтман Э. Н., Толмазин Д. М. Метод расчета течений и водообмена в Керченском проливе.— Океанология, 1970, т. 10, вып. 3.
5. Альтман Э. Н. Современный солевой баланс Азовского моря и его многолетняя изменчивость.— Биология моря, 1972, вып. 27.
6. Альтман Э. Н. Расчет солености Азовского моря.— Труды ГОИН, 1975, вып. 125.
7. Альтман Э. Н. Структура течений Керченского пролива.— Труды ГОИН, 1975, вып. 125.
8. Альтман Э. Н. Исследование водообмена между Черным и Азовским морями.— Труды Лаборатории южных морей, ГОИН, 1972, вып. 11.
9. Альтман Э. Н. Водообмен через Керченский пролив в условиях зарегулированного стока рек.— Океанология, 1973, т. 13, вып. 3.
10. Альтман Э. Н. К вопросу об изменчивости расходов воды в Керченском проливе по натурным наблюдениям.— Труды ГОИН, 1976, вып. 132.
11. Андрусов Н. И. О необходимости глубоководных исследований в Черном море.— Изв. РГО, 1890, т. 26, вып. 2.
12. Антонов Л. В. Материалы по гидрологии Азовского моря.— Записки по гидрографии, 1926, т. 1.
13. Асариц А. Е., Наумов А. М. Расчет ожидаемой солености воды в Азовском море.— Труды Гидропроекта, 1976, вып. 53.
14. Атлас океанов. Термины и понятия. Справочные таблицы.— Л., 1980.
15. Атлас составляющих теплового и водного баланса Украины.— Л.: Гидрометеониздат, 1966.
16. Бакум Т. А., Затучная Б. М. Районирование Азовского моря на современном этапе.— В кн.: Химия и биология морей. М.: Гидрометеониздат, 1987.
17. Белов В. П. Режим ветра и ветрового волнения на Азовском море.— Труды ГОИН, 1978, вып. 134.
18. Белов В. П., Филиппов Ю. Г. Основные черты динамики вод Азовского моря и Керченского пролива.— Труды ГОИН, 1978, вып. 139.
19. Белов В. П., Филиппов Ю. Г. Влияние неоднородности поля ветра на величину сгонно-нагонных колебаний уровня мелкого моря на примере Азовского моря.— Труды ГОИН, 1979, вып. 143.
20. Белов В. П., Филиппов Ю. Г., Шкудова Г. Я. Расчет режимных характеристик морских течений по результатам применения численных гидродинамических моделей.— Труды ГОИН, 1981, вып. 156.
21. Бронфман А. М. Современный гидролого-гидрохимический режим Азовского моря и возможные его изменения.— Труды АЗНИИРХ, 1972, вып. 10.
22. Бронфман А. М. Соленость Азовского моря и ее предстоящие изменения.— Изв. Северо-Кавказского научного центра Высшей школы, 1973, вып. 1.
23. Бронфман А. М., Макарова Г. Д. Химические основы продуктивности Азовского моря в условиях ожидаемого преобразования его водного баланса.— Изв. Северо-Кавказского научного центра Высшей школы, 1973, вып. 1.
24. Бронфман А. М., Домбровский Ю. А. Экологические закономерности и статистические модели формирования химических основ продуктивности Азовского моря.— Изв. Северо-Кавказского научного центра Высшей школы, 1975, вып. 1.
25. Бронфман А. М., Сурков Ф. А. Статистическая модель формирования солености Азовского моря.— Труды ВНИРО, 1976, т. 118.
26. Бронфман А. М. Формирование и антропогенное изменение стока взвешенных наносов в Азовском море.— В кн.: Географические аспекты изучения гидрологии и гидрохимии Азовского бассейна. Л., 1981.
27. Бронфман А. М., Самуйлов Д. А., Хлебников Е. П. К проблеме эффективности основных альтернатив управления экосистемой Азовского моря.— Труды Гидропроекта, 1983, вып. 99.
28. Бронфман А. М., Хлебников Е. П. Имитационная модель динамики вод и переноса веществ в Азовском море при регулировании его водообмена через Керченский пролив.— В кн.: Применение математических методов в экономико-экологических исследованиях.— Киев, 1983.
29. Бронфман А. М. Некоторые черты циркуляции вод на устьевом взморье Дона при сгонах.— Труды ГОИН, 1964, вып. 78.
30. Воронич И. И., Жданов Ю. А. Имитационная модель экосистемы Азовского моря.— Вестник АН СССР, 1982, № 8.
31. Воронков П. П., Свитаев А. И. Опыт расчета возможной солености Азовского моря в связи с предполагаемыми изменениями его режима.— Труды НИУ ГУГМС, 1941, вып. 2.
32. Врангель Ф. Ф. Несколько определений плотности и температуры воды Черного и Азовского морей.— Морской сборник, 1874, № 3.
33. Врангель Ф. Ф. О физических исследованиях в Черном и Азовском морях.— Морской сборник, 1875, № 12.
34. Герман В. Х. Исследование и расчет вероятностных характеристик экстремальных уровней моря.— Труды ГОИН, 1970, вып. 107.
35. Герман В. Х. Об исследовании связи колебаний уровня моря с полем атмосферного давления как линейной динамической системы с постоянными параметрами.— Труды ГОИН, 1974, вып. 121.
36. Герман В. Х. Связь колебаний уровня мелкого моря с вынуждающими силами в синоптическом диапазоне частот.— Труды ГОИН, 1975, вып. 126.
37. Герман В. Х. Спектральный анализ колебаний уровня Азовского, Черного и Каспийского морей в диапазоне частот от одного цикла за несколько часов до одного цикла за несколько суток.— Труды ГОИН, 1971, вып. 103.
38. Герман В. Х. Спектральный метод построения уравнений регрессии для расчета неперриодических колебаний уровня моря.— Метеорология и гидрология, 1976, № 7.
39. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 3. Азовское море.— Л.: Гидрометеониздат, 1986.
40. Гидрометеорологический справочник Азовского моря.— Л.: Гидрометеониздат, 1962.
41. Гончарев Н. П., Шлыгин И. А. О критических значениях элементов гидрологического режима Азовского моря.— Труды ГОИН, 1980, вып. 159.
42. Иванов Г. С. О колебаниях уровня Азовского моря, обусловленных гидрометеорологическими факторами.— Доклады ГОИН, 1945, № 56, с. 1—11.
43. Каракаш А. И. Метод прогноза краткосрочных изменений уровня на внутренних морях СССР.— Метеорология и гидрология, 1939, № 3, с. 78—92.
44. Кириллов И. Ф. Расчет сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря.— Труды ГОИН, 1967, вып. 80.
45. Кириллов И. Ф. Опыт применения численного метода для расчета сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря.— Труды ГОИН, 1964, вып. 75.
46. Климатический и гидрологический Атлас Черного и Азовского морей.— М.: Гидрометеониздат, 1956.
47. Книпович Н. М. Солевой режим Азовского моря.— Известия ГГИ, 1934, № 63.
48. Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Азовском море.— Труды Азово-Черноморской научно-промышленной экспедиции, 1932, вып. 5.
49. Кропачев Л. Н. Методы предвычисления опасных подъемов уровня Азовского моря.— Труды Океанографической комиссии, 1960, т. 7, с. 136—147.
50. Курчатов И. В. Сейши в Черном и Азовском морях.— М.: Изд-во Центрального Гидрометбюро, 1925, вып. 4.
51. Лабунская Л. С. Атмосферные осадки Азовского моря.— Труды ГОИН, 1975, вып. 125.
52. Макарова Г. Д. Кислородный режим Азовского моря и условия его формирования в период зарегулирования стока р. Дон.— В кн.: Химические ресурсы морей и океанов. М.: Наука, 1970.
53. Методические указания. Расчет турбулентных потоков тепла, влаги, количества движения над морем.— Л., 1981.— 56 с.

54. Овсененко С. Н. Расчет сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря.—Труды Гидрометцентра СССР, 1972, вып. 60, с. 55—58.
55. Овсененко С. Н. Расчет катастрофического нагона у юго-восточного побережья Азовского моря.—Труды Гидрометцентра СССР, 1973, вып. 127, с. 33—36.
56. Поляков В. Н., Шлыгин И. А. Водный баланс и возможные изменения солёности вод Таганрогского залива.—Труды ГОИН, 1979, вып. 143.
57. Раткович Д. Я. и др. Проблема Азовского моря.—Водные ресурсы, 1980, № 4.
58. Регистр СССР. Ветер и волны в океанах и морях.—Л.: Транспорт, 1974.
59. Рекомендации по расчету составляющих радиационного баланса поверхности океана.—Л., 1982.
60. Ремизова С. С. Водный баланс Азовского моря.—Водные ресурсы, 1984, № 1.
61. Ремизова С. С. Солевой баланс Азовского моря.—Водные ресурсы, 1984, № 3.
61. Родионов Н. А. Особенности гидрологического режима Таганрогского залива при сгонах и нагонах.—Труды ГОИН, 1967, вып. 89.
63. Руководство по расчету параметров ветрового волнения.—Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
64. Руководство по расчету волнения и ветра над морем.—М.: Гидрометеоиздат, 1960.—153 с.
65. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях.—М.: Гидрометеоиздат, 1973.
66. Самойленко В. С. Ближайшее будущее Азовского моря.—Труды ГОИН, 1947, вып. 3 (15).
67. Симонов А. И., Родионов Н. А., Затучная Б. М. Расчет будущей солёности Азовского моря и Северного Каспия.—Метеорология и гидрология, 1966, № 4.
68. Симонов А. И. Оценка влияния сгонно-нагонных явлений на величину среднегодового уровня (на примере Азовского моря).—Труды ГОИН, 1961, вып. 61.
69. Синюрин Ю. Н. Торосистость плавучего льда в открытых частях Азовского моря.—Метеорология и гидрология, 1978, № 3.
70. Синюрин Ю. Н. Гидрометеорологические процессы, обуславливающие ледовый режим и ледопроездимость Азовского моря. Автореф. дисс. на соискание учён. степени канд. геогр. наук.—М., 1979.
71. Скриптунова Н. А. Течения на устьевом взморье Дона (Таганрогский залив).—Труды ГОИН, 1978, вып. 139.
72. Славин Л. Б. Тепловой баланс и теплооборот Азовского моря.—Труды БГМО ЧАМ, 1965, вып. 3.
73. Смолякова Н. В., Шлыгин И. А. Современный и восстановленный водный баланс и солёность Азовского моря.—Труды ГОИН, 1980, вып. 159.
74. Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей СССР.—Труды ГОИН, 1972, вып. 108.
75. Соколов И. П. К вопросу о расчете течений Таганрогского залива.—Труды Ростовского ГМО, 1968, вып. 8.
76. Справочник по климату СССР, вып. 10, ч. III, ветер.—Л.: Гидрометеоиздат, 1967.
77. Справочник по климату СССР, вып. 10, ч. IV.—Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
78. Справочник по климату СССР, вып. 10, ч. V.—Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
79. Справочник по климату СССР, вып. 13, ч. III, ветер.—Л.: Гидрометеоиздат, 1967.
80. Справочник по климату СССР, вып. 13, ч. IV.—Л.: Гидрометеоиздат, 1968.
81. Справочник по климату СССР, вып. 13, ч. V.—Л.: Гидрометеоиздат, 1968.
82. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР, часть I, т. 3, Азовское море, вып. 1. Прибрежная зона моря.—Киев, 1970.
83. Федотов М. В. Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее изменений в связи с гидростроительством на реках.—Труды ВНИРО, 1955, т. 31, вып. 1.
84. Филиппов Ю. Г. Об одном способе расчета морских течений.—Труды ГОИН, 1970, вып. 103, с. 87—94.
85. Фомичева Л. А. К вопросу об изменчивости уровня Азовского моря.—Труды Лаборатории южных морей ГОИН, 1972, вып. 11, с. 128—135.
86. Хрусталева Ю. П., Щербakov Ф. А. О балансе седиментационного материала в Азовском море.—Океанология, 1968, т. 8, вып. 3.
87. Цурикова А. П., Шульгина Е. Ф. Гидрохимия Азовского моря.—Л.: Гидрометеоиздат, 1964.
88. Чернякова А. П. Сильные ветры Азовского моря.—Труды БГМО ЧАМ, 1964, вып. 2.
89. Чернякова А. П. Типовые поля ветра Черного моря.—Труды БГМО ЧАМ, 1965, вып. 3.
90. Шереметевская О. И. Прогноз опасных уровней Азовского моря при штормах восточных направлений.—Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 161.
91. Шереметевская О. И. Сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря, методы их расчетов и прогнозов.—М., 1977.—33 с.
92. Шлыгин И. А. О возможности изменения солёности между Черным и Азовским морями путем создания опресненной буферной зоны.—Метеорология и гидрология, 1975, № 4.
93. Шлыгин И. А. Водообмен Азовского моря с Черным при работе регулирующего сооружения в Керченском проливе.—Метеорология и гидрология, 1979, № 6.
94. Шлыгин И. А. Современная и будущая солёность Азовского моря и методы ее расчета.—Обзорная информация, вып. 1. Обнинск, 1980.
95. Шиндлер И. Б., Врангель Ф. Ф. Материалы по изучению гидрологии Черного и Азовского морей.—Записки по гидрографии, 1899, вып. 20, приложение.

## ЧАСТЬ II. ГИДРОХИМИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ

### ВВЕДЕНИЕ

Задачи изучения наших внутренних морей весьма разнообразны, и все они имеют непосредственную связь с народнохозяйственными проблемами. Несомненно, что при их решении одно из центральных мест занимают и исследования гидрохимических условий Азовского моря, определяющих во многом его продуктивность. Особенно актуальными эти исследования стали в последние три-четыре десятилетия в связи с водохозяйственными мероприятиями в бассейне моря, существенно повлиявшими на его режим, а также в связи с химическим загрязнением морских вод. Основная цель таких исследований — восстановление или поддержание продуктивности моря, а также осуществление управления экологической системой моря.

В результате исследований, выполненных совместно ГОИН и АзНИИРХ в рамках темы ГКНТ «Моря СССР», были установлены закономерности формирования и изменения гидрохимических условий Азовского моря под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Часть II предлагаемого выпуска состоит из пяти глав.

В первой главе кратко рассматриваются гидрохимическая изученность и история гидрохимических исследований Азовского моря, объем использованных гидрохимических материалов и уточненное районирование Азовского моря в соответствии с изменениями его режима.

Вторая глава посвящена солевому составу вод Азовского моря, особенностям его формирования и изменчивости под влиянием естественных и ан-

тропогенных факторов. Рассмотрена также электропроводность вод моря.

В третьей главе выявляются специфика кислотного режима Азовского моря, факторы его определяющие, а также условия образования заморных явлений и сероводорода.

В четвертой главе представлена многолетняя и сезонная динамика биогенных веществ и подробно рассматриваются основные составляющие их баланса в различные периоды водности рек, питающих море. В этой главе дан анализ результатов, полученных при моделировании влияния гидрометеорологических условий на формирование режима биогенных веществ моря.

В пятой главе рассматривается режим щелочности и pH — основных элементов химического равновесия моря.

В данной части представлены ряды систематических гидрохимических наблюдений и целевых экспедиций в форме таблиц статистических характеристик гидрохимических параметров, которые могут быть использованы для прогнозирования изменений гидрохимического режима Азовского моря и при решении целого ряда экологических проблем.

Материалы этой части являются существенным научным вкладом в изучение гидрохимии южных морей Советского Союза и предназначаются для широкого использования гидрологами, гидрохимиками, гидробиологами и т. д. при решении различных задач в области рационального использования природных ресурсов и охраны среды Азовского моря.

### 1. ИЗУЧЕННОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

#### 1.1. Предмет и задачи исследования гидрохимии в различные периоды изучения моря

Систематические наблюдения за гидрохимическим режимом Азовского моря основывались на опыте предшествующих работ, которые были направлены главным образом на изучение закономерностей гидрохимических процессов и определения их роли в формировании продуктивности моря. Первые научные результаты таких работ были изложены в отчетах Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции, которая проводилась под руководством Н. М. Книповича [28] с 1922 по 1927 г.

В 1928—1929 гг. эпизодические исследования солености и газового режима вод Азовского моря проводились Управлением по безопасности судоходства на Черном и Азовском морях и Азово-Черноморской научно-исследовательской рыбохозяйственной станцией.

К началу 30-х годов была организована постоянная гидрометеорологическая служба, которая вела наблюдения на Азовском море на 30 станциях

и постах. Примерно в это же время Азово-Черноморский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АзЧерНИРО) организовал систематические морские наблюдения по ихтиологии, гидробиологии, гидрохимии и гидрологии.

Основные научные результаты этих наблюдений были изложены в работах В. Г. Дацко [17—19], М. В. Федосова [49, 53], М. В. Федосова и Е. Г. Виноградовой [51], Т. И. Горшковой [16]. Работы этих авторов явились естественным продолжением работ, начатых Н. М. Книповичем, по исследованию основных процессов, формирующих гидрохимический режим Азовского моря в условиях так называемого естественного режима водного стока.

Последние три десятилетия регулярное изучение гидрохимического режима Азовского моря проводилось Научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства Азовского моря (АзНИИРХ). С 1958 г. систематические гидролого-гидрохимические работы проводятся в системе Госкомгидромета СССР под руководством ГОИН. Эти исследования относятся к периоду интенсивного изменения



гидролого-гидрохимического режима Азовского моря под влиянием антропогенных факторов, которые в первую очередь воздействуют на речной сток, питающий море (создание аккумулирующих водохранилищ), безвозвратное использование поверхностных вод в процессе хозяйственной деятельности, а также сброс бытовых и промышленных вод в водотоки и водоемы бассейна. В связи с этим изучение гидрохимических характеристик вод Азовского моря стало весьма актуальным, так как их изменчивость, как правило, является отражением возможных отклонений в функционировании экосистемы моря.

В монографии А. П. Цуриковой и Е. Ф. Шульгиной [55] освещаются результаты исследования солевого состава, режима солености, солевого баланса, содержания кислорода, биогенных веществ Азовского моря, относящиеся к периоду начала развития гидростроительства в бассейнах рек Дона и Кубани. Авторы также рассматривают ряд теоретических вопросов формирования состава вод в процессе смешения и изменения гидрохимического режима моря вследствие зарегулирования стока рек.

Результаты исследований, развернувшихся с начала 60-х годов, явились основой для выявления закономерностей и факторов, формирующих изменения химических основ продуктивности Азовского моря в период активного антропогенного воздействия. Они нашли свое отражение в значительных публикациях монографического характера и фондовых материалах АЗНИИРХ и ГОИН [9, 31, 40, 44].

Использование шельфовой зоны морей СССР в народном хозяйстве является весьма важной государственной задачей. Работы по изучению шельфовой зоны морей и, в частности, Азовского моря, развернувшиеся в 70-х годах, велись по программе, согласованной с различными ведомствами: геологии, газовой и нефтяной промышленности и т. д. В Справочнике по шельфу Азовского моря содержатся обобщенные сведения по гидрологическому (уровень, волнение, течение, лед, температура и прозрачность воды), гидрохимическому (соленость, растворенный кислород, водородный показатель, щелочность) и метеорологическому (температура воздуха, ветер, комплексные метеорологические элементы) режимам, полученные на береговых гидрометеорологических станциях Азовского моря и в открытом море с экспедиционных судов. Данные, вошедшие в состав Справочника по шельфу, предназначены для использования при изысканиях, разведочном бурении, гидротехническом строительстве, в технико-экономических обоснованиях и принятии принципиальных решений при выборе мест строительства и типов сооружений на Азовском море. Из гидрохимических элементов в Справочнике помещены те, которые вызывают коррозию металлов и агрессивны по отношению к другим строительным материалам, в первую очередь к бетону, т. е. содержание кислорода, pH и щелочность.

Бассейн Азовского моря является весьма обширным районом тесного взаимодействия развитых аграрно-промышленных комплексов и морской экосистемы. Поэтому одной из важнейших региональных проблем оказывается организация рационального природопользования данного района.

Первым шагом к научно обоснованному реше-

нию этой проблемы явилась разработка в 1972 г. схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна Азовского моря. В дальнейшем силами ряда научных институтов были продолжены целенаправленные детальные исследования гидролого-гидрохимических и биопродукционных последствий хозяйственной деятельности в бассейне Азовского моря. В результате этих комплексных исследований были разработаны теоретические и методические основы нормирования предельно допустимых нагрузок на экосистему моря, а также были выдвинуты основные принципы и предложены критерии народнохозяйственной эффективности управления водными ресурсами бассейна с целью восстановления и сохранения гидролого-гидрохимического режима моря и уникальной его продуктивности [11].

В ходе исследований обобщались данные наблюдений за кислородом, pH, щелочностью, биогенными веществами, которые в течение 25 лет под руководством ГОИН и АЗНИИРХ выполнялись по стандартной программе наблюдений за пространственно-временной изменчивостью гидрохимических показателей. Программа натурных исследований по гидрологии и гидрохимии включала в себя, как правило, постоянную схему станций (рис. 1.1), довольно равномерно расположенных по акватории Азовского моря. Гидрохимические наблюдения на станциях включали в себя следующие ингредиенты: содержание растворенного кислорода, pH, щелочность, содержание фосфата, валового фосфора, кремниевой кислоты, аммонийного азота, нитритов, нитратов, органических форм азота. В течение 1980—1981 гг. в ГОИН также проводились исследования по уточнению солевого состава вод Азовского моря в связи с существенным изменением его гидролого-гидрохимического режима. Общий объем проанализированных проб представлен в табл. 1.1, 1.2.

Отбор, консервация и химический анализ проб осуществлялись, как правило, согласно принятым методам [39]. Определение концентрации органических составляющих азота и фосфора проводилось в осредненных по вертикали нефилтрован-

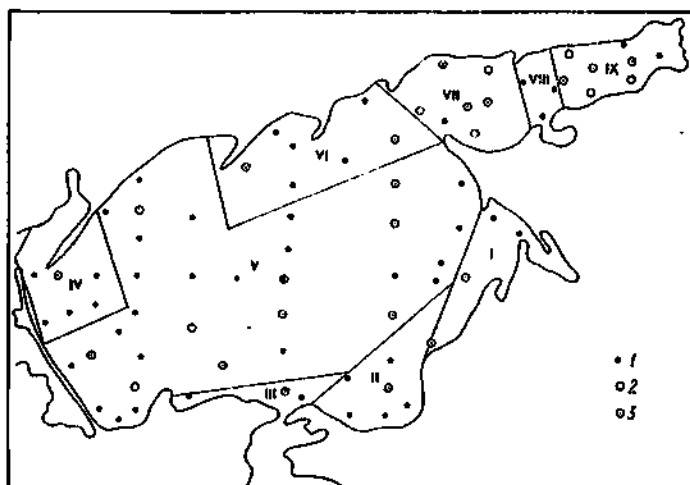


Рис. 1.1. Схема станций наблюдений и выделенных районов (I—IX) в Азовском море.

1 — станции Госгидромета СССР, 2 — станции АЗНИИРХ, 3 — совпадающие станции Госгидромета СССР и АЗНИИРХ.



Таблица 1.1

Объем выполненных гидрохимических исследований  
в Азовском море в 1960—1985 гг. в системе  
Госгидромета СССР под руководством ГОИН

| Гидрохимический показатель | Зима | Весна | Лето  | Осень | Общее число наблюдений |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|------------------------|
| Солевой состав             | —    | 25    | 25    | —     | 50                     |
| Кислород                   | 630  | 3 610 | 6 700 | 3 870 | 14 810                 |
| pH                         | 380  | 1 420 | 2 760 | 1 760 | 6 320                  |
| Щелочность                 | 390  | 1 130 | 1 800 | 1 680 | 5 000                  |
| Фосфаты                    | 425  | 1 540 | 2 520 | 1 955 | 6 440                  |
| Нитраты                    | 160  | 1 460 | 2 100 | 1 280 | 5 000                  |
| Кремниевая кислота         | 600  | 1 340 | 1 930 | 1 480 | 5 350                  |

Таблица 1.2

Объем выполненных АзНИИРХ гидрохимических исследований в Азовском море

| Гидрохимический показатель | Период исследований | Весна | Лето | Осень | Общее число наблюдений |
|----------------------------|---------------------|-------|------|-------|------------------------|
| Кислород                   | 1960—1986           | 1575  | 3220 | 1540  | 6335                   |
| Фосфаты                    | 1960—1981           | 1245  | 2599 | 1260  | 4995                   |
| Органический фосфор        | 1960—1981           | 1015  | 1980 | 905   | 3900                   |
| Нитриты                    | 1960—1981           | 740   | 1715 | 750   | 3205                   |
| Нитраты                    | 1960—1981           | 710   | 1625 | 600   | 2835                   |
| Аммонийный азот            | 1960—1981           | 685   | 1645 | 610   | 2940                   |
| Органический азот          | 1960—1981           | 440   | 1495 | 520   | 2455                   |
| Кремниевая кислота         | 1960—1983           | 1280  | 2420 | 1280  | 4980                   |

ных пробах. Методы определения солевого состава будут рассмотрены далее в соответствующей главе данного раздела.

## 1.2. Районирование Азовского моря на современном этапе

В течение последних четырех десятилетий исследователи гидролого-гидрохимического режима Азовского моря при обобщении данных многолетних наблюдений используют схему районирования моря, включающую 13 районов [9, 15, 55].

Впервые в начале 30-х годов районирование моря было проведено Н. М. Книповичем по результатам комплексной Азово-Черноморской научно-промышленной экспедиции 1928—1929 гг. [28]. В результате анализа распределения солёности на акватории моря было выделено 14 районов.

В дальнейшем было произведено уточнение районирования моря с учетом морфометрических особенностей моря и пространственного распределения солёности. П. П. Воронков и А. И. Свитаев [14] ограничили выделением 13 районов, в основном совпадающих с предложенными Н. М. Книповичем. Ими же были разработаны эмпирические приемы расчета пространственного распределения солёности на основе выявления зависимостей средних значений солёности по районам от средней солёности всего моря, которая определялась балансовыми методами. В отдельных случаях исследователи, занимаясь изучением гидролого-гидрохимического режима моря, ограничивались двумя районами: собственно Азовское море и Таганрогский залив [55]. Такой подход не всегда представляется оправданным, так как отсутствие детали-

зации в данном случае приводит к затушевыванию некоторых основных закономерностей гидролого-гидрохимического режима моря, обусловленных весьма значительным поступлением в Азовское море речного стока, водообменом с Черным морем, внутриконтинентальным положением моря и его морфометрическими особенностями.

За последнюю четверть века на совокупность природных факторов, определяющих режим моря, оказывает влияние антропогенное воздействие, связанное прежде всего с изменением объемов речного стока и с поступлением черноморской воды. Зарегулирование и безвозвратное изъятие речного стока привели к нарушению водного и солевого баланса Азовского моря, что в первую очередь обусловило изменение режима солёности, биогенных веществ, первичной продукции органического вещества и газов. Намечилась тенденция к изменению ледотермического режима моря и солевого состава вод. В связи с этим было проведено уточнение районирования Азовского моря в соответствии с изменениями его режима. Как и в случае предыдущего районирования, была использована солёность моря, которая является интегральным показателем взаимодействия ряда факторов, формирующих водный и солевой баланс моря, универсальной характеристикой, с помощью которой, как правило, обнаруживается связь гидрологических показателей с гидрохимическими, а также является одним из главных индикаторов биологической продуктивности моря. Количественная оценка совокупного влияния различных параметров на изменение солёности в водах Азовского моря была проведена на основе взаимной корреляции практически всех исследованных солеобразующих факторов, как прямых, так и косвенных [9, 59]. Сюда относятся суммарный сток рек в Азовское море, годовые объемы атмосферных осадков и испарение с поверхности моря, годовой сток Азовских вод в Черное море и приток черноморской воды в Азовское море, средний уровень моря, средняя годовая скорость ветра над акваторией моря и т. д.

Начиная с 1952 г. в Азовском море происходит накопление солей со средней скоростью 25 млн. т/год. В 1953 г. солёность вод собственно Азовского моря увеличилась до 12,7 ‰. С 1956 по 1966 г. солёность вод моря несколько снизилась, в среднем составляя за этот период 11,6 ‰; расчет линейного тренда солёности оказался равным 0,4 ‰. Наиболее значительные темпы повышения солёности наблюдались в период 1969—1976 гг., когда резко возросло изъятие речного стока. Этот фактор в совокупности со снижением естественного стока (среднее значение речного стока в этот период составляло 26,4 км³) вызвал рост солёности Азовского моря, о чем свидетельствует линейный тренд солёности, составивший 3,4 ‰. В течение последнего пятилетия данного периода солёность собственно Азовского моря увеличивалась ежегодно на 0,3—0,5 ‰ и в 1976 г. достигла 13,9 ‰.

В этот период отмечается существенное перераспределение значений солёности по акватории Азовского моря. Так, в 1976 г. площади вод солёностью до 7 ‰ сократились до 1,3 тыс. км², а солёностью не более 11 ‰ до 3 тыс. км². Одновременно около 20 тыс. км² собственно Азовского моря занимали воды солёностью 13—14 ‰, около 12 тыс. км² — воды солёностью более 14 ‰. Около

40 % площади Таганрогского залива были заняты водами соленостью 11—13 ‰.

В течение 1977—1981 гг. в Азовское море значительно увеличился приток пресных вод. Средняя соленость моря в этот период падает до 11,3 ‰, линейный тренд солености за этот период оказался равным — 2 ‰.

Начиная с 1979 гг. значительно расширились зоны, соленость вод которых не превышала 7 ‰ (до 3 тыс. км<sup>2</sup>), 9 ‰ (до 4 тыс. км<sup>2</sup>), 11 ‰ (до 5 тыс. км<sup>2</sup>), 12 ‰ (около 10 тыс. км<sup>2</sup>). Аналогичное пространственное распределение солености по акватории Азовского моря сохранилось и в 1980 г. В 1981 г. соленость более 12 ‰ была отмечена в небольшом районе, примыкающем к Керченскому проливу.

В Государственном океанографическом институте уточнение районирования моря было проведено на базе материалов наблюдений за период 1960—1982 гг., полученных по станциям (включая и станции в Таганрогском заливе), работы на которых выполнялись по программе вековых наблюдений, ОГСНХ и АЗНИИРХ [6]. Было проведено обобщение данных наблюдений за соленостью по 70 станциям, которые довольно полно и равномерно охватывают акваторию Азовского моря. При этом в данной работе приняты следующие условия:

— использованы данные наблюдений по всей толще с вертикальным градиентом солености, не превышающим 0,5 ‰;

— использован весь массив многолетних наблюдений за соленостью без дифференцированного подхода к сезонной изменчивости величин, поскольку исследователи, характеризующие качество наблюдений на океанографических разрезах, как правило, отмечают нестрогую синхронность измерений, весьма значительную дискретность — один раз в месяц или еще реже — один раз в сезон.

Для выделения однородных областей на акватории Азовского моря были использованы статистические характеристики солености, полученные по станциям (см. рис. 1.1). В основу определения сходства и различия станций легли совмещенные дисперсии значений солености. Данный метод был использован также для выделения однородных областей по соле- и теплосодержанию на разрезе по Кольскому меридиану [33].

Известно, что получение статистических характеристик, а тем более их дальнейшее использование при изучении различного рода закономерностей и особенностей гидролого-гидрохимического режима правомочно в случае нормального распределения значений исследуемых показателей.

С этой целью был рассмотрен характер распределения солености на открытой акватории Азовского моря (рис. 1.2). В результате было показано, что оно довольно близко к нормальному, хотя использование критерия Колмогорова для проверки нормальности распределения позволяет говорить об этом с определенной осторожностью.

Для каждой станции по всему имеющемуся ряду наблюдений были рассчитаны следующие статистические характеристики солености: математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение вероятностных характеристик.

Для определения сходства и различия двух средних значений солености были использованы следующие формулы.

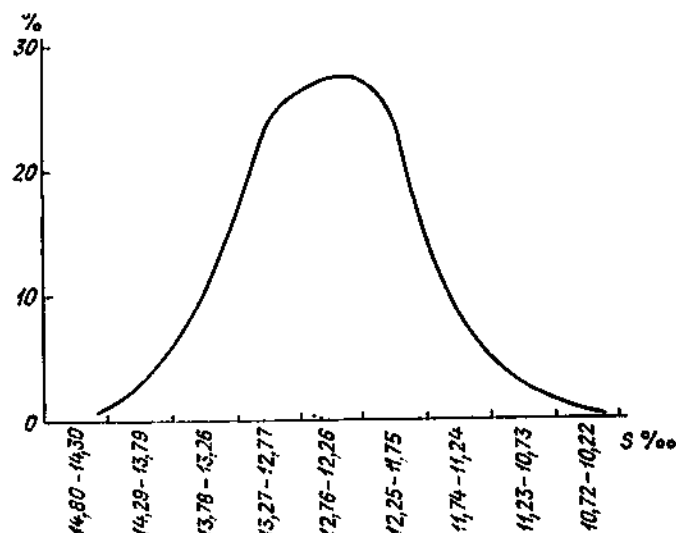


Рис. 1.2. Распределение солености в открытых водах Азовского моря за 1960—1981 гг.

Для случая большого ряда наблюдений ( $n > 30$ )

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_1}{n}; \quad \bar{x}_2 = \frac{\sum x_2}{n};$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_{x_1}^2}{n_1} + \frac{\sigma_{x_2}^2}{n_2}; \quad t = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sigma}, \quad (1.1)$$

где  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  — средние значения на двух соседних станциях;  $\sigma_{x_1}^2$  и  $\sigma_{x_2}^2$  — дисперсия солености двух соседних океанографических станций;  $\sigma^2$  — совмещенная дисперсия солености двух соседних станций;  $n_1$  и  $n_2$  — количество данных наблюдений на двух соседних станциях;  $t$  — табличный критерий Стьюдента, по которому определяется сходство и различие двух средних (в данном случае для 1 %-ного уровня значимости  $t = 1,80$ ).

Для случая малого ряда наблюдений ( $n < 30$ )

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}{n_1 + n_2 - 2}; \quad t = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sigma} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (1.2)$$

где параметры использовались те же, что и для большой выборки.

При таком подходе в настоящее время в Азовском море выделяется 9 районов (см. рис. 1.1), которые отличаются от прежних 12 районов площадями и конфигурацией: Таганрогский залив по-прежнему включает в себя три района (VII, VIII, IX), но при этом отмечается, что район VIII, являющийся зоной смешения вод, значительно сократился по площади за счет более интенсивного поступления вод из собственно моря. В открытой части Азовского моря было выделено 6 районов, из них самым обширным оказался центральный район V, где происходят процессы смешения вод Таганрогского залива и черноморских вод, которые в конечном итоге и определяют режим солености в данном районе. Примыкающий к нему на юге район III оказывается под существенным влиянием черноморских вод. Помимо этих районов были выделены: район IV в северо-западной части моря, район VI — в северо-восточной части моря,

район II — в юго-восточной части моря, находящийся под непосредственным влиянием вод Кубани, и в район I — в восточной части моря. Конфигурация и размеры занимаемых этими районами акваторий значительно отличаются от схемы районирования, предложенной ранее.

## 2. СОЛЕВОЙ СОСТАВ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВОД

### 2.1. Обзор предшествующих исследований солевого состава и электропроводности вод Азовского моря

Первые сведения о солености Азовского моря относятся к первой половине XIX в. Ф. Гебель отобрал одну пробу в середине моря с глубины 11,7 м, остаток солей после выпаривания 1 кг оказался равным 12,062 г. Отдельные компоненты солевого состава в 1891 г. определил А. А. Лебединцев, отметив при этом значительное отличие соотношений солености и сульфат-иона к хлорности: 1,884 и 0,4446 в Азовском море от аналогичных соотношений, полученных для вод океана, равных соответственно 1,8080 и 0,1402.

Отдельные исследования солевого состава вод Азовского моря были выполнены Н. М. Книповичем. Поскольку таких исследований было проведено мало, они не могут дать полных сведений о соотношениях концентраций солеобразующих ионов азовской воды, но они также показали отличие последних от вод океана [28].

В 1939 г. А. А. Мусина и Н. И. Микей [32] проанализировали 17 проб из различных районов моря с целью определения соотношения между хлорностью и соленостью. В двух пробах ими был определен полный солевой состав: в пробе, отобранной в центральной части моря, и в пробе, взятой в центральной части Таганрогского залива. Хлорность в этих пробах определяли по весовому методу Фольгардта, соленость — по методу Кнудсена: высушиванием 1 кг воды при 480°C при условии замещения галогенов хлором. В результате проведенных исследований было предложено соотношение между хлорностью (‰) и соленостью (‰) для вод Азовского моря:

$$S = 0,21 + 1,794Cl.$$

Однако, как отмечают сами авторы, в анализируемых пробах не было вод с хлорностью ниже 3,68‰, поэтому не были исследованы сильно опресненные воды, наиболее подверженные метаморфизирующему влиянию вод реки, где это соотношение может быть другим, как позже показал М. Ф. Федосов [50], предложив для вод Таганрогского залива зависимость:

$$S = 0,28 + 1,755Cl.$$

Наиболее полными были исследования Государственного океанографического института, проведенные с 1952 по 1958 г. под руководством А. П. Цуриковой [55], в результате которых были уточнены зависимости между хлорностью и соленостью для Таганрогского залива и открытых вод моря:

$$S = 0,263 + 1,664Cl + 0,0294Cl^2, \quad (2.1)$$

$$S = 0,23 + 1,792Cl. \quad (2.2)$$

Полученные результаты нового районирования вод Азовского моря снова подтверждают, что в течение последних двух десятилетий море претерпело весьма существенные изменения в распределении основных гидролого-гидрохимических характеристик и прежде всего солености.

В этих работах были исследованы воды от практически пресных в Таганрогском заливе с концентрацией хлора, равной 0,025 г/кг, до вод с максимальной наблюдаемой у дна в глубокой части моря хлорностью, равной 8,3‰.

Компоненты солевого состава определялись следующим образом: хлор — весовым методом, бром — окислением до бромата с последующим иодометрическим определением, сульфаты — осаждением хлористым барием, карбонаты — ацидиметрическим, ионы кальция и магния определяли из одной порции воды, причем магний определяли в фильтрате после определения кальция весовым пирофосфатным методом; натрий — весовым цинкуранилацетатным методом; кальций — кобальтнитритным методом. Соленость определяли по Кнудсену.

Было отмечено, что вода открытой части моря характеризуется достаточным постоянством соотношений компонентов солевого состава. Наибольшим колебаниям подвержены концентрации кальция и гидрокарбонатов, но на общей минерализации это не отражается, поскольку их содержание невелико. Основной ионный состав воды открытой части моря отличается от солевого состава океана относительной бедностью ионов хлора и натрия и повышенным содержанием преобладающих компонентов вод суши — кальция, карбонатами и сульфатами. Рассчитанные соотношения основных ионов солевого состава к хлору в азовских водах оказываются выше, чем в океанских.

Для более подробного исследования солевого состава вод Азовского моря А. П. Цурикова рассчитала также зависимости между хлорностью и некоторыми другими солеобразующими ионами:

$$SO_4^{2-} = 0,082 + 0,1328Cl,$$

$$HCO_3^- = 0,145 + 0,0043Cl,$$

$$Ca^{2+} = 0,049 + 0,0200Cl,$$

$$Mg^{2+} = 0,14 + 0,0667Cl,$$

$$Na^+ + K^+ = 0,020 + 0,5646Cl.$$

Эти уравнения отличаются от соответствующих уравнений, полученных для вод океана, главным образом свободными членами, характеризующими степень влияния материкового стока.

В Таганрогском заливе встречаются два типа вод: морская хлоридно-натриевая с характерным соотношением ионов и речная гидрокарбонатно-кальциевая. Здесь последовательно происходит процесс трансформации ионного состава. При изменении минерализации в заливе от 10 до 0,4 г/кг хлорный коэффициент по этой величине изменяется от 1,86 до 8,04. Аналогичные закономерности при смешении вод отмечались при изучении солевых составов в других устьевых взморьях [25, 40].

По данным А. П. Цуриковой [55], после зарегулирования Дона в течение 1953—1961 гг. соленость морских вод возросла в среднем на 0,86 ‰. В дальнейшем происходило изменение отдельных составляющих солевого баланса моря и увеличение солености моря [5, 9, 23, 43, 44]. Все это не могло не отразиться на трансформации солевого состава вод Азовского моря и прежде всего выразилось в изменении соотношений концентраций солеобразующих ионов и других физико-химических свойств воды в современных условиях.

## 2.2. Химические методы исследования солевого состава вод Азовского моря

Для уточнения солевого состава морских и пресных вод, которое проводилось в 1980—1981 гг. в ГОИН, были использованы стандартные методы анализов, опубликованные в различных литературных источниках.

Хлорность морской воды определяли argentометрическим методом. В качестве стандарта применяли нормальную воду [39].

Сульфат-ион определяли весовым методом осаждением раствором хлористого бария в слабокислой среде с выдерживанием на песчаной бане. Осадок отфильтровывался на беззольный фильтр, высушивался и сжигался в муфельной печи при температуре 800 °С [38].

Щелочность определяли прямым титрованием раствором соляной кислоты в присутствии смешанного индикатора и при постоянном продувании пробы воды током воздуха, освобожденного от углекислоты и аммиака [39].

Общую щелочность морской воды определяли комплексометрически — двузамещенной натриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты, или сокращенно «Трилон-Б», в присутствии аммонийного буфера и индикатора эриохрома черного Т [41].

Концентрацию ионов кальция определяли титрованием раствором «Трилон-Б» в присутствии щелочного буфера и индикатора мурексида.

Считая, что в общую жесткость практически входят концентрации ионов кальция и магния, последнюю вычисляли по разности между значениями жесткости и концентрацией кальция в эквивалентной форме.

Концентрации ионов натрия и калия определяли с помощью пламенного фотометра. Все анализы по определению концентраций солеобразующих ионов были выполнены при температуре  $20 \pm 0,5$  °С.

Аналитически бром в пробах не определялся. В водах Азовского моря максимальная концентрация брома составляет 0,02 г/кг. В понятие хлорность концентрация брома входит в эквивалентном хлору количестве. Поскольку его концентрация в морской воде мала, в расчетах использовали только хлорность.

Суммарную концентрацию солей составляют концентрации главных ионов солевого состава, где все галогены присутствуют в виде хлорности, т. е. пересчитаны в эквивалентное количество хлора.

При обработке пробы соляной кислотой карбонаты разлагаются с последующим гидролизом при обезвоживании в процессе прокалывания до оксида

металла. Этот процесс оказывается полным вследствие относительно малого содержания карбонатов в морской воде. Борная кислота также разлагается до оксида. Концентрация остальных ионов при прокалывании до 480 °С практически не меняется.

Для измерения относительной электропроводности вод Азовского моря был использован солемер ГМ-65, с помощью которого измеряют относительную электропроводность морских вод в сравнении с электропроводностью нормальной воды в диапазоне солености 4,993—42,032 ‰. Главным условием работы на солемере является соблюдение неизменного температурного режима для всех обрабатываемых проб и калибровочных растворов. В ГОИН также разработана методика, в которой в отличие от принятого метода калибровки прибора для повседневной работы нормальной водой [39] впервые применены точно приготовленные растворы хлористого натрия [26].

Для получения уравнений связи хлорности с содержанием других ионов и электропроводностью были использованы стандартные методы парной корреляции и наименьших квадратов.

## 2.3. Основные природные факторы, влияющие на формирование солевого состава вод Азовского моря

Азовское море питают главным образом Дон и Кубань. Основная часть стока Дона формируется за счет талых вод весной, некоторая часть — за счет грунтового питания и атмосферных осадков. Протекая по территории, сложенной из разнообразных пород: гранитов, глин, песка, мергелей, кремниевых отложений — воды Дона растворяют различные компоненты солей. Широкое распространение сравнительно хорошо растворимых карбонатных пород является причиной развития здесь карстовых образований, что способствует запасу подземных вод, питающих реки в меженный период. Аналогично формируется минерализация вод Кубани. В конусах выноса рек, где скапливаются измельченные породы гипса, пирита, происходит повышение минерализации вод.

В период до зарегулирования преобладающими ионами в речных водах, питающих Азовское море, были гидрокарбонаты и кальций [36, 37, 55]. Зарегулирование вызвало глубокие изменения не только в водах Дона, особенно в нижней части, но и его притоков. Мощным трансформирующим фактором ионного состава Дона и Кубани также оказалось орошаемое земледелие. Хотя минерализация и химический состав возвратных вод изучены мало, однако, по ориентировочным данным, в гидрографическую систему Нижнего Дона в год поступает около 2 млн. т солей, что увеличивает естественный солевой сток почти на 20 % [9]. Таким образом, в результате антропогенного воздействия коренным образом изменилось внутригодовое распределение водного стока и его ионный состав (табл. 2.1). Сравнение средних концентраций солеобразующих ионов вод Дона и Кубани в период до 50-х годов с аналогичными характеристиками, полученными в период активного антропогенного воздействия, т. е. в течение 1976—1985 гг., показало, что в водах Дона увеличилось относительное содержание хлора, суль-

Средний многолетний водный и солевой сток рек Дона и Кубани в различные периоды

| Период наблюдений        | Источник | Единица измерения | Концентрация ионов |                    |               |                  |                  |                            |            | Сток                         |                 |
|--------------------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|----------------------------|------------|------------------------------|-----------------|
|                          |          |                   | $\text{HCO}_3^-$   | $\text{SO}_4^{2-}$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ | $\Sigma$ и | водный, км <sup>3</sup> /год | солевой, млн. т |
| р. Дон (п. Аксай)        |          |                   |                    |                    |               |                  |                  |                            |            |                              |                 |
| 1936—1951                | [36]     | мг/л              | 234,4              | 95,0               | 74,0          | 81,2             | 17,7             | 58,8                       | 561,2      | 27,5                         | 15,4            |
|                          |          | %-экв             | 27,8               | 12,8               | 13,4          | 26,2             | 9,6              | 13,1                       | 99,9       | —                            | —               |
| 1976—1980 *              |          | мг/л              | 197,7              | 217,0              | 148,9         | 92,0             | 29,4             | 139,4                      | 854,4      | 18,8                         | 16,1            |
|                          |          | %-экв             | 12,9               | 20,4               | 16,6          | 18,3             | 9,6              | 22,2                       | 100,0      | —                            | —               |
| 1981—1985 *              |          | мг/л              | 215,6              | 262,4              | 156,9         | 89,9             | 35,5             | 155,81                     | 916,0      | 20,6                         | 18,87           |
|                          |          | %-экв             | 13,5               | 20,9               | 16,9          | 17,1             | 11,1             | 20,5                       | 100,0      | —                            | —               |
| р. Кубань (г. Краснодар) |          |                   |                    |                    |               |                  |                  |                            |            |                              |                 |
| 1945—1951                | [37]     | мг/л              | 129,0              | 53,0               | 8,6           | 44,8             | 7,8              | 14,9                       | 258,1      | 12,2                         | 3,1             |
|                          |          | %-экв             | 30,4               | 15,9               | 3,5           | 32,3             | 9,2              | 8,7                        | 100,0      | —                            | —               |
| 1976—1980 *              |          | мг/л              | 135,6              | 90,2               | 13,1          | 12,0             | 9,0              | 45,3                       | 305,2      | 9,6                          | 2,9             |
|                          |          | %-экв             | 29,4               | 24,9               | 4,9           | 8,0              | 9,8              | 23,0                       | 100,0      | —                            | —               |
| 1981—1985 *              |          | мг/л              | 136,7              | 75,8               | 15,1          | 47,6             | 10,4             | 27,4                       | 313,0      | 12,1                         | 3,8             |
|                          |          | %-экв             | 26,6               | 18,8               | 5,1           | 28,2             | 10,2             | 11,2                       | 100,0      | —                            | —               |

\* Расчеты проводились Л. Б. Друмевой (ГОИН).

фатов, щелочных металлов; общая минерализация возросла в полтора раза, при этом водный сток уменьшился примерно на одну треть. В результате такого воздействия донская вода стала относиться к классу сульфатному, группе натриевой. Анализ ионного стока Кубани показал, что, как и в водах Дона, в период активного антропогенного воздействия в водах Кубани значительно увеличилась концентрация ионов щелочных металлов, сульфатов, что в свою очередь свидетельствует об усилении сбросов коммунальных, сельскохозяйственных и промышленных стоков в воды речных бассейнов. Некоторые исследователи причину такого явления объясняют применением в бассейнах рек в качестве удобрений сульфата аммония, хлорида калия, а также выпадением так называемых сульфатных дождей. В результате такого воздействия минерализация кубанских вод увеличилась на 18 %, водный сток при этом уменьшился на 21 %. Можно ожидать, что водам Кубани также угрожает смена класса вод.

В течение 1981—1985 гг. наблюдалось естественное увеличение водности почти всех рек европейской части СССР, связанное с изменением климатических условий. В связи с этим средний водный сток в этот период весьма существенно возрос, но при этом общая минерализация речных вод осталась практически на уровне минерализации предшествующего пятилетия, что, по-видимому, можно объяснить увеличением минерализации за счет возвратных вод. В последние годы произошло перераспределение концентраций основных ионов в водах Кубани, выразившееся в уменьшении содержания щелочных металлов и сульфатов (см. табл. 2.1).

#### 2.4. Современный солевой состав вод Азовского моря

Изменение речного стока как в количественном, так и в качественном отношении при длительном воздействии не могло не сказаться на изменении солевого состава вод Азовского моря, особенно

в районе Таганрогского залива. Значительный рост солености вод Азовского моря вызван уменьшением суммарного стока Дона и Кубани в течение 1976—1980 гг. на 28,5 %, а также изменением соотношения концентраций солеобразующих ионов и увеличением минерализации вод этих рек. Это явление в значительной мере усугубляется малым объемом моря: для Азовского моря доля материкового стока относительно объема всего моря по сравнению с другими внутренними морями самая большая и уменьшалась в течение 1960—1980 гг. с 13,7 до 9,8 %. Правда, за последние пять многоводных лет речной сток практически восстановился, но солевой сток в среднем увеличился на 20 %, так как минерализация обеих рек продолжает расти.

Сравнение данных анализов современного солевого состава с аналогичными результатами исследований прошлых лет показало значительные изменения, обусловленные антропогенным нарушением водного и солевого стока рек Дона и Кубани (табл. 2.2).

Средний многолетний сток рек Азовского моря составляет около 10 % объема моря, поэтому существенное нарушение естественного водного и солевого режима крупных рек приводит к весьма значительным изменениям в гидролого-гидрохимических процессах, а следовательно, и в водном и солевом балансах моря [5, 9, 43]. Существенное увеличение минерализации вод Дона и Кубани за счет повышения концентраций сульфатов и щелочных металлов привело к увеличению относительного содержания этих ионов в водах Таганрогского залива в первую очередь. В водах открытого моря абсолютная концентрация сульфатов увеличилась на 7,7 %, что повлекло за собой изменение соотношений солеобразующих ионов и увеличение минерализации вод. Отношение суммарной концентрации солей к хлорности за последние 25 лет увеличилось с 1,8522 до 1,8630. В водах Таганрогского залива этот коэффициент возрос с 1,8632 до 1,8808 при весьма близких значениях хлорности (см. табл. 2.2).

Результаты анализа солевого состава и относительной электропроводности ( $R_{20}$ ) вод Азовского моря.  
По данным ГОИН, 1981 г.

| Единица измерения   | Концентрация ионов |                               |                               |                 |                |                  |                  | Σ n    | R <sub>20</sub> |
|---------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|--------|-----------------|
|                     | Cl <sup>-</sup>    | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> |        |                 |
| Таганрогский залив  |                    |                               |                               |                 |                |                  |                  |        |                 |
| г/кг                | 0,66               | 0,269                         | 0,183                         | 0,435           | 0,019          | 0,075            | 0,063            | 1,710  | 0,0582          |
| %-экв               | 33,51              | 10,09                         | 5,41                          | 34,05           | 0,90           | 0,67             | 9,37             | 100,00 | —               |
| ион/Cl              | —                  | 0,4076                        | 0,2773                        | 0,6591          | 0,0288         | 0,1136           | 0,0954           | 2,6909 | —               |
| г/кг                | 1,79               | 0,419                         | 0,177                         | 1,097           | 0,044          | 0,088            | 0,141            | 3,756  | 0,1261          |
| %-экв               | 39,75              | 6,86                          | 2,29                          | 37,62           | 0,87           | 3,47             | 9,15             | 100,01 | —               |
| ион/Cl              | —                  | 0,2311                        | 0,0989                        | 0,6128          | 0,0246         | 0,0192           | 0,0788           | 2,0983 | —               |
| г/кг                | 4,22               | 0,760                         | 0,173                         | 2,306           | 0,086          | 0,131            | 0,281            | 7,937  | 0,2574          |
| %-экв               | 44,15              | 5,72                          | 1,01                          | 37,24           | 0,82           | 2,41             | 8,61             | 99,99  | —               |
| ион/Cl              | —                  | 0,1754                        | 0,0410                        | 0,5670          | 0,0204         | 0,0310           | 0,0666           | 1,8808 | —               |
| Кубанское взморье   |                    |                               |                               |                 |                |                  |                  |        |                 |
| г/кг                | 0,45               | 0,210                         | 0,138                         | 0,285           | 0,020          | 0,058            | 0,051            | 1,212  | 0,0442          |
| %-экв               | 32,23              | 11,17                         | 5,48                          | 31,47           | 1,27           | 7,36             | 10,66            | 100,00 | —               |
| ион/Cl              | —                  | 0,4667                        | 0,3067                        | 0,6333          | 0,0435         | 0,1261           | 0,1109           | 2,6348 | —               |
| г/кг                | 1,85               | 0,429                         | 0,180                         | 0,198           | 0,045          | 0,081            | 0,127            | 3,810  | 0,1332          |
| %-экв               | 40,89              | 6,99                          | 2,35                          | 37,44           | 0,91           | 3,14             | 8,24             | 100,00 | —               |
| ион/Cl              | —                  | 0,2319                        | 0,0973                        | 0,5935          | 0,0213         | 0,0438           | 0,0686           | 2,0595 | —               |
| Открытая часть моря |                    |                               |                               |                 |                |                  |                  |        |                 |
| г/кг                | 6,57               | 1,093                         | 0,160                         | 3,739           | 0,119          | 0,140            | 0,419            | 12,240 | 0,3726          |
| %-экв               | 44,30              | 5,46                          | 0,62                          | 38,92           | 0,74           | 1,68             | 8,28             | 100,00 | —               |
| ион/Cl              | —                  | 0,1661                        | 0,0244                        | 0,5691          | 0,0181         | 0,0213           | 0,0638           | 1,8630 | —               |

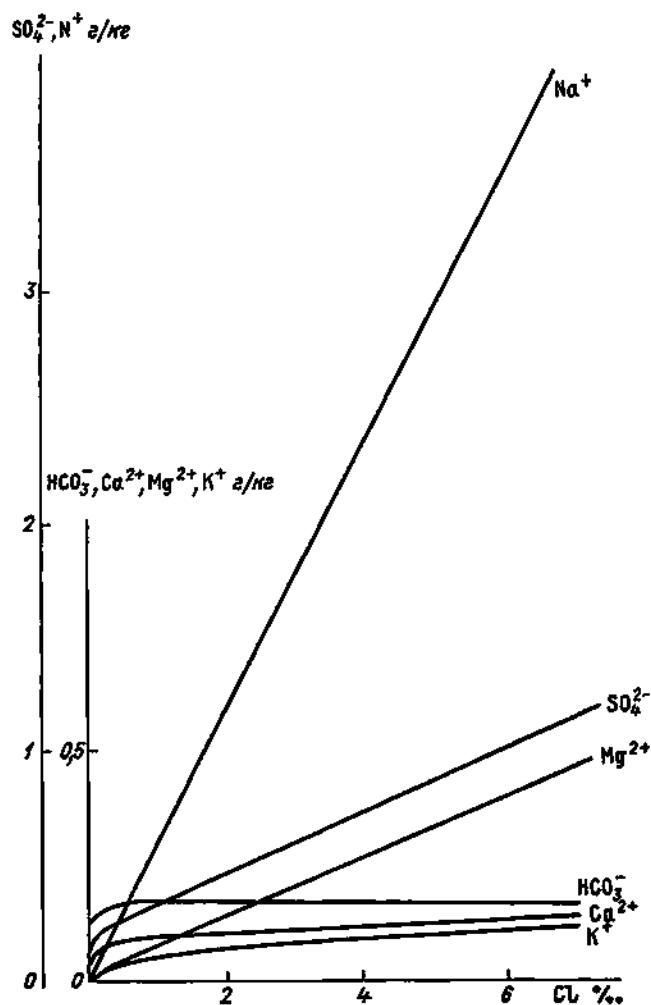


Рис. 2.1. Связь хлорности (Cl ‰) с главными ионами солевого состава вод Азовского моря.

На графиках связи хлор-иона с другими ионами солевого состава обращают внимание зависимости, полученные для гидрокарбонатов, кальция, калия, магния (рис. 2.1). Аналогичные связи, построенные для морей, имеющих непосредственную связь с океаном, обычно выражены прямой линией. Криволинейный характер аналогичных связей наблюдается в районах, подверженных метаморфизирующему влиянию речного стока, и, как правило, имеет место при хлорности ниже 1 ‰. Однако для вод Азовского моря линии, характеризующие эти зависимости, имеют кривизну во всем диапазоне хлорности. По-видимому, этот процесс метаморфизации распространяется и на более соленые воды, что подтверждается и связью минерализации вод с ее отношением к хлорности (рис. 2.2). Кривая, характеризующая соответствующую связь, не сливается с осью ординат и имеет несколько более

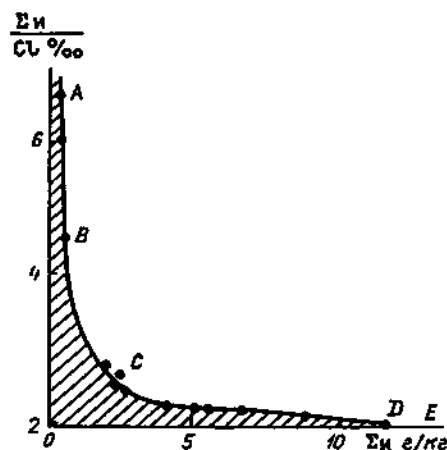


Рис. 2.2. Связь минерализации вод Азовского моря с ее отношением к хлорности ( $\Sigma n/Cl$  ‰).

пологую форму по сравнению с формой аналогичной кривой, полученной, например, для вод Белого моря. Нижняя ветвь гиперболы имеет угол наклона к оси абсцисс до точки суммарной концентрации солей, характерной для вод открытой части моря. Воды Дона в три раза более минерализованы (561 мг/л), чем воды Северной Двины (187 мг/л) и Онеги (176 мг/л), и в пять раз, чем воды Мезени (111 мг/л). Поэтому отрезок *AB* не сливается с осью ординат. Процесс метаморфизации вод начинается при суммарной концентрации солей ниже 1 г/кг (точка *B* на графике), достигает максимума при  $\Sigma$ , равной 2,5 г/кг (точка *C*). С увеличением суммарной концентрации солей хлорный коэффициент незначительно, но все же уменьшается до точки *D*, соответствующей 12 г/кг, и дальше не изменяется (*DE*). Это в свою очередь свидетельствует о том, что антропогенные изменения, происшедшие в стоке рек, влияют не только на гидрохимический режим устьевой области, но и на воды открытой части моря.

Таким образом, антропогенные изменения водного и солевого стока Дона и Кубани привели к весьма значительным изменениям в соотношениях концентраций солеобразующих ионов в водах Таганрогского залива и имеют место в водах открытой части моря.

Таблица 2.3

Зависимость между хлорностью ( $\text{Cl} \text{‰}$ ), концентрацией других солеобразующих ионов (г/кг) и суммарной концентрацией солей ( $\Sigma$  г/кг) для вод Азовского моря (диапазон хлорности 0,50—7,00 ‰)

| Уравнение связи                                                   | Среднее квадратическое отклонение |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| $\text{HCO}_3^- = 0,1876 - 0,0039\text{Cl} - 0,0001\text{Cl}^2$   | 0,0074                            |
| $\text{O} = 0,0218 + 0,0010\text{Cl} - 0,0002\text{Cl}^2$         | 0,0004                            |
| $\text{SO}_4^{2-} = 0,1656 + 0,1421\text{Cl} - 0,0001\text{Cl}^2$ | 0,0188                            |
| $\text{Ca}^{2+} = 0,0142 + 0,0456\text{Cl} - 0,0040\text{Cl}^2$   | 0,0073                            |
| $\text{Mg}^{2+} = 0,0470 + 0,1065\text{Cl} - 0,0053\text{Cl}^2$   | 0,0190                            |
| $\text{K}^+ = 0,0003 + 0,0251\text{Cl} - 0,0008\text{Cl}^2$       | 0,0057                            |
| $\text{Na}^+ = 0,1168 + 0,5609\text{Cl} - 0,0037\text{Cl}^2$      | 0,0265                            |
| $\Sigma = 0,4375 + 1,8763\text{Cl} - 0,0140\text{Cl}^2$           | 0,0317                            |

Уравнения связи хлорности с концентрациями других ионов солевого состава для вод Азовского моря имеют вид криволинейных зависимостей. Их корреляционные отношения в основном близки к единице, средние квадратические отклонения не превышают 0,03 г/кг (табл. 2.3).

Аналогичные зависимости для вод Азовского моря были рассчитаны в 50-е годы в виде уравнений первого порядка [55]. Сравнение данных, рассчитанных по формулам связи хлорности с главными ионами солевого состава вод Азовского моря, полученными в 50-е и 80-е годы, также подтверждает выводы о существенных изменениях, происшедших в соотношениях компонентов солевого состава вод Азовского моря, особенно для распределенных районов, где хлорность не превышает 3—4 ‰ (табл. 2.4). При хлорности, равной 1 ‰, концентрация сульфатов увеличилась на 43 %. При достижении хлорности 5 ‰ это различие снижается до 17 %. В распределенных водах Азовского моря при хлорности, равной 1 ‰, по расчетам [55] и формулам, приведенным в табл. 2.3, более чем на 23 % увеличилось также содержание гидрокарбонатов. В табл. 2.4 приведены примеры расчетных концентраций сульфат-иона и фактических, полученных по результатам анализов в 50-е [55] и 80-е годы. Рассчитанные значения не отличаются от фактических данных наблюдений более чем на 2 %.

Для вод Азовского моря при расчете солёности по хлорности обычно используют две формулы, имеющиеся для вод с хлорностью ниже и выше 4 ‰. По методике Л. Б. Друмевой в ГОИН были проведены расчеты, которые позволили перейти от суммарной концентрации солей к солёности и получить уравнения зависимости солёности от хлорности для вод Азовского моря в диапазоне хлорности 0,5—6,9 ‰:

$$S = 0,2717 + 1,8812\text{Cl} - 0,0141\text{Cl}^2.$$

Изучение современного солевого состава вод Азовского моря показало значительные отличия в ионных соотношениях по сравнению с результатами, полученными в анализах прошлых лет. Этим можно объяснить различия в расчетных значениях этих соотношений по формулам А. П. Цуриковой [55] и зависимостям, полученным Л. Б. Друмевой

Таблица 2.4

Сравнение данных, рассчитанных по формулам зависимости между хлорностью и концентрацией главных ионов солевого состава вод Азовского моря, полученной в 50-е (I) и 80-е годы (II)

| Cl ‰ | Солеобразующие ионы |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |               |                  |              |                  |
|------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|------------------|--------------|------------------|
|      | $\text{SO}_4^{2-}$  |                  | $\text{HCO}_3^-$ |                  | $\text{Ca}^{2+}$ |                  | $\text{Mg}^{2+}$ |                  | $\text{Na}^+$ |                  | $\text{K}^+$ |                  |
|      | I                   | II               | I                | II               | I                | II               | I                | II               | I             | II               | I            | II               |
| 1,00 | 0,215               | 0,308            | 0,149            | 0,184            | 0,069            | 0,056            | 0,081            | 0,051            | —             | —                | —            | —                |
| 3,00 | 0,480               | 0,591            | 0,158            | 0,175            | 0,109            | 0,139            | 0,214            | 0,257            | —             | —                | —            | —                |
| 5,00 | 0,746               | 0,871            | 0,166            | 0,166            | 0,149            | 0,142            | 0,348            | 0,353            | —             | —                | —            | —                |
| 6,88 | 0,996<br>(1,015)    | —                | 0,175<br>(0,184) | —                | 0,187<br>(0,186) | —                | 0,473<br>(0,468) | —                | —             | —                | —            | —                |
| 2,0  | —                   | —                | —                | —                | —                | —                | —                | —                | —             | —                | —            | —                |
| 6,80 | —                   | 1,127<br>(1,144) | —                | 0,159<br>(0,166) | —                | 0,139<br>(0,147) | —                | 0,432<br>(0,435) | —             | 3,760<br>(3,821) | —            | 0,134<br>(0,137) |
| —    | —                   | 1,4              | —                | —                | —                | —                | —                | —                | —             | —                | —            | —                |

Примечание. В скобках приведена фактическая концентрация ионов, соответствующая данной хлорности.



Таблица 2.5

Соленость (‰) вод Азовского моря, вычисленная по формулам работы [55] и по формуле, полученной в ГОИН в 80-е годы Л. Б. Друмева, и разность  $\Delta$  между ними

| Cl ‰ | Источник |              | $\Delta$ |
|------|----------|--------------|----------|
|      | [55]     | Л. Б. Друмев |          |
| 0,5  | 1,16     | 1,21         | -0,05    |
| 2,0  | 3,71     | 3,98         | -0,27    |
| 4,0  | 7,40     | 7,57         | -0,17    |
| 6,0  | 10,98    | 11,05        | -0,07    |

в 80-е годы (табл. 2.5). Для вод с низкой хлорностью различия в расчетных значениях солености достигают 0,27 ‰, что почти в 15 раз превышает допустимую погрешность аргентометрического метода определения солености. Для максимальных значений хлорности, которые характерны для вод открытой части моря, эти различия уменьшаются благодаря меньшему воздействию речного стока на воды этой части моря и усиленному влиянию вод Черного моря.

## 2.5. Электропроводность вод Азовского моря

Изменение соотношений между компонентами солевого состава азовских вод не могло не повлиять на одну из важных физико-химических характеристик, а именно на электропроводность морской воды.

с новым методом определения солености, так как многолетние ряды наблюдений были получены, как правило, первым методом.

В 1981 г. в ГОИН были рассчитаны уравнения связи хлорности с относительной электропроводностью для вод Азовского моря. В связи с тем что в инструкции солемера ГМ-65 не приводится значение погрешности измерения электропроводности вод с соленостью ниже 4 ‰, результаты обработки проб по всем морям были дифференцированы соответственно этому критерию. Таким образом были получены два уравнения связи хлорности с относительной электропроводностью в диапазоне хлорности ниже 1,5 ‰ ( $S \sim 4$  ‰) и выше. Уравнения имеют высокие корреляционные связи, и средние квадратические отклонения не превышают 0,03 ‰. Таким образом, уравнение, рассчитанное для вод, соленость которых ниже 4 ‰, является достаточно корректным:

$$Cl = -0,1340 + 11,3053R + 29,2628R^2$$

$$\text{для } Cl = 0,10 - 1,50 \text{ ‰}$$

$$Cl = -0,3344 + 16,2941R + 5,2418R^2$$

$$\text{для } Cl = 1,51 - 7,00 \text{ ‰}$$

Сравнение значений хлорности, рассчитанных в разные периоды исследования, показывает, что, как и следовало ожидать, различия в расчетах весьма значительны (табл. 2.7). К сожалению, ранее не были проведены исследования электропроводности наиболее распространенных вод Таганрог-

Таблица 2.6  
Сравнение значений относительной электропроводности при температуре воды 20 °C, рассчитанной по данным 1954 г. ( $R$ ) [45] и 1981 г. ( $R'$ ) [24]

| Cl ‰ | $R$    | $R'$   | $\Delta (R - R')$ | Cl ‰ | $R$    | $R'$   | $\Delta (R - R')$ |
|------|--------|--------|-------------------|------|--------|--------|-------------------|
| 0,45 | 0,0142 | —      | —                 | 4,20 | 0,2574 | 0,2541 | +0,0033           |
| 1,12 | 0,0910 | —      | —                 | 5,40 | 0,3199 | 0,3194 | +0,0005           |
| 2,24 | 0,1501 | —      | —                 | 6,10 | 0,3559 | 0,3561 | -0,0014           |
| 3,25 | 0,2033 | 0,1985 | +0,0048           | 6,85 | 0,3920 | 0,3952 | -0,0032           |

Сравнение значений относительной электропроводности, полученных в 50-е годы [45], с аналогичными характеристиками, полученными в 80-е годы, показало, что при одной и той же хлорности значения относительной электропроводности ( $R$ ) различаются (табл. 2.6). Для сравнения из Океанологических таблиц выбраны соответствующие заданной хлорности значения электропроводности вод при 20 °C, пересчитанные затем в относительную величину ( $R_{20}$ ). К сожалению, в предыдущих исследованиях [45] отсутствуют данные о электропроводности вод с хлорностью ниже 3 ‰, т. е. в районах, где наиболее активны процессы метаморфизации солевого состава. Тем не менее различия между сравниваемыми значениями имеют место и в более соленых водах.

В свете новой шкалы понятие солености сводится к измерению относительной электропроводности вод при определенной температуре. Однако аргентометрический метод определения хлорности для замкнутого или полужамкнутого моря с последующим пересчетом в соленость по соответствующим формулам должен иметь преобладающую связь

ского залива. В Океанологических таблицах приведены значения, соответствующие солености 6 ‰ и выше. Формулы связи хлорности и солености с удельной электропроводностью ( $\kappa$ ), разработанные для вод Азовского моря около 30 лет назад, в последние годы были пересмотрены. В настоящее время в ГОИН на основе вышеприведенных формул разработаны таблицы пересчета относительной электропроводности в соленость для вод Азовского моря.

Таблица 2.7  
Хлорность вод Азовского моря, рассчитанная по данным 1954 г. ( $Cl_x$ ) [45] и 1981 г. ( $Cl_R$ ) по заданной относительной электропроводности [24]

| $R$ | $Cl_x$ | $Cl_R$ | $\Delta (Cl_x - Cl_R)$ |
|-----|--------|--------|------------------------|
| 0,1 | —      | 1,29   | —                      |
| 0,2 | 3,28   | 3,13   | +0,15                  |
| 0,3 | 5,04   | 5,03   | +0,01                  |
| 0,4 | 6,94   | 7,02   | -0,08                  |

### 3. ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ

#### 3.1. Факторы, определяющие режим кислорода в море

Содержание кислорода в морской воде обуславливает существование гидробионтов и определяет интенсивность и направленность окислительных и восстановительных биохимических процессов, протекающих в морской среде.

В Азовском море содержание растворенного кислорода является одним из наиболее изученных гидрохимических показателей.

Первые данные о содержании растворенного кислорода в Азовском море были получены А. А. Лебединцевым в 1892 г., а затем в 1914 г. — гидрографической экспедицией Главного гидрографического управления.

Систематические наблюдения за содержанием кислорода в водах Азовского моря начали проводиться в 1923—1927 гг. Азово-Черноморской научно-промысловой экспедицией под руководством Н. М. Книповича [28]. В результате этих исследований было дано описание сезонного хода кислорода в основных районах Азовского моря и рассмотрен ряд факторов, формирующих его газовый режим, к которым в первую очередь были отнесены изменения температуры воды и фазы развития фитопланктона. В экспедиционных исследованиях АзЧерНИРО в начале 1936—1937 гг. проводилось уточнение годового хода кислорода в Азовском море.

Начиная с пятидесятых годов основными направлениями в исследовании кислородного режима вод Азовского моря были:

- изучение кислородного режима с целью выделения наиболее продуктивных районов моря и т. д.;

- возможные изменения газового режима после создания Цимлянского водохранилища;

- изучение динамики содержания кислорода в контактной зоне вода—грунт;

- роль динамики кислорода в образовании заморных явлений в связи с изменением устойчивости вод, загрязнением и т. д.;

- создание эмпирической модели, позволяющей проводить изучение факторов, влияющих на режим кислорода.

В работе [55], выполненной в ГОИН и БГМО ЧАМ, были подробно обобщены и проанализированы особенности газового режима Азовского моря в связи с развитием гидростроительства в бассейнах рек Дона и Кубани.

Серьезные исследования факторов формирования кислородного режима вод моря были проведены АзНИИРХ на основе 20-летнего ряда наблюдений 1952—1973 гг. [9].

В Справочнике по шельфу (т. 3 — Азовское море), составленному ГОИН и его Севастопольским отделением, были обобщены данные наблюдений за содержанием кислорода, рН, щелочностью, полученные с 1960 по 1980 г. на морских и устьевых гидрометеорологических станциях Укргидромета и Севкавгидромета после зарегулирования стока рек Дона и Кубани. Целевое назначение данного обобщения состояло в обеспечении гидрохимической информацией в виде табличного

и картированного материала различного рода изыскательских и проектных работ.

В данной главе, составленной на основании данных многолетних исследований газового режима Азовского моря, проводимых совместно ГОИН и АзНИИРХ, авторы хотели показать основные закономерности формирования газового режима моря и его изменение под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Основными источниками поступления кислорода в водную толщу моря являются продуцирование его при фотосинтезе и атмосферная аэрация. Уменьшение содержания кислорода в водной толще обусловлено потреблением его на дыхание водных организмов и на окисление органического вещества, а также выделением кислорода из поверхностных слоев в атмосферу при его насыщении в этом слое, превышающем 100 %. В формировании внутригодовой динамики содержания растворенного кислорода определяющими факторами являются гидрометеорологические условия зимой и осенью и процессы продуцирования и потребления кислорода — летом.

Согласно работам Н. М. Книповича [28], М. В. Федосова [53], Е. Г. Виноградовой [13], В. Г. Дацко [20], В. Г. Дацко, А. Д. Семенова [21], А. П. Цуриковой, Е. Ф. Шульгиной [55], а также многолетним исследованиям Г. Д. Макаровой [30], А. М. Бронфмана, В. Г. Дубининой, Г. Д. Макаровой [9], характерной особенностью кислородного режима Азовского моря является эпизодическое возникновение дефицита кислорода в придонных водах, которое сопровождается гибелью — «заморами» — донной фауны. Летом создающееся при штилевой погоде плотностное расслоение водной толщи моря (термическое или солевое) обуславливает превышение расхода кислорода в придонных слоях над его поступлением, т. е. термическая или солевая стратификация вызывает стратификацию в распределении кислорода. При этом содержащийся в придонном слое воды кислород быстро потребляется на процессы дыхания и окисления растворенного и взвешенного органического вещества, и развитие получают анаэробные процессы денитрификации и сульфатредукции.

Исследование элементов баланса кислорода в Азовском море в течение теплого сезона в период 1974—1982 гг. показало, что потребление кислорода на окисление органического вещества донных отложений составляет более 30 % общего расхода кислорода (табл. 3.1). Столь значительное потребление кислорода донными отложениями, особенно в условиях явно выраженной положительной стратификации, как правило, приводит к формированию дефицита кислорода в придонных горизонтах.

По экспериментальным данным АзНИИРХ, скорость потребления кислорода в теплую часть года составляет в среднем  $3,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$  в собственном море, в Таганрогском заливе —  $4,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$ . В восточном районе моря в Таганрогском заливе, где содержание аллохтонного органического вещества наибольшее, отмечается экстремально высокая скорость потребления кислорода донными отложениями ( $9,0 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сут}$ ).

Таблица 3.1

Элементы баланса кислорода летом в Азовском море.  
По данным АзНИИРХ

| Годы | Приход кислорода          |    |                           |    | Расход кислорода          |    |                                 |    |
|------|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|----|---------------------------------|----|
|      | в результате фотосинтеза  |    | из атмосферы              |    | потребление в воде        |    | потребление донными отложениями |    |
|      | млрд. м <sup>3</sup> /мес | %  | млрд. м <sup>3</sup> /мес | %  | млрд. м <sup>3</sup> /мес | %  | млрд. м <sup>3</sup> /мес       | %  |
| 1974 | 4,0                       | 61 | 2,6                       | 39 | 4,6                       | 71 | 1,9                             | 29 |
| 1975 | 8,0                       | 91 | 0,8                       | 9  | 6,2                       | 71 | 2,6                             | 29 |
| 1976 | 3,2                       | 59 | 2,2                       | 41 | 3,5                       | 65 | 1,9                             | 35 |
| 1977 | 8,2                       | 76 | 2,6                       | 24 | 7,0                       | 66 | 3,6                             | 34 |
| 1978 | 6,1                       | 81 | 1,4                       | 19 | 5,4                       | 69 | 2,4                             | 31 |
| 1979 | 5,9                       | 73 | 2,2                       | 27 | 5,4                       | 65 | 2,9                             | 35 |
| 1980 | 6,5                       | 79 | 1,7                       | 21 | 4,9                       | 61 | 3,2                             | 39 |
| 1981 | 6,9                       | 84 | 1,3                       | 16 | 3,8                       | 51 | 3,7                             | 49 |
| 1982 | 6,1                       | 84 | 1,2                       | 16 | 3,7                       | 51 | 3,6                             | 49 |

Летом на значительной акватории собственно моря (центральный, юго-восточный, западный районы) и Таганрогского залива, где скорость биохимического потребления кислорода осадками эпизодически может превышать 5 г/(м<sup>2</sup>·сут), создается серьезная угроза возникновения дефицита кислорода в придонном слое.

По мнению М. В. Федосова [53], время, в течение которого кислород полностью исчезает из воды, зависит от скорости его биохимического потребления. Это дало основание по материалам биохимического потребления кислорода донными отложениями рассчитать время  $T$ , в течение которого в условиях затрудненного вертикального водообмена содержание кислорода снижается до 60 % относительно равновесной концентрации. Результаты расчета по осредненным материалам за лето 1972—1975 гг. показали, что для подавляющей части Азовского моря величина  $T$  составляет менее суток и, таким образом, даже при кратковременном ослаблении вертикальной аэрации водной толщи возможно формирование дефицита кислорода в придонном слое.

В результате исследования закономерностей формирования режима кислорода в водах Азовского моря в условиях активизации циркуляционных процессов было показано, что относительная концентрация кислорода зависит от скорости потребления кислорода донными отложениями и интенсивности вертикального обмена вод [4]:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{V'}{V' + Kh},$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  — относительная концентрация кислорода соответственно в поверхностном и придонном слоях;  $V'$  — коэффициент динамической подвижности вод моря, м/сут;  $K$  — константа потребления кислорода донными осадками, сут<sup>-1</sup>;  $h$  — глубина придонного слоя, м.

Как следует из приведенной формулы, при достаточно интенсивном водообмене ( $V' > Kh$ ) вертикальное распределение кислорода в водной толще оказывается довольно равномерным и уменьшение содержания кислорода за счет поглощения его осадками отмечается по всей водной толще и обуславливает общее снижение запаса растворенного кислорода в водоеме.

В условиях плотностной стратификации ( $V' \leq Kh$ ) и затрудненного доступа кислорода в придонный слой моря потребление кислорода донными отложениями обуславливает возникновение дефицита кислорода в придонных горизонтах Азовского моря.

Многолетние наблюдения (1952—1982 гг.) за кислородным режимом Азовского моря летом показывают, что максимальное развитие условий дефицита кислорода происходило в течение 1960—1971 гг. Изоксигена, равная или меньше 60 % насыщения, в этот период охватывает площадь, равную в среднем 11,0 тыс. км<sup>2</sup> (табл. 3.2). Характер-

Таблица 3.2

Площади зон Азовского моря с концентрацией кислорода менее 60 % насыщения в придонном горизонте (тыс. км<sup>2</sup>) летом

| Год  | Таганрогский залив | Собственно море | Море в целом | Год  | Таганрогский залив | Собственно море | Море в целом |
|------|--------------------|-----------------|--------------|------|--------------------|-----------------|--------------|
| 1960 | 0,1                | 3,3             | 3,4          | 1974 | 0                  | 3,0             | 3,0          |
| 1961 | 0                  | 9,6             | 9,6          | 1975 | 0                  | 2,5             | 2,5          |
| 1962 | 0                  | 7,5             | 7,5          | 1976 | 0                  | 0               | 0            |
| 1963 | 3,4                | 21,3            | 24,7         | 1977 | 0                  | 15,1            | 15,1         |
| 1964 | 2,8                | 15,9            | 18,7         | 1978 | 0                  | 12,7            | 12,7         |
| 1965 | 0                  | 16,8            | 16,8         | 1979 | 0                  | 0               | 0            |
| 1966 | 0                  | 21,9            | 21,9         | 1980 | 0                  | 4,0             | 4,0          |
| 1967 | 0,3                | 3,9             | 4,2          | 1981 | 4,1                | 12,1            | 16,2         |
| 1968 | 0                  | 1,4             | 1,4          | 1982 | 3,1                | 1,4             | 4,5          |
| 1969 | 0                  | 10,1            | 10,1         | 1983 | 0,4                | 8,8             | 9,2          |
| 1970 | 0                  | 0               | 0            | 1984 | 0                  | 7,0             | 7,0          |
| 1971 | 0                  | 13,4            | 13,4         | 1985 | 2,2                | 3,4             | 5,6          |
| 1972 | 0                  | 10,2            | 10,2         | 1986 | 0,7                | 2,3             | 3,0          |
| 1973 | 3,3                | 6,6             | 9,9          |      |                    |                 |              |

ной климатической особенностью данного периода является ослабление ветровой активности, достигшей полувекового минимума, и повышение температурного фона.

Совместное действие этих факторов привело к интенсификации продукционных процессов в водной толще, которая наряду с уменьшением ветрового перемешивания создала благоприятные предпосылки для осаждения сестона и в конечном итоге обусловила обогащение донных отложений свежим органическим веществом. Содержание органического углерода в осадках возросло почти на 50 % по сравнению с предшествующим пятилетием.

Активизация седиментационных процессов в условиях затрудненного вертикального водообмена способствовала интенсивному потреблению кислорода в зоне контакта вода — донные отложения и, как следствие, — ежегодному (1960—1971 гг.) развитию зон с пониженным содержанием кислорода в придонных слоях, распространяющихся в среднем на 30 % площади моря.

Формирующийся летом в придонных слоях дефицит кислорода в отдельные годы (1963, 1964) охватывал площадь более 20 тыс. км<sup>2</sup>, при этом в южном, центральном и восточном районах моря концентрация кислорода в придонных слоях снижалась до 10 % насыщения. Обращает на себя внимание явление проникновения зон пониженного содержания кислорода в придонном горизонте Таганрогского залива, причем изоксигена 60 % на-

сыщения в некоторых случаях оконтуривает более 50 % акватории залива.

Начиная с 1972 г. с увеличением циркуляции воздушных масс над акваторией моря наметилась тенденция к уменьшению площадей дефицита кислорода как в пространстве, так и во времени. Так, средняя площадь, ограниченная изоксигеной 60 % насыщения, в 1972—1982 гг. составила 5,1 тыс. км<sup>2</sup>, в то время как в 1960—1972 гг. — 11,0 тыс. км<sup>2</sup> (см. табл. 3.2). В зоне дефицита в 1972—1982 гг. содержание кислорода находилось на уровне 40—60 %. Только летом 1977 г. на значительной площади моря содержание кислорода снизилось до аналитического нуля, а существование площадей, занятых водами с содержанием кислорода, равным и меньше 60 %, было непродолжительным.

Таким образом, в 1972—1982 гг. оптимизация кислородного режима Азовского моря, обусловленная усилением динамики вод, выразилась в сокращении зон с дефицитом кислорода в придонных горизонтах. Отмечено, что в условиях резкого повышения солёности дефицит плотностного расслоения вод значительно обостряется в многоводные годы, что в свою очередь приводит к увеличению масштабов ситуаций с угнетённым режимом кислорода в придонных слоях моря. Примером этому служит ситуация, сложившаяся в 1977—1978 гг. К 1976 г. солёность моря достигла своих максимальных значений (14 ‰), а с 1977 г. начался период повышенной водности рек, и площадь дефицита кислорода в 1977 и 1978 гг. резко возросла до 15,1 и 12,7 тыс. км<sup>2</sup> соответственно (см. табл. 3.2).

Исследование факторов, обуславливающих изменения кислородного режима, показали, что ведущая роль в его динамике принадлежит биохимическому окислению органического вещества донных отложений. При этом скорость потребления кислорода поверхностным слоем донных отложений зависит от общего количества органического вещества и регулируется способностью последнего к окислению. Увеличение темпов продуцирования органического вещества в водной толще сопровождается обогащением органическим веществом поверхностного слоя донных отложений. Поскольку основным продуцентом органического вещества в водной толще является фитопланктон, генетической характеристикой которого служит хлорофилл, то совершенно очевидно ожидать одновременное увеличение содержания последнего в донных отложениях.

Сопоставление материалов по интенсивности биохимического потребления кислорода осадками, содержанию линохромных пигментов (хлорофилла и каротиноидов) в донных отложениях за 1972—1982 гг. с закономерностями формирования кислородного режима в Азовском море указывают на имеющуюся связь между ними.

Межгодовые флуктуации содержания хлорофилла и каротиноидов в донных отложениях в 1971—1982 гг. характеризуются разнонаправленностью — содержание хлорофилла в первое пятилетие (1971—1976 гг.) варьирует в узком диапазоне 3,6—4,3 % \* в то время, как динамика содержания каротиноидов отличается тенденцией к увеличению от 13,2 до 19,8 %. Соотношение концен-

траций этих пигментов за 1972—1976 гг. близко к 0,22 при диапазоне изменений 0,20—0,27 (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Содержание (%) хлорофилла и каротиноидов в донных отложениях и их взаимосвязь с кислородным режимом придонных слоев Азовского моря

| Год       | Хлорофилл | Каротиноиды | Хлорофилл<br>Каротиноид | Площадь дефицита<br>кислорода,<br>тыс. км <sup>2</sup> |
|-----------|-----------|-------------|-------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1971      | 4,3       | 13,2        | 0,32                    | 13,4                                                   |
| 1972      | 3,6       | 15,8        | 0,23                    | 10,2                                                   |
| 1973      | 4,0       | 14,6        | 0,27                    | 9,9                                                    |
| 1974      | 3,6       | 18,1        | 0,20                    | 3,0                                                    |
| 1975      | 4,1       | 19,8        | 0,21                    | 2,5                                                    |
| 1976      | 3,9       | 18,7        | 0,21                    | 0                                                      |
| 1972—1976 | 3,8       | 17,4        | 0,22                    | 5,1                                                    |
| 1977      | 3,6       | 14,2        | 0,25                    | 15,1                                                   |
| 1978      | 5,2       | 19,1        | 0,27                    | 12,7                                                   |
| 1979      | 5,1       | 14,7        | 0,35                    | 0                                                      |
| 1980      | 4,6       | 15,3        | 0,30                    | 4,0                                                    |
| 1981      | 5,1       | 18,2        | 0,28                    | 16,2                                                   |
| 1977—1981 | 4,7       | 16,3        | 0,29                    | 9,6                                                    |
| 1982      | 6,2       | 15,6        | 0,40                    | 4,5                                                    |

В последующее пятилетие (1977—1981 гг.) концентрация хлорофилла возрастает до 4,7 % при колебаниях от 3,6 до 5,2 %, а содержание каротиноидов претерпевает тенденцию к уменьшению в среднем до 16,3 % при диапазоне значений 14,2—19,1 %. Соотношение хлорофилла к каротиноидам в этот период составляет 0,29 при вариациях 0,25—0,35 (см. табл. 3.3).

Рассмотренная разнонаправленность в динамике содержания хлорофилла и каротиноидов коррелирует с изменениями кислородного режима в придонных слоях моря. Так, в 1972—1976 гг. при средней площади зоны дефицита кислорода в море, равной 5,1 тыс. км<sup>2</sup>, доля хлорофилла в сумме пигментов (хлорофилла и каротиноидов) составляла в среднем 18 %. В 1977—1982 гг. при средней площади зоны дефицита кислорода, равной 9,6 тыс. км<sup>2</sup>, содержание хлорофилла в сумме пигментов увеличилось до 22 %. Соотношение хлорофилла к каротиноидам нередко используется исследователями в качестве критерия оптимальности кислородного режима в придонных слоях Азовского моря.

Свойственная Азовскому морю высокая скорость потребления кислорода в основном определяется значительным объемом аккумулируемых в нем легкоокисляемых органических соединений. Экстремально высокая скорость потребления кислорода приурочена к контактной зоне вода — грунт и способна привести к значительному снижению содержания кислорода в придонных слоях при кратковременном прекращении вертикального обмена.

Помимо скорости биохимического потребления кислорода, его содержание в водах моря регулируется и другими факторами среды, изменяющимися во времени и пространстве. Сюда относятся температура воды, общая вертикальная устойчивость вод, скорость ветра в период наблюдений, содержание валового азота. Результаты работы по ранжированию значимости этих факторов были получены исследователями на базе статистической обработки многопараметрической системы для

\* Процентное содержание пигмента (мг) на 100 г грунта.

различных районов Азовского моря [9]. Было показано, что независимо от сезона температура морской воды, регулирующая растворимость кислорода и в значительной степени интенсивность окислительных процессов, является одним из важных абнотических факторов в формировании газового режима моря. В то же время вертикальная устойчивость вод является весьма значимым регулятором кислородного режима, особенно в придонных слоях моря. При этом авторы подчеркивают, что значения вертикальной устойчивости вод в Азовском море в основном формируются за счет стратификации солености. Термический фактор в вертикальном расслоении водных масс, как правило, играет второстепенную роль. Лишь в отдельных случаях при активной летней инсоляции и вялости вертикального водообмена значение температурной составляющей устойчивости вод может превзойти значение соленостной составляющей. Глубины залегания слоев с максимальными значениями градиентов солености и температуры обычно совпадают и в большинстве случаев находятся в диапазоне 1,5—2,5 м, а в районах моря, удаленных от источников пресного стока, 1,0—1,5 м.

### 3.2. Многолетние и сезонные изменения содержания кислорода в Азовском море

**Зима.** Интенсивная ветровая деятельность, обуславливающая зимой конвективное перемешивание водных слоев, способствует однородному распределению содержания кислорода на поверхности моря и во всей его толще. По данным наблюдений АзНИИРХ, зимой 1959—1966 гг. концентрация растворенного кислорода в среднем для всего моря была близка к равновесной и составляла 8,7‰ (по объему) \* в поверхностном горизонте и 8,4‰ в придонном [9]. В более ранних исследованиях газового режима Азовского моря также отмечалось весьма высокое содержание кислорода в водах открытой части моря зимой [55].

Необходимо отметить, что в различные периоды исследования авторы располагают весьма скудной информацией о наблюдениях в холодное время года, и, как правило, сведения о газовом режиме моря в этот период года оказываются весьма разноречивыми. По данным исследований Госкомгидромета СССР, обобщенным в Справочнике по шельфу (1986 г.), в течение 1961—1978 гг. содержание кислорода зимой в открытой части моря в среднем изменялось от 7,9 на поверхности до 7,7‰ у дна.

Анализ гидрохимического режима моря мы проводили на основе вышеприведенного районирования моря. При этом были обобщены все имеющиеся данные наблюдений за последние 20—25 лет (табл. 3.4).

В шести районах собственно Азовского моря содержание кислорода зимой в поверхностном слое колебалось в пределах 8,2—7,4‰. В наиболее обширном центральном районе V среднее содержание кислорода в поверхностном слое составляло 7,8‰, в его окранных районах I, VI и II содержание кислорода повышалось соответственно до

\* Здесь и далее по тексту концентрация кислорода указана в ‰ (по объему).

Таблица 3.4  
Основные статистические характеристики средних значений \* содержания растворенного кислорода (‰) в водах Азовского моря зимой за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta^{**}=0,95$ |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 7                | 8,12             | 0,51                              | 6,26                    | 7,70—8,54                                    |
| Промежуточный     | 5                | 7,89             | 0,17                              | 2,13                    | 7,72—8,06                                    |
| Придонный         | 7                | 8,16             | 0,66                              | 8,13                    | 7,62—8,70                                    |
| <b>Район II</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 15               | 7,93             | 0,52                              | 6,56                    | 7,65—8,21                                    |
| Промежуточный     | 14               | 7,84             | 0,35                              | 4,51                    | 7,65—8,03                                    |
| Придонный         | 15               | 7,88             | 0,44                              | 5,56                    | 7,64—8,12                                    |
| <b>Район III</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 11               | 7,45             | 0,78                              | 10,05                   | 6,96—7,94                                    |
| Промежуточный     | 15               | 7,64             | 0,94                              | 12,28                   | 7,14—8,14                                    |
| Придонный         | 11               | 7,41             | 0,95                              | 12,84                   | 6,81—8,02                                    |
| <b>Район IV</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 8                | 7,61             | 0,88                              | 11,60                   | 6,94—8,28                                    |
| Промежуточный     | 17               | 7,64             | 0,90                              | 11,75                   | 7,19—8,09                                    |
| Придонный         | 7                | 7,83             | 0,82                              | 10,53                   | 7,16—8,50                                    |
| <b>Район V</b>    |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 67               | 7,79             | 0,71                              | 9,85                    | 7,60—7,98                                    |
| Промежуточный     | 121              | 7,68             | 0,75                              | 9,33                    | 7,54—7,82                                    |
| Придонный         | 65               | 7,65             | 0,84                              | 10,95                   | 7,44—7,87                                    |
| <b>Район VI</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 17               | 8,20             | 0,85                              | 10,40                   | 7,78—8,62                                    |
| Промежуточный     | 24               | 8,03             | 0,86                              | 10,68                   | 7,67—8,39                                    |
| Придонный         | 17               | 8,23             | 0,67                              | 8,12                    | 7,90—8,56                                    |
| <b>Район VII</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 12               | 9,36             | 2,02                              | 21,59                   | 8,14—10,58                                   |
| Промежуточный     | 13               | 9,12             | 1,78                              | 19,36                   | 8,09—10,15                                   |
| Придонный         | 12               | 9,26             | 1,98                              | 21,39                   | 8,07—10,25                                   |
| <b>Район VIII</b> |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 6                | 10,36            | 2,38                              | 22,98                   | 8,23—12,48                                   |
| Промежуточный     | 7                | 9,96             | 2,54                              | 25,47                   | 7,89—12,03                                   |
| Придонный         | 6                | 10,11            | 2,58                              | 25,50                   | 7,81—12,41                                   |
| <b>Район IX</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                              |
| Поверхностный     | 8                | 10,44            | 3,07                              | 29,45                   | 8,11—12,76                                   |
| Промежуточный     | 7                | 10,79            | 2,57                              | 23,83                   | 8,69—12,89                                   |
| Придонный         | 8                | 10,11            | 2,79                              | 27,65                   | 8,00—12,22                                   |

\* Среднее значение содержания кислорода и других гидрохимических показателей определялось суммарным содержанием кислорода, деленным на число наблюдений, полученных зимой в данном районе моря за 1960—1981 гг.

\*\*  $\beta$  — доверительная вероятность.

8,1, 8,2, 7,9‰. По-видимому, это обусловлено влиянием донских и кубанских вод в этих районах моря. По мере продвижения к устью Дона отмечалось весьма значительное повышение содержания кислорода в водах Таганрогского залива. Так, в районе VII содержание кислорода в поверхностном слое составляло 9,4‰, а в районе IX оно повысилось до 10,44‰. Содержание кислорода в водах Азовского моря распределяется по пространству и с глубиной довольно равномерно, что обусловлено мелководностью моря и сравнительно равномерным его охлаждением. В отдельных районах моря в этот период года отмечается некоторое

снижение содержания кислорода в промежуточном слое и затем повышение содержания кислорода ко дну. Это, как правило, оказывается характерным для прибрежных районов моря I, IV, VI и районов Таганрогского залива. Обратная стратификация связана с опусканием обогащенных кислородом поверхностных слоев в процессе их охлаждения или увеличения плотности вод за счет солей, выделяемых при льдообразовании.

Наибольшей изменчивости зимой подвержено содержание кислорода в водах Таганрогского залива, где значения среднего квадратического отклонения и коэффициентов вариации достигают соответственно 3,07‰ и 29% в районе, примыкающем к устью Дона. В открытой части моря среднее квадратическое отклонение в поверхностном слое различных районов изменялось в пределах 0,52—0,88‰, в промежуточном — 0,35—0,94‰. Наибольшей изменчивостью содержания кислорода отличались промежуточный и придонный слои такого динамичного района моря, как района водообмена (район III).

В течение 25-летнего периода наблюдений выделяются различные периоды по водности рек, питающих Азовское море, что позволяет проследить динамику гидрохимических характеристик и их статистических параметров в маловодные и многоводные годы. Наиболее значительные темпы повышения солености наблюдались в 1969—1976 гг., в течение которых изъятия речного стока существенно возросли. Этот фактор в совокупности со снижением естественного стока вызвал увеличение солености до 13,8‰, которая наблюдалась в 1976 г. Поступление речных вод в Азовское море в течение 1972—1976 гг. составило в среднем около 24 км³/год. Затем наступил период 1977—1981 гг., когда резко отрицательная аномалия увлажненности бассейна Азовского моря сменилась почти в такой же степени на положительную. Суммарный сток речных вод в этот период достиг 40 км³/год. В течение этого периода средняя соленость моря падает до 11,3‰.

На примере района V можно проследить различия в содержании кислорода, полученные в зимние периоды, отличающиеся по водности (табл. 3.5). В маловодный период в поверхностном горизонте отмечается существенная изменчивость содержания кислорода, что подтверждается здесь увеличе-

Таблица 3.5

Основные статистические характеристики средних значений содержания (‰) растворенного кислорода в V районе зимой в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 11 | 7,37 | 0,43 | 5,91 | 7,00—7,64 |
| Промежуточный | 25 | 7,45 | 0,18 | 2,45 | 7,12—7,78 |
| Придонный     | 11 | 7,28 | 0,18 | 2,55 | 7,17—7,35 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 15 | 7,99 | 0,23 | 2,92 | 7,87—8,11 |
| Промежуточный | 15 | 7,97 | 0,23 | 2,88 | 7,85—8,09 |
| Придонный     | 15 | 7,99 | 0,20 | 2,52 | 7,88—8,10 |

нием коэффициента вариации примерно в 2,5 раза. По сравнению с данными многоводного периода наблюдается снижение содержания кислорода в маловодные годы на 0,5—0,7‰ по всей водной толще. Видимо, это объясняется увеличением солености вод в зимний маловодный период на 0,5—0,7‰ по сравнению с соленостью вод в многоводный период, в связи с чем растворимость кислорода в зимний маловодный период понижается в водах Азовского моря. Кроме того, зимы 1972 и 1976 гг. (маловодный период) характеризуются повышенной ледовитостью: площадь моря, занятая льдом, в эти годы составила более 25 тыс. км². Было проведено сравнение ледовитости (в баллах) моря в маловодные и многоводные годы. При этом оказалось, что в маловодный год (1976) ледовитость моря составила 8—10 баллов, в многоводные годы (1979, 1981) ледовитость моря снизилась до 4 и 0,3 балла соответственно. Таким образом, можно предположить, что увеличение ледовитости моря в маловодные годы способствует снижению содержания кислорода в водной толще моря, в связи с тем, что в суровые зимы происходит довольно длительная изоляция водных масс от атмосферы.

Значения относительного содержания кислорода, рассчитанные для каждого района моря, свидетельствуют также о весьма равномерном их распределении зимой как по акватории моря, так и с глубиной: средние значения изменяются в пределах 93—99‰ (табл. 3.6); максимальные значения в различных районах моря превышают 100—110‰. Оценка интервалов, за пределы которых не выходит среднее значение с доверительной вероятностью, равной 0,95, показала, что полученные в данной выборке экстремальные значения не

Таблица 3.6

Основные статистические характеристики средних значений относительного содержания (‰) кислорода в водах Азовского моря зимой за 1980—1981 гг.

| Горизонт         | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 7                | 96               | 8                                 | 9                       | 89—102                                  |
| Придонный        | 9                | 96               | 6                                 | 6                       | 92—100                                  |
| <b>Район II</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 15               | 94               | 4                                 | 4                       | 89—99                                   |
| Промежуточный    | 14               | 93               | 3                                 | 3                       | 92—96                                   |
| Придонный        | 15               | 91               | 3                                 | 3                       | 92—96                                   |
| <b>Район III</b> |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 11               | 97               | 5                                 | 6                       | 93—100                                  |
| Промежуточный    | 15               | 97               | 7                                 | 7                       | 93—101                                  |
| Придонный        | 11               | 94               | 7                                 | 8                       | 90—98                                   |
| <b>Район V</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 64               | 98               | 5                                 | 5                       | 97—99                                   |
| Промежуточный    | 116              | 99               | 5                                 | 6                       | 99—100                                  |
| Придонный        | 58               | 97               | 5                                 | 6                       | 96—98                                   |
| <b>Район VI</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 17               | 97               | 6                                 | 6                       | 94—100                                  |
| Промежуточный    | 28               | 98               | 5                                 | 6                       | 96—100                                  |
| Придонный        | 13               | 96               | 5                                 | 6                       | 93—99                                   |



укладываются в рассчитанные доверительные интервалы. При наличии малого количества данных наблюдений, а в условиях зимы это оказывается весьма характерным, можно считать, что экстремальные значения не дают правильного представления о возможных отклонениях от среднего значения.

Обычно для корректного проведения статистического анализа надо проверить, насколько распределение данного ингредиента близко к нормальному, при этом следует иметь в виду, что при небольшом числе данных задача об определении подходящего типа распределения может быть решена лишь весьма приблизительно. Массив значений абсолютного и относительного содержания кислорода, полученный для однородных условий, например в данном случае для зимы, по каждому району для определенного горизонта до расчета статистических характеристик был подвергнут анализу распределения.

Для построения кривых распределения было проведено так называемое разбиение отрезка между максимальным и минимальным значениями исследуемого гидрохимического параметра. Обычно при достаточном числе наблюдений близость к нормальному распределению выявляется уже визуально. Нормальное распределение, как известно, характеризуется в первую очередь наличием одной вершины и симметричностью. При наличии ярко выраженных нескольких пиков на кривой распределения можно предположить, что на изменчивость данной гидрохимической характеристики воздействует одновременно несколько разнонаправленных процессов. Характер распределения значений абсолютного и относительного содержания кислорода зимой был рассмотрен на примере района V, где массив данных оказался достаточным для такого анализа. При этом в ряду значений абсолютного и относительного содержания кислорода был выбран интервал разбиения соответственно 1‰ и 15% (рис. 3.1). Кривые распределения значений абсолютного и относительного содержания кислорода, полученные для различных горизонтов, характеризовались наличием одной вершины и сим-

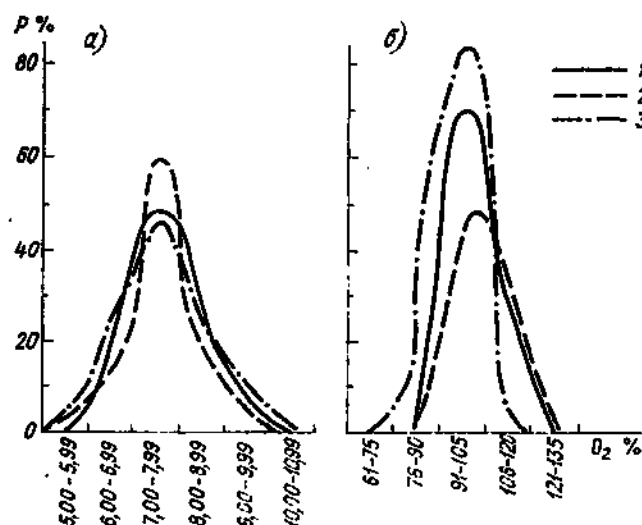


Рис. 3.1. Распределение значений абсолютного (а) и относительного (б) содержания кислорода в районе V Азовского моря зимой по данным наблюдений за период 1960—1981 гг. в поверхностном (1), промежуточном (2) и придонном (3) горизонтах.

метричным расположением. Распределение значений абсолютного содержания кислорода для поверхностного и придонного слоев практически совпадает. Наибольшее число значений данного ингредиента укладывается в интервале 7—8‰ — 48, 45 и 60% соответственно для поверхностного, придонного и промежуточного слоев моря.

Распределение значений относительного содержания кислорода по всем горизонтам свидетельствует о том, что зимой наиболее характерное значение этого показателя находится в интервале 91—105%. Значения относительного содержания кислорода, равные 70—75%, зимой в водах Азовского моря обнаруживались крайне редко.

Весна. Весной охлажденные воды моря достаточно хорошо аэрированы от поверхности до дна. Наряду с относительно еще невысокими температурами воды этому также способствует интенсивное развитие фитопланктона и сравнительно низкая в это время года напряженность окислительных процессов. По данным АзНИИРХ, среднее абсолютное и относительное содержание кислорода весной за 1960—1986 гг. в поверхностных и

Таблица 3.7

Среднемсясные значения абсолютного (‰) и относительного (% насыщения) содержания кислорода в Азовском море в апреле. По данным АзНИИРХ за 1960—1986 гг.

| Годы                      | Содержание кислорода |       |             |     |             |      |             |     |
|---------------------------|----------------------|-------|-------------|-----|-------------|------|-------------|-----|
|                           | ‰                    |       | % насыщения |     | ‰           |      | % насыщения |     |
|                           | Поверхность          | Дно   | Поверхность | Дно | Поверхность | Дно  | Поверхность | Дно |
| <b>Таганрогский залив</b> |                      |       |             |     |             |      |             |     |
| 1960                      | 8,77                 | 8,70  | 104         | 102 | 9,01        | 8,69 | 111         | 106 |
| 1961                      | 7,42                 | 6,00  | 96          | 92  | 7,21        | 6,84 | 98          | 91  |
| 1962                      | 7,07                 | 6,64  | 101         | 91  | 7,04        | 6,79 | 96          | 88  |
| 1963                      | 9,30                 | 9,00  | 105         | 104 | 9,48        | 9,40 | 115         | 95  |
| 1964                      | 8,76                 | 8,07  | 111         | 97  | 8,87        | 8,71 | 110         | 104 |
| 1965                      | 9,30                 | 9,16  | 108         | 110 | 9,93        | 9,42 | 120         | 112 |
| 1966                      | 11,71                | 10,85 | 142         | 121 | 10,23       | 8,83 | 130         | 117 |
| 1967                      | 9,66                 | 9,07  | 115         | 114 | 8,87        | 8,87 | 109         | 107 |
| 1968                      | 8,28                 | 7,32  | 106         | 95  | 7,53        | 6,77 | 96          | 80  |
| 1969                      | 9,04                 | 8,60  | 117         | 111 | 9,09        | 8,90 | 109         | 106 |
| 1970                      | 9,17                 | 8,76  | 117         | 110 | 8,95        | 8,73 | 111         | 108 |
| 1971                      | 8,15                 | 8,24  | 99          | 99  | 8,52        | 8,36 | 105         | 103 |
| 1972                      | 7,78                 | 6,67  | 108         | 89  | 7,80        | 7,59 | 105         | 101 |
| 1973                      | 8,20                 | 8,02  | 104         | 102 | 7,92        | 7,64 | 101         | 97  |
| 1974                      | 9,61                 | 8,38  | 114         | 100 | 9,35        | 9,03 | 117         | 111 |
| 1975*                     | 8,14                 | 7,65  | 92          | 90  | 6,74        | 4,33 | 107         | 66  |
| 1976                      | 9,70                 | 9,34  | 116         | 112 | 9,32        | 9,33 | 113         | 111 |
| 1977                      | 8,73                 | 8,12  | 112         | 103 | 8,51        | 7,92 | 107         | 100 |
| 1978                      | 8,65                 | 8,55  | 110         | 109 | 8,26        | 8,19 | 102         | 101 |
| 1979                      | 8,24                 | 7,71  | 103         | 96  | 8,75        | 8,15 | 109         | 100 |
| 1980                      | 10,09                | 8,29  | 126         | 105 | 8,96        | 8,17 | 119         | 101 |
| 1981                      | 9,22                 | 8,83  | 106         | 101 | 9,04        | 8,90 | 109         | 106 |
| 1982                      | 11,49                | 8,65  | 163         | 103 | 9,78        | 8,99 | 121         | 107 |
| 1983                      | 8,00                 | 6,90  | 103         | 88  | 7,55        | 7,16 | 97          | 93  |
| 1984                      | 7,58                 | 7,64  | 94          | 95  | 8,08        | 7,78 | 102         | 99  |
| 1985                      | 8,88                 | 7,67  | 93          | 94  | 8,31        | 7,56 | 101         | 89  |
| 1986                      | 7,04                 | 6,53  | 95          | 88  | 6,93        | 6,70 | 88          | 85  |
| Среднее за 1960—1986      | 8,81                 | 8,20  | 110         | 101 | 8,52        | 8,06 | 108         | 99  |
| 1960—1969                 | 8,93                 | 8,34  | 110         | 104 | 8,73        | 8,29 | 109         | 101 |
| 1970—1976                 | 8,68                 | 8,15  | 107         | 100 | 8,64        | 8,45 | 109         | 100 |
| 1977—1982                 | 9,40                 | 8,36  | 120         | 103 | 8,88        | 8,39 | 111         | 102 |
| 1983—1986                 | 7,88                 | 7,18  | 96          | 91  | 7,72        | 7,30 | 97          | 92  |

\* Данные для собственно Азовского моря получены в мае.



придонных горизонтах собственно Азовского моря составляет соответственно 8,5‰ (108 %) и 8,1‰ (99 %), в Таганрогском заливе — 8,8‰ (110 %) и (8,2 %) (101 %) (табл. 3.7).

Различная от года к году интенсивность развития фитопланктона обуславливает значительную межгодовую изменчивость содержания кислорода весной. Диапазон колебаний среднего содержания кислорода в поверхностном слое Таганрогского залива составил 7,0—11,7‰, в собственно море 6,9—10,2‰, в придонных горизонтах залива и моря соответственно 6,5—10,8 и 6,7—9,4‰.

При этом необходимо отметить, что сравнение среднегодовых значений абсолютного содержания кислорода, полученных в один и тот же сезон различными ведомствами, показало весьма существенные расхождения, достигающие в отдельные годы более 3‰. По данным Госкомгидромета СССР, диапазон колебаний средних значений абсолютного содержания кислорода практически за тот же период наблюдений составил для поверхностного слоя Таганрогского залива и открытой части моря соответственно 5,1—8,4 и 5,8—9,9‰, в придонных горизонтах 5,7—9,1 и 5,1—9,5‰. Различие, видимо, объясняется тем, что экспедиционные наблюдения проводились различными ведомствами весной в разное время, отличающееся температурным режимом, фазами развития фитопланктона и интенсивностью окислительных процессов.

В апреле абсолютное содержание кислорода в водах Азовского моря может достигать более

9,5‰, а его относительное содержание превышать 120—150 %, что и было отмечено в 1966, 1970, 1976, 1980, 1982 гг. К концу мая, как правило, уменьшается абсолютное содержание кислорода в среднем до 6—7‰, снижается и степень насыщения вод кислородом, что является следствием интенсивного прогревания водной толщи.

В пространственном распределении весной отмечается постепенное снижение абсолютного и относительного содержания кислорода в открытой части моря к Таганрогскому заливу и Керченскому проливу. По данным наблюдений за 1982—1985 гг., значительную акваторию открытой части моря и Таганрогского залива оконтуривают изоксигены соответственно 8,5—9,0 и 8,0—6,5‰. При этом наименьшее содержание кислорода обнаруживается в районе устья Дона (рис. 3.2 а, б). Поверхностные воды Азовского моря в этот период оказываются перенасыщенными кислородом. Особенно значительное перенасыщение отмечается в центральной части моря и Таганрогского залива, где оно достигает 115—120 % (рис. 3.2 в, г).

Сравнение данных табл. 3.4 и 3.8 показало, что в районах III—V абсолютное содержание кислорода весной несколько повысилось по сравнению с его содержанием зимой. Однако в предустьевых районах Дона и Кубани (районы VII—IX и I—II) отмечалось существенное уменьшение концентрации кислорода по сравнению с его концентрацией зимой. Изменчивость значений концентрации кислорода весной значительно увеличилась,

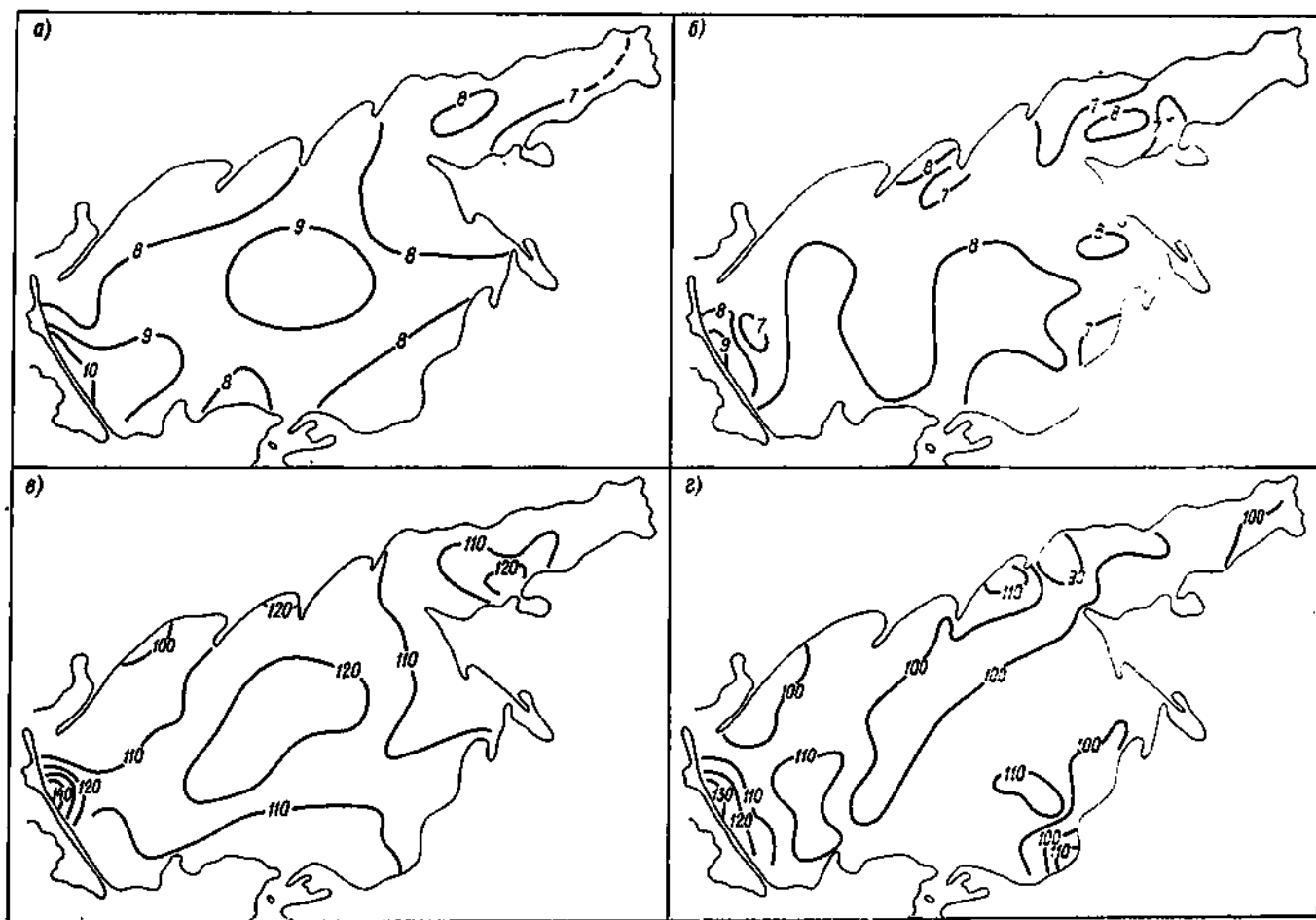


Рис. 3.2. Распределение значений абсолютного (а, б) и относительного (в, г) содержания растворенного кислорода (‰) в поверхностном (а, в) и придонном (б, г) горизонтах Азовского моря весной по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

о чем свидетельствует возрастание коэффициентов вариации в 1,5—2 раза.

Пространственное распределение содержания кислорода весной, как правило, зависит от температурных условий данного сезона и характера предшествующей зимы. По данным Госкомгидромета СССР, на Азовском море за 1923—1977 гг. повторяемость суровых и ледовитых зим составила 22 %, умеренных — 51 % и мягких — 27 %. За 1952—1977 гг. заметно увеличилась повторяемость мягких зим (до 40 %) при уменьшении повторяемости умеренных зим до 40 %. Площадь покрытия моря льдом в суровые зимы в среднем составляет около 80 %, в умеренные — около 50 % и мягкие — до 10 %. Типичная картина формирования ледяного покрова в Азовском море следующая: ледовый сезон начинается с появления льда в восточной части Таганрогского залива, где лед

Таблица 3.8

Основные статистические характеристики средних значений абсолютного содержания (‰) кислорода в водах Азовского моря весной за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 68               | 7,81             | 1,09                              | 13,96                   | 7,54—8,08                               |
| Промежуточный     | 30               | 7,46             | 1,18                              | 15,78                   | 7,02—7,90                               |
| Придонный         | 66               | 7,60             | 1,12                              | 14,73                   | 7,32—7,88                               |
| <b>Район II</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 79               | 7,71             | 1,17                              | 15,20                   | 7,44—7,98                               |
| Промежуточный     | 68               | 7,71             | 1,10                              | 14,35                   | 7,44—7,98                               |
| Придонный         | 87               | 7,41             | 1,31                              | 17,65                   | 7,13—7,69                               |
| <b>Район III</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 42               | 8,01             | 1,25                              | 15,56                   | 7,62—8,40                               |
| Промежуточный     | 39               | 8,02             | 1,26                              | 15,75                   | 7,61—8,43                               |
| Придонный         | 43               | 7,57             | 1,37                              | 18,06                   | 7,15—7,99                               |
| <b>Район IV</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 68               | 8,18             | 1,31                              | 15,98                   | 7,86—8,50                               |
| Промежуточный     | 58               | 8,14             | 1,45                              | 17,83                   | 7,76—8,52                               |
| Придонный         | 71               | 7,92             | 1,67                              | 21,10                   | 7,52—8,32                               |
| <b>Район V</b>    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 420              | 8,12             | 1,30                              | 16,03                   | 7,99—8,25                               |
| Промежуточный     | 381              | 8,09             | 1,38                              | 17,14                   | 7,95—8,23                               |
| Придонный         | 437              | 7,65             | 1,76                              | 22,98                   | 7,48—7,82                               |
| <b>Район VI</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 56               | 7,88             | 1,41                              | 17,87                   | 7,50—8,26                               |
| Промежуточный     | 52               | 7,69             | 1,37                              | 17,85                   | 7,31—8,07                               |
| Придонный         | 55               | 7,34             | 1,35                              | 18,34                   | 6,97—7,71                               |
| <b>Район VII</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 197              | 8,19             | 1,57                              | 18,71                   | 7,97—8,41                               |
| Промежуточный     | 57               | 7,40             | 1,28                              | 17,30                   | 7,06—7,74                               |
| Придонный         | 190              | 7,80             | 1,42                              | 18,22                   | 7,59—8,01                               |
| <b>Район VIII</b> |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 84               | 8,21             | 1,65                              | 20,11                   | 7,85—8,57                               |
| Промежуточный     | 16               | 7,76             | 1,44                              | 18,75                   | 7,02—8,50                               |
| Придонный         | 83               | 7,80             | 1,66                              | 21,32                   | 7,43—8,17                               |
| <b>Район IX</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 136              | 8,29             | 1,73                              | 21,75                   | 7,99—8,59                               |
| Промежуточный     | 21               | 7,81             | 2,25                              | 28,86                   | 6,80—8,82                               |
| Придонный         | 145              | 7,95             | 1,72                              | 21,64                   | 7,66—8,24                               |

образуется ежегодно, даже в самые мягкие зимы. Затем процесс замерзания воды распространяется на северо-восточный и западный районы моря, а позже охватывает его южную часть. После мягких и умеренных зим весной отмечается локально бурное цветение фитопланктона в поверхностных слоях моря. Это в свою очередь создает предпосылки для неравномерного распределения кислорода в водной толще. Практически во всех районах моря в 1960—1981 гг. отмечается снижение абсолютного содержания кислорода у дна, но в среднем различие между содержанием в поверхностном и придонном слоях не превышает 0,5 ‰. Изменчивость абсолютного содержания кислорода в придонных слоях моря для его мелководных районов практически не отличается от аналогичных характеристик в поверхностном и промежуточных слоях моря. Однако для районов V, IV и отчасти III в придонном слое среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации увеличиваются в 1,3—1,5 раза по сравнению с этими же параметрами, рассчитанными для поверхностного слоя моря (табл. 3.8).

В периоды осолонения Азовского моря наступление многоводной фазы стока нередко приводит к еще более резкому вертикальному расслоению вод и угнетению кислородного режима моря. Сравнение средних значений абсолютного содержания кислорода, характеризующих маловодный период, с аналогичными значениями многоводного периода по районам V и VI показало весьма значительное уменьшение содержания кислорода весной именно в многоводный период: по всей водной толще района V отмечалось уменьшение содержания кислорода более чем на 1 ‰, а в районе VI — на 0,5—0,8 ‰ (табл. 3.9). В остальных районах моря различия в содержании кислорода в периоды разной водности практически не были отмечены. Лишь в поверхностных горизонтах районов Таганрогского залива в многоводный период содержание кислорода увеличивалось по сравнению с таковым в маловодный период на 0,5—0,7 ‰.

Весной в связи с развитием фотосинтетических процессов поверхностные и промежуточные слои моря оказываются перенасыщенными кислородом во всех районах, в придонных же горизонтах отмечается некоторое недонасыщение вод кислородом (табл. 3.10). Особенно резкое снижение содержания кислорода (до 79 %) отмечается в придонном горизонте района II, формирование гидрохимического режима которого находится под существенным влиянием вод Кубани. Предшествующие исследования газового режима вод в районе Кубанского устьевых взморья показали, что в течение всех сезонов относительное содержание кислорода в придонных слоях этого района оказывается довольно низким. Условия взаимодействия речных и морских вод таковы, что непосредственно в зоне активного смешения, где скорости достаточно велики, происходит подсос глубинных или придонных вод, которые характеризуются низким относительным содержанием кислорода. Велико также влияние мутности воды на распределение кислорода по глубине в теплое время года в периоды штиля и слабого ветра. В таких условиях развивается стратификация вод по плотности. В нижних горизонтах устьевых взморья либо в значительной степени ослабляется, либо полностью

Таблица 3.9

Основные статистические характеристики средних значений абсолютного содержания (%) кислорода в районах Азовского моря весной в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт         | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 16               | 7,48             | 0,70                              | 9,41                    | 7,12—7,84                               |
| Промежуточный    | 7                | 7,06             | 1,18                              | 16,74                   | 6,10—8,02                               |
| Придонный        | 20               | 7,13             | 1,44                              | 20,26                   | 6,47—7,79                               |
| 1977—1981 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 23               | 7,52             | 0,82                              | 10,98                   | 7,17—7,87                               |
| Промежуточный    | 11               | 7,15             | 0,76                              | 10,57                   | 6,67—7,63                               |
| Придонный        | 19               | 7,35             | 0,76                              | 10,36                   | 6,99—7,71                               |
| <b>Район II</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 23               | 7,42             | 0,98                              | 13,20                   | 7,00—7,84                               |
| Промежуточный    | 28               | 7,54             | 0,92                              | 12,14                   | 7,15—7,93                               |
| Придонный        | 26               | 7,04             | 1,38                              | 19,67                   | 6,49—7,59                               |
| 1977—1981 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 33               | 7,33             | 0,87                              | 11,92                   | 7,02—7,64                               |
| Промежуточный    | 28               | 7,21             | 1,03                              | 14,32                   | 6,81—7,61                               |
| Придонный        | 31               | 7,28             | 0,95                              | 13,52                   | 6,93—7,63                               |
| <b>Район III</b> |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 10               | 7,69             | 1,17                              | 15,16                   | 6,91—8,47                               |
| Промежуточный    | 9                | 7,68             | 0,97                              | 12,61                   | 6,99—8,36                               |
| Придонный        | 12               | 7,10             | 1,21                              | 17,09                   | 6,37—7,83                               |
| 1977—1981 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 13               | 7,61             | 1,69                              | 14,32                   | 6,63—8,59                               |
| Промежуточный    | 14               | 7,55             | 1,02                              | 13,56                   | 6,98—8,12                               |
| Придонный        | 12               | 7,31             | 1,12                              | 15,32                   | 6,64—7,98                               |
| <b>Район IV</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 14               | 7,94             | 1,07                              | 13,50                   | 7,35—8,53                               |
| Промежуточный    | 15               | 7,71             | 1,08                              | 14,08                   | 7,13—8,29                               |
| Придонный        | 17               | 7,43             | 1,88                              | 25,31                   | 6,49—8,37                               |
| 1977—1981 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 19               | 8,12             | 1,63                              | 20,10                   | 7,35—8,89                               |
| Промежуточный    | 16               | 8,35             | 1,81                              | 21,70                   | 7,42—9,28                               |
| Придонный        | 19               | 8,07             | 1,72                              | 21,25                   | 7,26—8,88                               |
| <b>Район V</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 114              | 7,84             | 1,13                              | 14,36                   | 7,58—8,00                               |
| Промежуточный    | 118              | 7,79             | 1,14                              | 14,69                   | 7,58—8,00                               |
| Придонный        | 128              | 7,29             | 1,99                              | 27,43                   | 6,94—7,64                               |
| 1977—1981 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 77               | 6,70             | 0,70                              | 10,53                   | 6,54—6,86                               |
| Промежуточный    | 67               | 6,34             | 0,73                              | 11,53                   | 6,16—6,52                               |
| Придонный        | 77               | 6,10             | 1,14                              | 18,62                   | 5,84—6,36                               |
| <b>Район VI</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 15               | 7,52             | 0,85                              | 11,32                   | 7,07—7,97                               |
| Промежуточный    | 13               | 7,03             | 0,62                              | 8,86                    | 6,67—7,39                               |
| Придонный        | 15               | 7,23             | 1,29                              | 17,85                   | 6,54—7,92                               |

| Горизонт             | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>1977—1981 гг.</b> |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 20               | 7,19             | 1,20                              | 16,74                   | 6,64—7,74                               |
| Промежуточный        | 16               | 6,89             | 1,09                              | 15,78                   | 6,33—7,45                               |
| Придонный            | 19               | 6,57             | 1,12                              | 17,10                   | 6,04—7,10                               |
| <b>Район VII</b>     |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.        |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 22               | 7,20             | 1,08                              | 15,02                   | 6,73—7,67                               |
| Промежуточный        | 9                | 6,86             | 0,94                              | 13,73                   | 6,20—7,52                               |
| Придонный            | 33               | 6,97             | 1,28                              | 18,32                   | 6,52—7,42                               |
| 1977—1981 гг.        |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 51               | 7,91             | 1,41                              | 17,82                   | 6,42—6,80                               |
| Промежуточный        | 24               | 6,87             | 0,97                              | 14,06                   | 5,80—6,46                               |
| Придонный            | 49               | 7,08             | 1,57                              | 21,98                   | 5,93—6,43                               |
| <b>Район VIII</b>    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.        |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 22               | 7,98             | 1,56                              | 19,56                   | 7,30—8,06                               |
| Промежуточный        | 5                | 7,50             | 1,05                              | 13,98                   | 6,48—8,55                               |
| Придонный            | 25               | 7,65             | 1,68                              | 21,91                   | 6,96—8,34                               |
| 1977—1981 гг.        |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 22               | 8,02             | 1,58                              | 19,67                   | 7,33—8,71                               |
| Придонный            | 20               | 7,28             | 1,40                              | 19,30                   | 6,64—7,92                               |
| <b>Район IX</b>      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.        |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 43               | 7,87             | 1,71                              | 21,75                   | 7,34—8,40                               |
| Придонный            | 57               | 7,74             | 2,00                              | 25,83                   | 7,20—8,27                               |
| 1977—1981 гг.        |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный        | 36               | 8,32             | 1,40                              | 16,80                   | 7,85—8,79                               |
| Промежуточный        | 9                | 7,20             | 0,85                              | 11,84                   | 6,60—7,80                               |
| Придонный            | 34               | 7,96             | 1,09                              | 13,70                   | 7,58—8,34                               |

Таблица 3.10

Основные статистические характеристики средних значений относительного содержания (%) кислорода в водах Азовского моря весной за 1960—1981 гг.

| Горизонт         | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>   |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 17               | 106              | 13                                | 12                      | 100—112                                 |
| Промежуточный    | 15               | 107              | 14                                | 13                      | 100—114                                 |
| Придонный        | 14               | 97               | 9                                 | 9                       | 92—102                                  |
| <b>Район II</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 45               | 104              | 9                                 | 8                       | 101—107                                 |
| Промежуточный    | 41               | 104              | 7                                 | 7                       | 102—106                                 |
| Придонный        | 55               | 79               | 39                                | 40                      | 68—90                                   |
| <b>Район III</b> |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 19               | 107              | 10                                | 9                       | 102—112                                 |
| Промежуточный    | 21               | 108              | 14                                | 13                      | 102—114                                 |
| Придонный        | 19               | 102              | 11                                | 11                      | 97—107                                  |
| <b>Район IV</b>  |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 22               | 107              | 16                                | 15                      | 100—114                                 |
| Промежуточный    | 25               | 110              | 19                                | 17                      | 102—118                                 |
| Придонный        | 22               | 101              | 18                                | 18                      | 93—109                                  |

| Горизонт      | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район V       |                  |                  |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 204              | 109              | 13                                | 12                      | 107—111                                   |
| Промежуточный | 234              | 107              | 18                                | 17                      | 105—109                                   |
| Придонный     | 212              | 97               | 21                                | 22                      | 94—100                                    |
| Район VI      |                  |                  |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 34               | 105              | 21                                | 20                      | 98—112                                    |
| Промежуточный | 38               | 108              | 16                                | 15                      | 103—113                                   |
| Придонный     | 34               | 97               | 11                                | 12                      | 93—101                                    |
| Район VII     |                  |                  |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 51               | 103              | 16                                | 16                      | 99—107                                    |
| Промежуточный | 49               | 102              | 16                                | 16                      | 97—107                                    |
| Придонный     | 53               | 96               | 18                                | 19                      | 91—101                                    |
| Район VIII    |                  |                  |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 22               | 109              | 14                                | 13                      | 101—114                                   |
| Промежуточный | 23               | 105              | 19                                | 18                      | 97—113                                    |
| Придонный     | 29               | 100              | 17                                | 17                      | 94—106                                    |
| Район IX      |                  |                  |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 38               | 110              | 21                                | 20                      | 103—117                                   |
| Промежуточный | 21               | 113              | 28                                | 25                      | 101—125                                   |
| Придонный     | 35               | 102              | 27                                | 26                      | 93—111                                    |

прекращается процесс фотосинтеза, обогащающий воду кислородом. Происходит активный процесс расходования кислорода на окисление органических продуктов и, как следствие, образуется дефицит кислорода в придонном слое [40].

Таким образом, весной для режима кислорода наиболее типично его абсолютное и относительное уменьшение с глубиной в связи с тем, что с глубиной возрастает плотность воды, препятствующая перемешиванию слоев и обмену кислородом. Глубина слоя скачка температуры, вызываемого прогреванием, постепенно от весны к осени увеличивается. При достаточной мощности и глубине залегания слоя скачка температуры ветровое перемешивание неспособно преодолеть устойчивость слоев. Поэтому создаются условия для образования дефицита кислорода в слое скачка температуры и ниже. Этому способствует и то, что в слое скачка плотности скапливаются остатки отмерших организмов, на окисление органических продуктов которых расходуется кислород.

Кривые распределения по глубине значений относительного содержания кислорода за весну характеризуют распределение, близкое к нормальному. Этот вывод можно отнести прежде всего к районам V, II, VI, VII. Характер распределения

Таблица 3.11

Среднемесячные значения абсолютного (‰) и относительного (% насыщения) содержания кислорода в Азовском море в июле и августе 1960—1986 гг.

| Год                | Содержание кислорода |      |             |     |             |      |             |     |             |      |             |     |             |      |             |     |
|--------------------|----------------------|------|-------------|-----|-------------|------|-------------|-----|-------------|------|-------------|-----|-------------|------|-------------|-----|
|                    | Июль                 |      |             |     | Август      |      |             |     | Июль        |      |             |     | Август      |      |             |     |
|                    | ‰                    |      | % насыщения |     | ‰           |      | % насыщения |     | ‰           |      | % насыщения |     | ‰           |      | % насыщения |     |
|                    | Поверхность          | Дно  | Поверхность | Дно | Поверхность | Дно  | Поверхность | Дно | Поверхность | Дно  | Поверхность | Дно | Поверхность | Дно  | Поверхность | Дно |
| Таганрогский залив |                      |      |             |     |             |      |             |     |             |      |             |     |             |      |             |     |
| 1960               | 7,66                 | 6,45 | 126         | 107 | 5,47        | 5,11 | 86          | 74  | 5,66        | 4,71 | 97          | 81  | 6,41        | 5,60 | 106         | 94  |
| 1961               | 5,68                 | 5,39 | 96          | 90  | 6,55        | 5,37 | 108         | 88  | 6,11        | 4,09 | 105         | 67  | 6,16        | 5,70 | 104         | 96  |
| 1962               | 6,87                 | 5,18 | 120         | 103 | —           | —    | 110         | 89  | 5,34        | 3,81 | 94          | 64  | —           | —    | 95          | 86  |
| 1963               | 6,40                 | 4,09 | 107         | 61  | 5,26        | 5,75 | 44          | 86  | 6,28        | 2,78 | 108         | 47  | 5,19        | 4,46 | 90          | 87  |
| 1964               | 6,48                 | 4,78 | 108         | 80  | 5,83        | 4,67 | 97          | 81  | 5,38        | 5,01 | 92          | 85  | 5,89        | 5,07 | 100         | 85  |
| 1965               | 5,89                 | 5,05 | 99          | 84  | 6,23        | 5,94 | 104         | 98  | 5,85        | 4,12 | 99          | 54  | 5,91        | 4,91 | 94          | 84  |
| 1966               | 5,46                 | 4,89 | 94          | 82  | 5,28        | 4,01 | 91          | 67  | 5,58        | 3,81 | 98          | 55  | 6,04        | 3,48 | 88          | 69  |
| 1967               | 5,56                 | 5,36 | 96          | 92  | 5,66        | 4,42 | 98          | 75  | 5,72        | 4,81 | 99          | 84  | 5,18        | 3,83 | 91          | 68  |
| 1968               | 4,84                 | 4,62 | 82          | 79  | 5,59        | 4,81 | 90          | 77  | 4,93        | 4,66 | 87          | 80  | 5,42        | 4,64 | 93          | 77  |
| 1969               | 6,68                 | 6,06 | 110         | 98  | 5,46        | 5,27 | 94          | 99  | 6,51        | 4,78 | 110         | 78  | 5,91        | 4,38 | 102         | 73  |
| 1970               | 6,41                 | 5,32 | 106         | 85  | 6,40        | 5,51 | 101         | 87  | 5,53        | 4,94 | 98          | 85  | 5,73        | 5,31 | 95          | 88  |
| 1971               | 5,42                 | 5,20 | 90          | 86  | 6,32        | 3,83 | 108         | 65  | 6,32        | 5,20 | 106         | 87  | 5,89        | 3,89 | 104         | 62  |
| 1972               | 6,28                 | 5,57 | 108         | 96  | 5,68        | 5,32 | 97          | 91  | 5,52        | 4,39 | 98          | 77  | 5,94        | 4,96 | 106         | 87  |
| 1973               | 6,46                 | 3,28 | 114         | 56  | 5,65        | 5,55 | 94          | 92  | 6,02        | 4,22 | 106         | 76  | 6,35        | 5,06 | 106         | 84  |
| 1974               | 4,67                 | 4,45 | 79          | 76  | 5,58        | 5,20 | 96          | 90  | 5,33        | 4,28 | 92          | 75  | 5,24        | 5,00 | 92          | 86  |
| 1975               | 5,29                 | 5,19 | 93          | 93  | —           | —    | —           | —   | 5,66        | 4,78 | 99          | 84  | —           | —    | —           | —   |
| 1976               | 5,72                 | 5,56 | 94          | 92  | —           | —    | —           | —   | 5,55        | 6,30 | 95          | 90  | —           | —    | —           | —   |
| 1977               | 5,51                 | 5,16 | 94          | 88  | 5,92        | 4,84 | 103         | 72  | 5,62        | 2,81 | 100         | 52  | 6,67        | 3,72 | 119         | 60  |
| 1978               | 5,49                 | 5,46 | 90          | 89  | —           | —    | —           | —   | 7,00        | 3,62 | 122         | 60  | —           | —    | —           | —   |
| 1979               | 5,69                 | 5,27 | 93          | 87  | 5,90        | 5,10 | 93          | 96  | 5,46        | 5,28 | 93          | 89  | 5,80        | 4,90 | 98          | 82  |
| 1980               | 5,38                 | 5,14 | 90          | 88  | 6,37        | 5,34 | 109         | 91  | 6,45        | 4,93 | 112         | 86  | 5,59        | 5,40 | 97          | 93  |
| 1981               | 7,71                 | 2,83 | 135         | 49  | 7,33        | 6,77 | 124         | 116 | 7,10        | 3,86 | 125         | 64  | 6,95        | 6,32 | 158         | 112 |
| 1982               | 7,50                 | 3,86 | 127         | 60  | 6,34        | 4,47 | 106         | 74  | 5,48        | 5,04 | 94          | 83  | 5,54        | 4,72 | 95          | 81  |
| 1983               | 5,37                 | 4,67 | 85          | 47  | 7,10        | 4,15 | 103         | 69  | 6,64        | 4,23 | 99          | 73  | 5,98        | 5,09 | 102         | 86  |
| 1984               | 5,04                 | 4,49 | 88          | 86  | 6,06        | 5,41 | 101         | 92  | 5,90        | 5,84 | 103         | 91  | 6,06        | 4,70 | 107         | 83  |
| 1985               | 5,15                 | 5,06 | 84          | 82  | 5,75        | 4,10 | 99          | 69  | 6,20        | 5,59 | 94          | 92  | 5,83        | 5,00 | 103         | 88  |
| 1986               | 6,65                 | 4,38 | 113         | 74  | 6,19        | 6,05 | 106         | 104 | 5,46        | 4,79 | 94          | 82  | 5,82        | 5,58 | 103         | 100 |
| Среднее            |                      |      |             |     |             |      |             |     |             |      |             |     |             |      |             |     |
| 1960—1986          | 5,97                 | 4,92 | 101         | 83  | 6,00        | 5,06 | 100         | 85  | 5,87        | 4,51 | 101         | 76  | 5,89        | 4,86 | 102         | 83  |
| 1960—1969          | 6,15                 | 5,19 | 104         | 88  | 5,70        | 4,97 | 97          | 83  | 5,74        | 4,26 | 99          | 69  | 5,79        | 4,67 | 96          | 81  |
| 1970—1976          | 5,75                 | 4,94 | 98          | 83  | 5,93        | 5,08 | 99          | 85  | 5,70        | 4,73 | 99          | 82  | 5,83        | 4,84 | 101         | 81  |
| 1977—1982          | 6,21                 | 4,62 | 105         | 77  | 6,37        | 5,30 | 107         | 90  | 6,19        | 4,06 | 108         | 72  | 6,11        | 5,01 | 103         | 86  |
| 1983—1986          | 5,55                 | 4,65 | 92          | 80  | 6,26        | 4,93 | 102         | 83  | 6,05        | 4,99 | 97          | 84  | 5,92        | 5,09 | 104         | 89  |

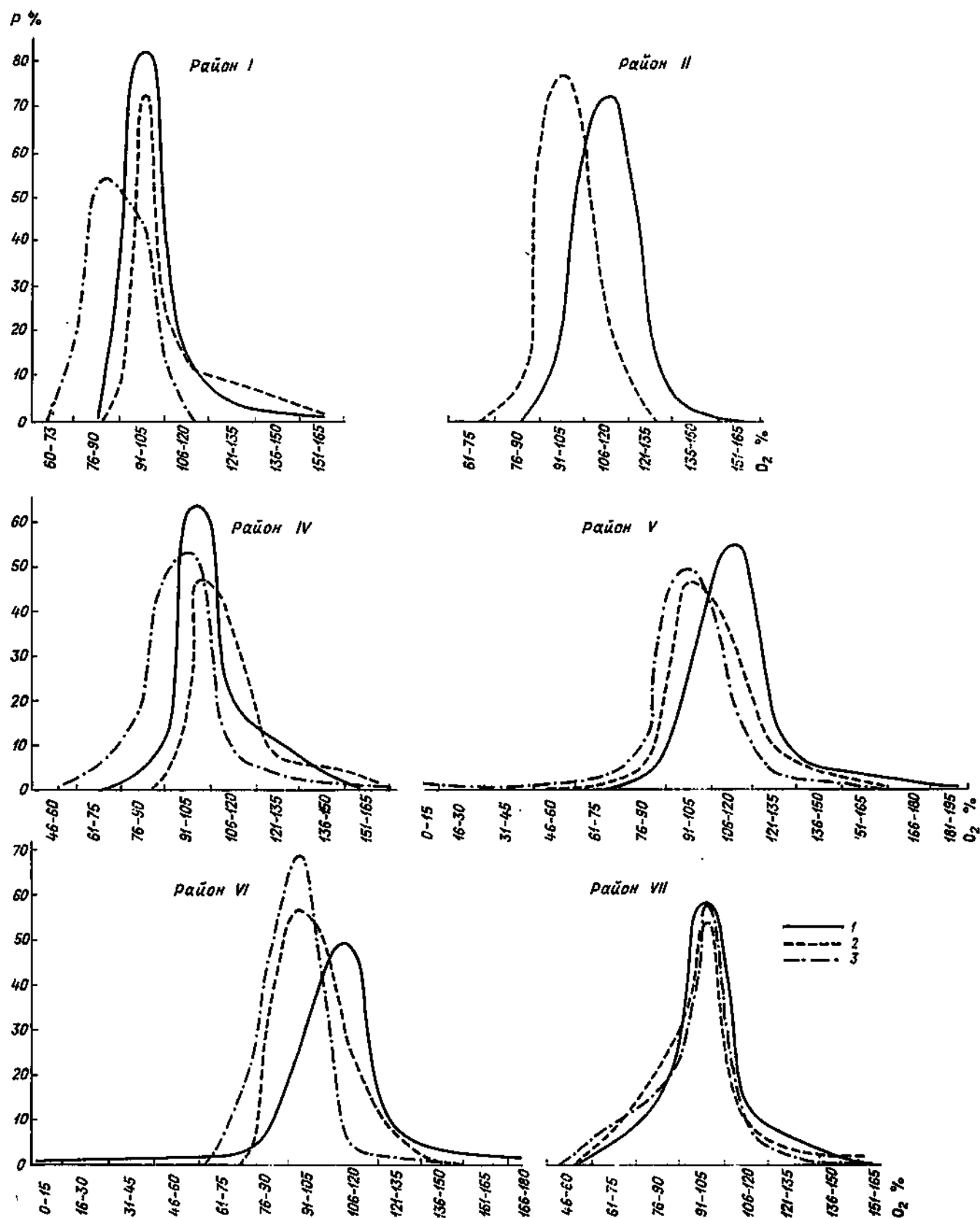


Рис. 3.3. Распределение (%) относительного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций по районам Азовского моря весной по данным наблюдений за 1960—1981 гг. в поверхностном (1), промежуточном (2) и придонном (3) горизонтах.

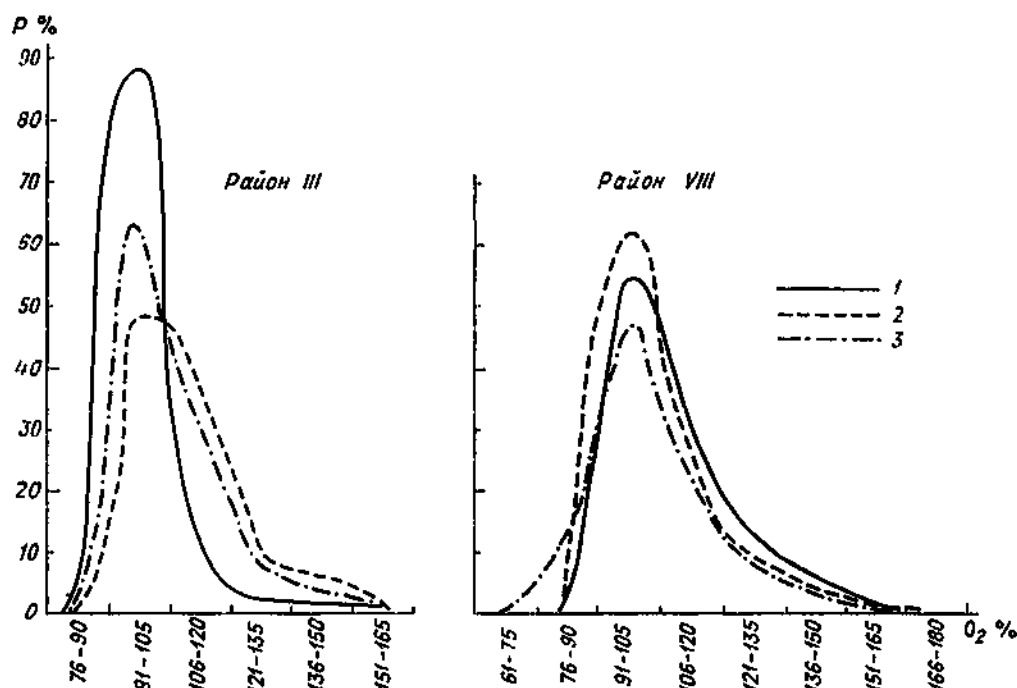


Рис. 3.4. Распределение (%) относительного содержания кислорода (%) в различных диапазонах его концентраций в районах III и VIII Азовского моря весной по данным наблюдений за 1960—1981 гг. в поверхностном (1), промежуточном (2) и придонном (3) горизонтах.

в этих районах, как правило, совпадает для всех горизонтов (рис. 3.3). Асимметрия кривых распределения значений относительного содержания кислорода наблюдалась в наиболее динамичных районах Азовского моря — районах III и VIII. В предпроливном районе наиболее явно она выражена в промежуточном и придонном горизонтах (рис. 3.4).

Кривые распределения значений абсолютного содержания кислорода, полученные для весны маловодного и многоводного периодов, существенно отличаются друг от друга в районе V, особенно в его придонном слое (рис. 3.5). Для района III полученные кривые распределения в эти же периоды свидетельствуют о том, что в поверхностном горизонте этого района значения абсолютного содержания кислорода не подчиняются закону нормального распределения. Это оказывается характерным и для другого весьма динамичного района VIII, где распределение аналогичных характеристик в многоводный период имеет несколько пиков.

**Лето.** При повышении температуры воды летом абсолютное содержание кислорода снижается и ведущая роль в формировании кислородного режима в водоеме принадлежит процессам продуцирования и окисления.

Среднее за лето абсолютное содержание кислорода по сравнению с аналогичной характеристикой весной снижается примерно на 2,0‰ во всей толще вод моря. В районе V, например, различие между средними значениями за весну и лето составило 2—3‰ на разных горизонтах моря.

По мнению ряда авторов [1, 35], в снабжении Азовского моря кислородом летом основную роль играет видовой состав фитопланктона: высокое содержание кислорода в море наблюдается в пе-

риоды массового развития сине-зеленых водорослей, сравнительно низкое — в периоды господства диатомовых водорослей [9].

Абсолютное и относительное содержание растворенного кислорода в этот сезон достигает минимальных значений. По данным АзНИИРХ, среднее за лето многолетнее абсолютное и относительное содержание кислорода в собственно море составило соответственно 5,9‰ и 101% (июль—август) в поверхностном и 4,5‰ и 76% (июль), 4,9‰ и 83% (август) — в придонном горизонте. В Таганрогском заливе в июле—августе концентрация кислорода в поверхностном слое составила 6,0‰ (100%), в придонном слое она снизилась в июле до 4,9 (83%) и в августе до 5,1‰ (85%) (табл. 3.11).

По данным наблюдений за 1982—1985 гг., летом отмечается довольно равномерное распределение значений абсолютного содержания кислорода в поверхностном слое моря. Центральная часть моря и район устьевое взморья околнурены изоксигеной 7,0‰. Лишь в районе, прилегающем к Керченскому проливу, содержание кислорода в поверхностном слое оказывается менее 6,0‰ (рис. 3.6а).

В придонном слое центральной части моря содержание кислорода локально снижается до 2,5‰ (рис. 3.6б). В Азовском море отмечаются весьма существенные различия в распределении кислорода по глубине. При этом высокое содержание растворенного кислорода наблюдается в поверхностном слое тех районов моря, где отмечены зоны максимального скопления фитопланктона. В слое воды, находящемся в контакте с донными отложениями, отмечается также резкое снижение относительного содержания кислорода, обусловленное термической вертикальной стратификацией вод и

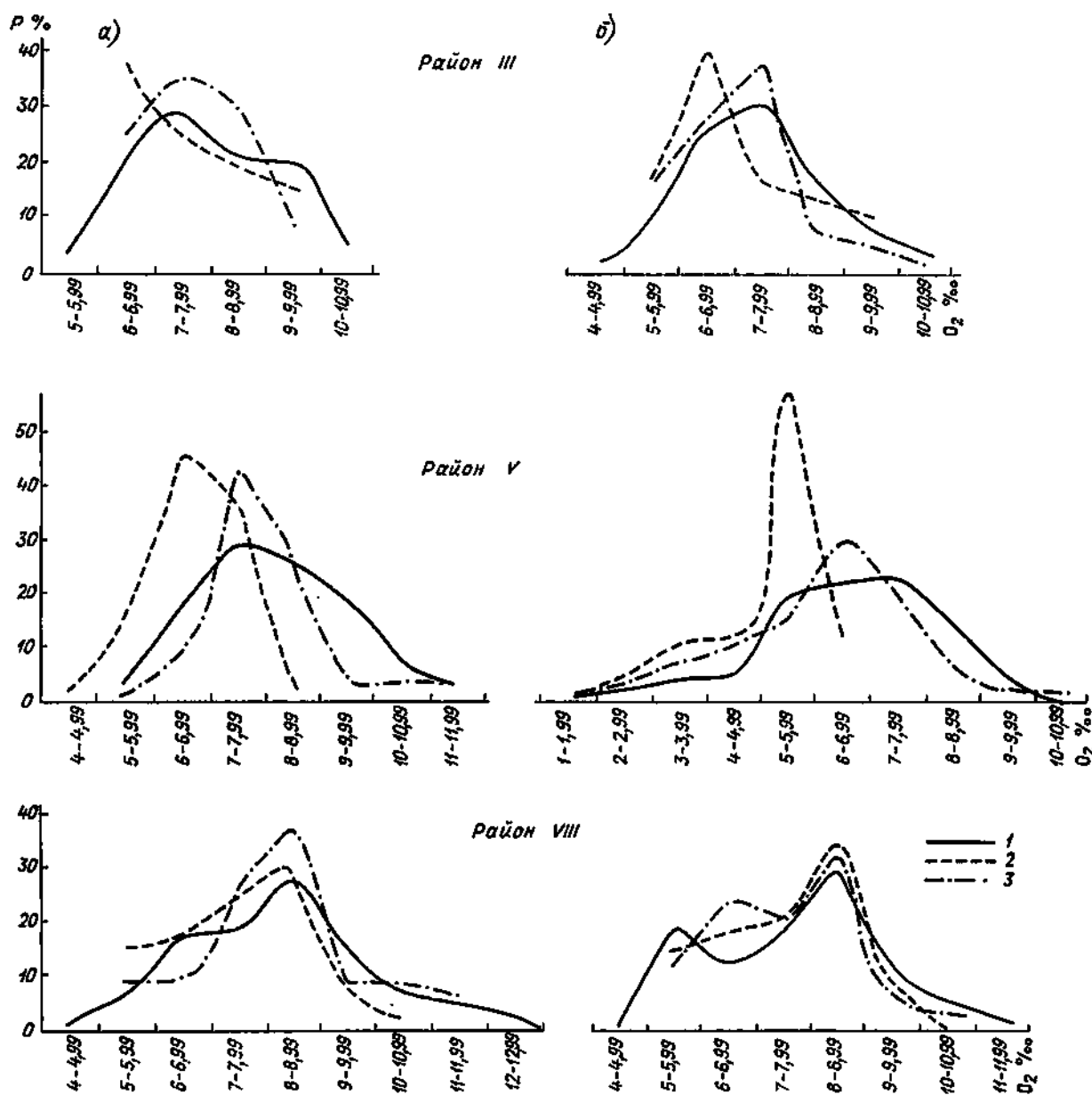


Рис. 3.5. Распределение (%) абсолютного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в районах III, V, VIII Азовского моря весной в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах в различные периоды водности рек.

1 — 1960—1981 гг., 2 — 1977—1981 гг. (многоводный), 3 — 1972—1976 гг. (маловодный).

увеличением напряженности окислительных процессов в контактной зоне вода—грунт, которая характеризуется экстремально высокой скоростью потребления кислорода (рис. 3.6а, г). Значение БПК для донных отложений собственно моря летом составляет в среднем  $3,7 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , в Таганрогском заливе —  $4,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  [9].

Ослабление вертикального водообмена наряду с активным биохимическим потреблением кислорода поверхностным слоем осадков (до  $10 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ) определяют устойчивое формирование летом восстановительных зон в придонных слоях моря. Явления дефицита кислорода в придонных горизонтах возникали в Азовском море и ранее, но имели эпизодический и локальный характер. Максимальное развитие процессов восстановления имело место в течение 1960—1971 гг. Практически ежегодное формирование зон с пони-

женным содержанием кислорода в придонных горизонтах совпало с началом осолонения моря и глубокой депрессией ветровой активности, что было показано выше.

Летом в поверхностном слое моря отмечается однородность распределения абсолютного содержания кислорода: во всех районах моря, включая и Таганрогский залив, различия в содержании кислорода не превышали  $0,3 \text{ ‰}$ . В придонном слое моря эти различия составили около  $1,5 \text{ ‰}$ . Коэффициенты, характеризующие изменчивость средних значений абсолютного содержания кислорода, летом существенно возросли по сравнению с таковыми весной для районов I и II, в меньшей степени — для районов III и V, практически не изменились и несколько снизились для районов Таганрогского залива. Во всех районах в придонных горизонтах отмечается снижение содержания кис-



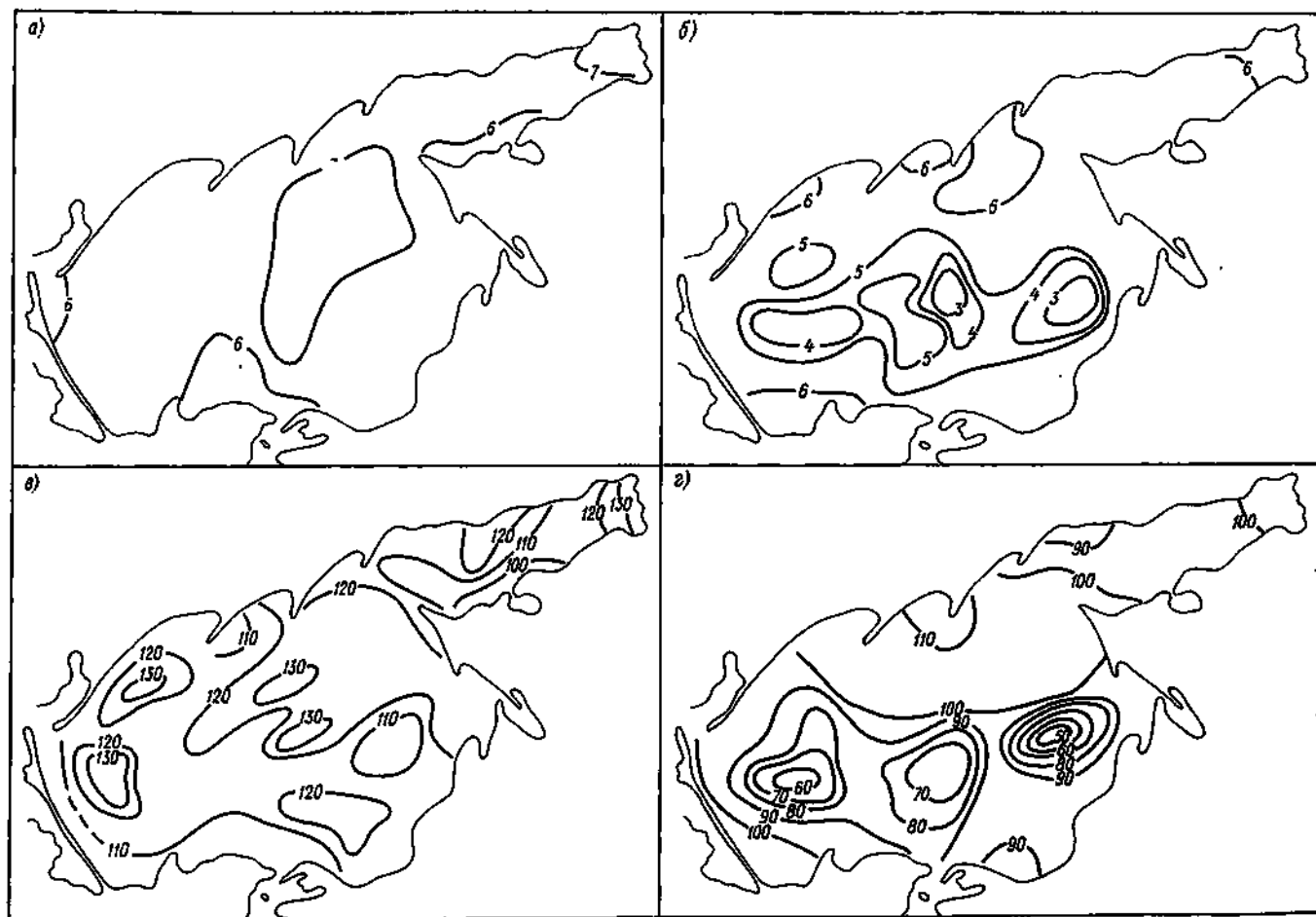


Рис. 3.6. Распределение значений абсолютного (‰) (а, б) и относительного (%) (в, г) содержания растворенного кислорода в поверхностном (а, в) и придонном (б, г) горизонтах Азовского моря летом по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

лорода у дна по сравнению с его содержанием в вышележащих горизонтах (табл. 3.12). При этом наиболее существенные различия по вертикали в содержании кислорода обнаружены в районе II — 2 ‰, а также в районах V и VI — около 1—1,3 ‰. Высокая температура воды, при которой потребление кислорода на окисление органических остатков протекает наиболее интенсивно, значительные периоды слабого ветра, большие вертикальные градиенты плотности — все это летом обуславливает частое возникновение зоны с дефицитом кислорода на взморье Кубани (район II). Отмечены случаи, когда содержание кислорода в придонном слое этого района падало до аналитического нуля. Параметры, характеризующие изменчивость содержания кислорода в придонном горизонте моря по сравнению с аналогичными характеристиками весной, как правило, возрастают летом. При этом наименьшей изменчивостью содержания кислорода в придонных горизонтах по сравнению с поверхностностью отличаются район II, где параметры, характеризующие изменчивость, возрастают в 2 раза, районы III, IV — в 1,5 раза, район V — в 1,7 раза и т. д. Максимальное увеличение содержания кислорода летом в многоводный период по сравнению с маловодным достигало 0,6—0,8 ‰ в районах I и II (табл. 3.13).

Летом в поверхностном и промежуточном слоях моря отмечается перенасыщение вод кислородом, в придонных же горизонтах обнаруживается недо-

сыщение. Причем наибольшее недосыщение морских вод кислородом имеет место в районе предустьевоегo взморья Кубани (район II), а также в наиболее обширном районе V моря и прилегающем к нему с севера районе VI (табл. 3.14). Выводы, полученные в предшествующих исследованиях [4, 9, 11, 31], сводятся к тому, что основной причиной современного развития зон дефицита кислорода в Азовском море является увеличение вертикальной устойчивости водных масс моря, вызванное повышением солёности и сопутствующим обострением стратифицирующего эффекта речного стока. Кроме того, кислородное голодание глубинных слоев в зонах наибольшего осолонения не только связано с ослаблением вертикального водообмена, но и в определенной мере также обусловлено и повышенным биохимическим потреблением кислорода грунта дна. Последнее обстоятельство имеет своей причиной более активную седиментацию органического вещества в зонах стагнации, причем масштабы этого явления оказываются весьма существенными. Авторы делают вывод, что современное депрессивное состояние кислородного режима Азовского моря является в основном результатом антропогенного снижения водности рек, опосредованным через осолонение, обострение галоклина, снижение уровня первичного продуцирования органического вещества и, как следствие, уменьшение фотосинтетической аэрации. Летом характер вероятностного распределения от-

Таблица 3.12

Основные статистические характеристики средних значений абсолютного содержания (%) кислорода в водах Азовского моря летом за 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район I       |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 46               | 5,96             | 1,10                              | 18,52                   | 5,63—6,29                               |
| Промежуточный | 48               | 5,76             | 1,12                              | 19,52                   | 5,39—6,13                               |
| Придонный     | 145              | 5,18             | 1,18                              | 22,75                   | 4,98—5,38                               |
| Район II      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 148              | 5,94             | 1,21                              | 20,41                   | 5,74—6,13                               |
| Промежуточный | 137              | 5,50             | 1,19                              | 21,59                   | 5,30—5,70                               |
| Придонный     | 155              | 3,99             | 1,77                              | 44,36                   | 3,70—4,28                               |
| Район III     |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 46               | 5,96             | 1,10                              | 18,52                   | 5,63—6,29                               |
| Промежуточный | 64               | 5,86             | 0,99                              | 16,94                   | 5,61—6,11                               |
| Придонный     | 48               | 5,12             | 1,34                              | 26,20                   | 4,73—5,51                               |
| Район IV      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 131              | 5,76             | 0,78                              | 13,49                   | 5,62—5,90                               |
| Промежуточный | 120              | 5,57             | 0,73                              | 13,16                   | 5,45—5,70                               |
| Придонный     | 146              | 5,03             | 1,05                              | 20,89                   | 4,85—5,20                               |
| Район V       |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 810              | 5,89             | 1,07                              | 18,18                   | 5,82—5,96                               |
| Промежуточный | 775              | 5,75             | 1,12                              | 19,47                   | 5,67—5,83                               |
| Придонный     | 879              | 4,63             | 1,45                              | 31,28                   | 4,53—4,73                               |
| Район VI      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 107              | 5,72             | 0,94                              | 16,44                   | 5,54—5,90                               |
| Промежуточный | 102              | 5,63             | 1,13                              | 20,03                   | 5,40—5,86                               |
| Придонный     | 119              | 4,79             | 1,24                              | 25,94                   | 4,56—5,02                               |
| Район VII     |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 325              | 5,89             | 0,94                              | 15,91                   | 5,79—5,99                               |
| Промежуточный | 88               | 5,65             | 0,72                              | 12,73                   | 5,50—5,80                               |
| Придонный     | 342              | 5,04             | 1,04                              | 20,67                   | 4,93—5,15                               |
| Район VIII    |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 142              | 5,96             | 0,84                              | 14,07                   | 5,82—6,10                               |
| Промежуточный | 37               | 5,89             | 0,67                              | 11,35                   | 5,67—6,11                               |
| Придонный     | 150              | 5,09             | 1,01                              | 19,93                   | 4,92—5,25                               |
| Район IX      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 265              | 6,08             | 0,95                              | 15,57                   | 5,96—6,20                               |
| Промежуточный | 17               | 5,85             | 0,89                              | 15,29                   | 5,40—6,29                               |
| Придонный     | 285              | 5,46             | 1,07                              | 19,59                   | 5,33—5,63                               |

носительного содержания кислорода по сравнению с таковым в предыдущие сезоны изменяется, что проявляется в значительной асимметрии в кривых распределения, отсутствии ярко выраженных вершин этих кривых, полученных для наиболее динамичных районов моря V, II, III, VIII (рис. 3.7). В придонных горизонтах летом распределение значений относительного содержания кислорода оказывается еще более далеким от нормального распределения.

Таблица 3.13

Основные статистические характеристики средних значений содержания (%) растворенного кислорода в районах Азовского моря летом в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт      | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район I       |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 36               | 5,59             | 1,04                              | 18,61                   | 3,51—7,67                               |
| Промежуточный | 15               | 5,22             | 0,53                              | 10,32                   | 4,15—6,30                               |
| Придонный     | 46               | 5,08             | 1,09                              | 21,48                   | 2,90—7,26                               |
| 1977—1981 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 34               | 6,00             | 1,28                              | 21,37                   | 3,44—8,57                               |
| Промежуточный | 20               | 6,03             | 1,19                              | 19,69                   | 3,66—8,41                               |
| Придонный     | 39               | 5,64             | 1,18                              | 20,93                   | 3,28—8,00                               |
| Район II      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 26               | 5,61             | 0,98                              | 17,44                   | 3,65—7,56                               |
| Промежуточный | 35               | 5,25             | 0,96                              | 18,28                   | 3,33—7,16                               |
| Придонный     | 30               | 3,52             | 1,93                              | 54,83                   | 0,00—7,39                               |
| 1977—1981 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 44               | 6,49             | 1,47                              | 22,62                   | 3,55—9,45                               |
| Промежуточный | 36               | 5,84             | 1,35                              | 23,08                   | 3,14—8,53                               |
| Придонный     | 49               | 4,05             | 1,94                              | 48,00                   | 0,16—7,93                               |
| Район III     |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 25               | 5,85             | 1,16                              | 19,87                   | 3,52—8,17                               |
| Промежуточный | 28               | 5,61             | 1,03                              | 18,40                   | 3,54—7,67                               |
| Придонный     | 26               | 4,62             | 1,39                              | 30,09                   | 1,84—7,40                               |
| 1977—1981 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 36               | 6,08             | 1,10                              | 18,12                   | 3,87—8,28                               |
| Промежуточный | 44               | 5,64             | 0,50                              | 8,92                    | 4,64—6,65                               |
| Придонный     | 34               | 4,77             | 1,56                              | 32,77                   | 1,64—7,90                               |
| Район IV      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 38               | 5,66             | 0,86                              | 15,17                   | 3,94—7,37                               |
| Промежуточный | 39               | 5,36             | 0,68                              | 12,63                   | 4,01—6,72                               |
| Придонный     | 44               | 4,82             | 0,98                              | 20,48                   | 2,85—6,80                               |
| 1977—1981 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 32               | 5,87             | 0,68                              | 11,61                   | 4,51—7,23                               |
| Промежуточный | 40               | 5,41             | 0,60                              | 10,52                   | 4,27—6,55                               |
| Придонный     | 29               | 5,65             | 0,62                              | 11,01                   | 4,41—6,90                               |
| Район V       |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 272              | 5,76             | 0,89                              | 15,47                   | 3,98—7,55                               |
| Промежуточный | 297              | 5,54             | 0,92                              | 16,69                   | 3,69—7,38                               |
| Придонный     | 304              | 4,42             | 1,42                              | 32,24                   | 1,57—7,27                               |
| 1977—1981 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 100              | 5,96             | 0,60                              | 10,02                   | 4,77—7,15                               |
| Промежуточный | 90               | 5,96             | 0,75                              | 12,53                   | 4,47—7,46                               |
| Придонный     | 124              | 4,95             | 1,56                              | 31,43                   | 1,84—8,06                               |
| Район VI      |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг. |                  |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 33               | 5,70             | 0,74                              | 12,92                   | 4,23—7,17                               |
| Промежуточный | 34               | 5,53             | 0,97                              | 17,58                   | 3,58—7,47                               |
| Придонный     | 38               | 4,69             | 1,00                              | 21,39                   | 2,68—6,70                               |

| Горизонт | Число наблюдений | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 29 | 5,75 | 0,70 | 12,21 | 4,35—7,16 |
| Промежуточный | 19 | 5,53 | 1,65 | 29,91 | 2,22—8,83 |
| Придонный     | 37 | 5,47 | 1,01 | 18,97 | 3,39—7,54 |

Район VII

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 66 | 5,72 | 0,80 | 12,06 | 4,11—7,32 |
| Промежуточный | 20 | 5,67 | 0,64 | 11,34 | 4,38—6,96 |
| Придонный     | 76 | 5,11 | 0,85 | 16,67 | 3,41—6,82 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 83 | 5,92 | 0,89 | 14,99 | 4,15—7,70 |
| Промежуточный | 39 | 5,55 | 0,60 | 10,79 | 4,35—6,75 |
| Придонный     | 92 | 5,00 | 1,20 | 23,92 | 2,61—7,40 |

Район VIII

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 37 | 6,11 | 0,88 | 14,42 | 4,35—7,88 |
| Промежуточный | 8  | 5,63 | 0,45 | 7,96  | 4,74—6,53 |
| Придонный     | 42 | 5,31 | 1,38 | 26,11 | 2,54—8,08 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 41 | 6,04 | 0,98 | 16,30 | 4,07—8,00 |
| Промежуточный | 12 | 5,99 | 0,86 | 14,33 | 4,27—7,70 |
| Придонный     | 44 | 4,92 | 1,18 | 24,06 | 2,55—7,29 |

Район IX

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 66 | 6,34 | 1,07 | 16,93 | 4,19—8,48 |
| Придонный     | 73 | 5,39 | 1,27 | 23,59 | 2,85—7,93 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 70 | 6,03 | 1,48 | 24,53 | 3,07—8,99 |
| Промежуточный | 6  | 5,94 | 1,06 | 17,90 | 3,81—8,06 |
| Придонный     | 80 | 5,65 | 1,17 | 20,70 | 3,31—7,99 |

Таблица 3.14

Основные статистические характеристики средних значений относительного содержания (%) кислорода в водах Азовского моря летом за 1960—1981 гг.

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

Район I

|               |    |     |    |    |        |
|---------------|----|-----|----|----|--------|
| Поверхностный | 31 | 101 | 26 | 26 | 92—110 |
| Промежуточный | 27 | 104 | 19 | 19 | 96—112 |
| Придонный     | 40 | 93  | 19 | 20 | 87—99  |

Район II

|               |    |     |    |    |         |
|---------------|----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 69 | 107 | 17 | 16 | 103—115 |
| Промежуточный | 75 | 102 | 19 | 18 | 98—111  |
| Придонный     | 76 | 78  | 36 | 50 | 70—86   |

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|

Район III

|               |    |     |    |    |         |
|---------------|----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 43 | 109 | 23 | 21 | 102—116 |
| Промежуточный | 61 | 103 | 20 | 19 | 98—108  |
| Придонный     | 47 | 90  | 20 | 22 | 84—96   |

Район IV

|               |    |     |    |    |         |
|---------------|----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 44 | 109 | 13 | 12 | 105—113 |
| Промежуточный | 54 | 106 | 15 | 14 | 102—110 |
| Придонный     | 58 | 96  | 14 | 14 | 92—100  |

Район V

|               |     |     |    |    |         |
|---------------|-----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 347 | 112 | 19 | 17 | 110—114 |
| Промежуточный | 457 | 109 | 22 | 21 | 107—111 |
| Придонный     | 390 | 80  | 28 | 35 | 77—83   |

Район VI

|               |    |     |    |    |         |
|---------------|----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 66 | 108 | 18 | 16 | 104—112 |
| Промежуточный | 85 | 106 | 20 | 19 | 102—110 |
| Придонный     | 70 | 85  | 20 | 24 | 80—90   |

Район VII

|               |     |     |    |    |         |
|---------------|-----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 105 | 112 | 18 | 16 | 108—116 |
| Промежуточный | 87  | 105 | 19 | 18 | 101—109 |
| Придонный     | 111 | 93  | 20 | 22 | 89—97   |

Район VIII

|               |    |     |    |    |         |
|---------------|----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 62 | 108 | 16 | 14 | 104—112 |
| Промежуточный | 48 | 105 | 14 | 13 | 101—109 |
| Придонный     | 63 | 92  | 18 | 19 | 87—97   |

Район IX

|               |    |     |    |    |         |
|---------------|----|-----|----|----|---------|
| Поверхностный | 55 | 112 | 18 | 16 | 107—117 |
| Промежуточный | 32 | 102 | 14 | 14 | 97—107  |
| Придонный     | 60 | 94  | 17 | 18 | 90—98   |

Наибольшее различие в распределении значений абсолютного содержания кислорода летом в маловодный и многоводный периоды отмечается в придонных горизонтах района V. Многоводный период характеризуется распределением, близким к нормальному, в маловодный период кривая распределения отличается значительной асимметрией и имеет две вершины (рис. 3.8).

Районы III и VI в придонном горизонте, в отличие от поверхностного, характеризуются отсутствием нормального распределения значений абсолютного содержания кислорода. Для всех других районов моря летом различия в распределении значений абсолютного содержания кислорода в маловодный и многоводный периоды не были выявлены и распределение было близко к нормальному.

Осень. Осенью процессы атмосферной циркуляции и общее понижение температуры обуславливают равномерное распределение содержания кислорода в водах Азовского моря. По данным АзНИИРХ за 1960—1986 гг., среднее содержание растворенного кислорода осенью в поверхностном горизонте собственно моря составило 6,5‰ (95%), в придонном — 6,2‰ (91%). В Таганрог-

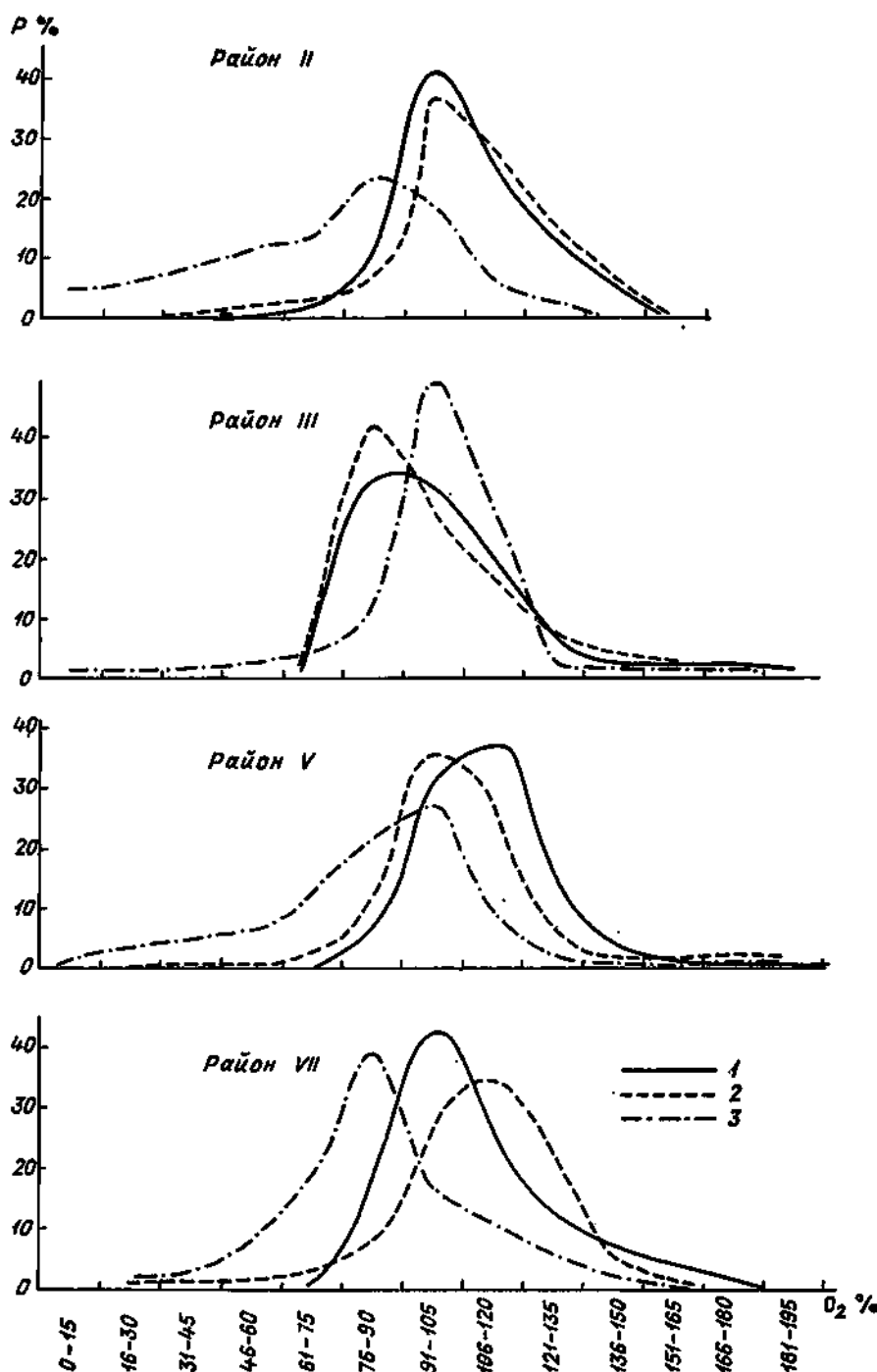


Рис. 3.7. Распределение (%) относительного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в районах II, III, V и VII Азовского моря летом по данным наблюдений за 1960—1981 гг. в поверхностном (1), промежуточном (2) и придонном (3) горизонтах.

ском заливе средняя концентрация была соответственно 6,9‰ (95 %) и 6,5‰ (90 %) (табл. 3.15).

Осенью с понижением температуры повышается поступление кислорода из атмосферы, снижается интенсивность окислительных процессов в водах Азовского моря. В то же время процессы фотосинтеза протекают еще довольно интенсивно.

По данным наблюдений за 1982—1985 гг., осенью распределение абсолютного содержания кислорода оказывается довольно равномерным в поверхностном слое воды: изоксигены от 7,5 до 7,0‰ оконтуривают акваторию Таганрогского залива, включая и северную часть моря; центральная часть моря оконтуривается изоксигеной

6,0‰. В районе предустьевых взморья Кубани содержание кислорода равно примерно 7,0‰ (рис. 3.9 а). В придонном слое содержание кислорода несколько снижается по сравнению с его содержанием на поверхности. Значительную площадь моря в придонном слое оконтуривает изоксигена 5,0‰ (рис. 3.9 б).

Распределение относительного содержания кислорода, как правило, осенью характеризуется значениями, превышающими 100 % по всей площади поверхностного слоя моря. В центральном районе моря относительное содержание кислорода достигало 130—160 % (рис. 3.9 в). По данным 1982—1985 гг., в придонном горизонте относительное

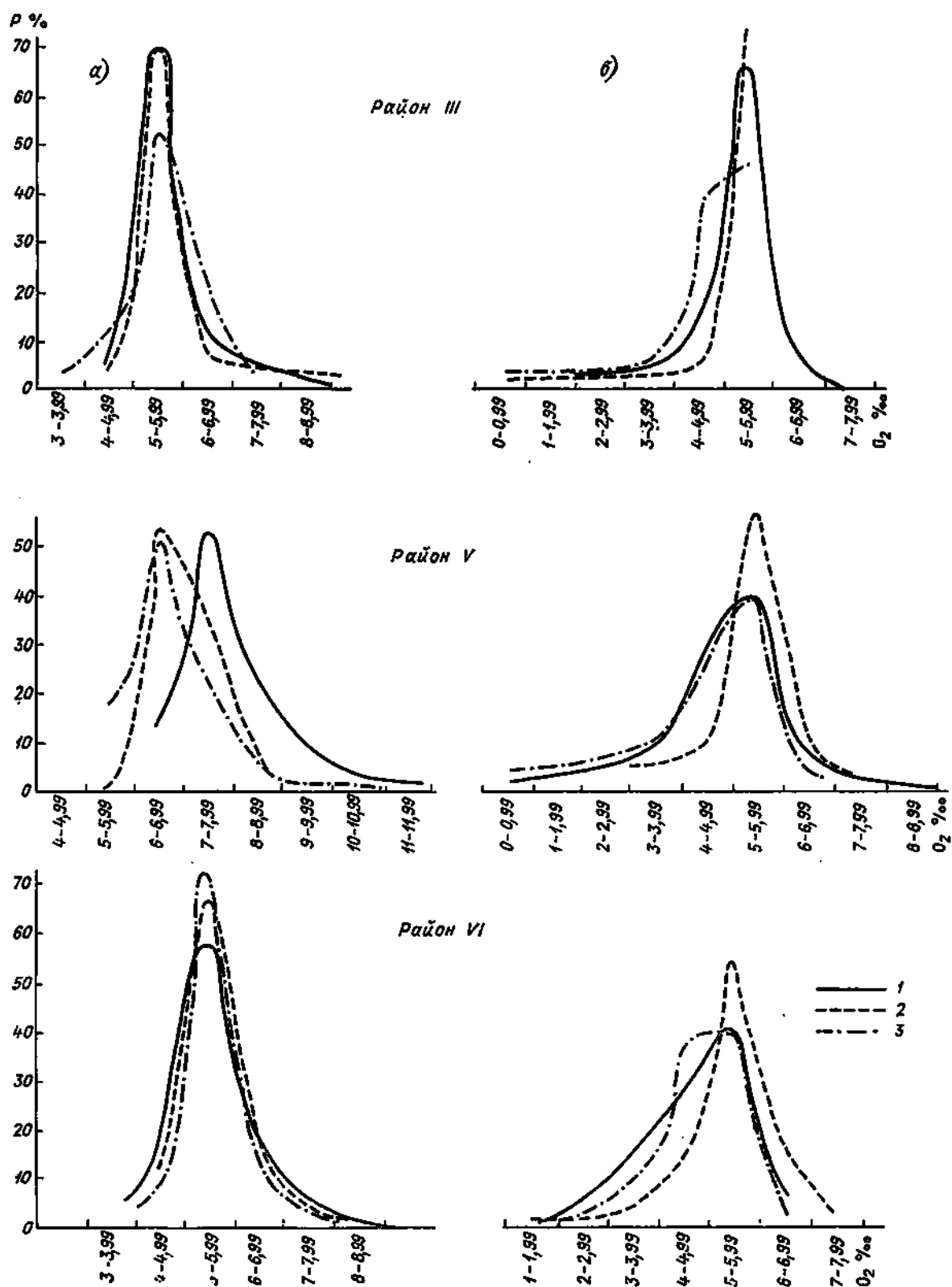


Рис. 3.8. Распределение (%) абсолютного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в районах III, V, VI Азовского моря летом в поверхностном (а) и придонном (б) горизонтах в различные периоды водности рек.

1 — 1960—1981 гг., 2 — 1977—1981 гг. (многоводный), 3 — 1972—1976 гг. (маловодный).

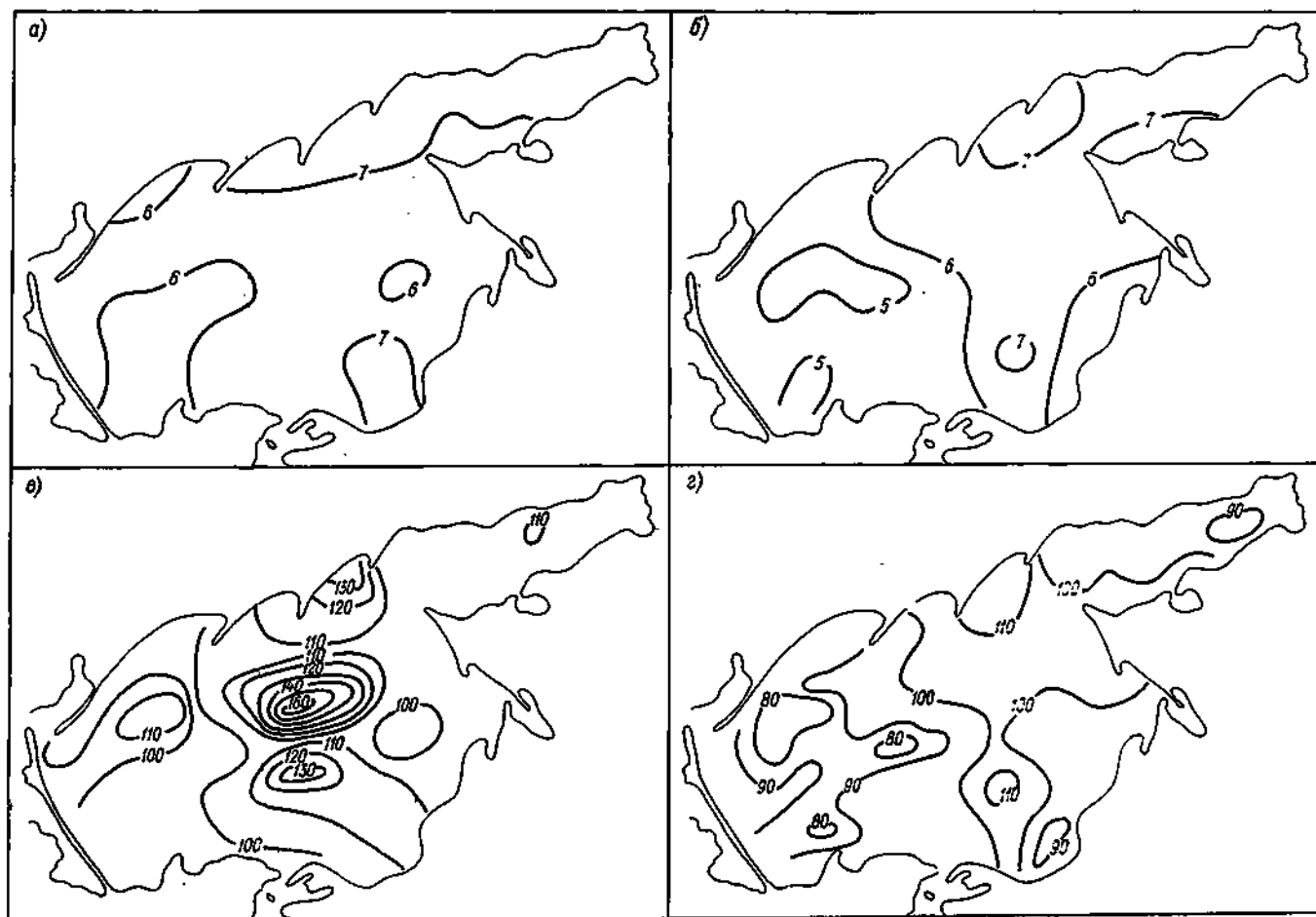


Рис. 3.9. Распределение абсолютного (а, б) (‰) и относительного (в, г) (%) содержания кислорода в поверхностном (а, в) и придонном (б, г) горизонтах Азовского моря осенью по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

Таблица 3.15

Среднемесячные значения абсолютного (‰) и относительного (% насыщения) содержания кислорода в Азовском море осенью (октябрь) за 1960—1986 гг.

| Год                      | Содержание кислорода |      |              |     |              |      |              |     |
|--------------------------|----------------------|------|--------------|-----|--------------|------|--------------|-----|
|                          | ‰                    |      |              |     | % насыщения  |      |              |     |
|                          | Поверх-ность         | Дно  | Поверх-ность | Дно | Поверх-ность | Дно  | Поверх-ность | Дно |
| Таганрогский залив       |                      |      |              |     |              |      |              |     |
| 1960                     | 7,35                 | 6,66 | 104          | 94  | 6,81         | 6,47 | 100          | 96  |
| 1961                     | 7,31                 | 6,87 | 98           | 92  | 7,17         | 6,89 | 98           | 94  |
| 1962                     | 6,00                 | 5,24 | 85           | 80  | 6,02         | 5,86 | 87           | 86  |
| 1963                     | 6,06                 | 6,22 | 89           | 77  | 6,66         | 5,15 | 92           | 77  |
| 1964                     | 7,24                 | 6,95 | 84           | 94  | 7,15         | 6,55 | 104          | 96  |
| 1965                     | 6,06                 | 5,77 | 88           | 82  | 5,84         | 5,53 | 88           | 85  |
| 1966                     | 6,59                 | 5,00 | 94           | 76  | 5,46         | 4,44 | 86           | 65  |
| 1967                     | 6,70                 | 6,14 | 97           | 89  | 6,42         | 5,85 | 100          | 90  |
| 1968                     | 6,57                 | 6,31 | 95           | 93  | 6,39         | 5,96 | 98           | 93  |
| 1969                     | 6,65                 | 6,68 | 91           | 92  | 6,26         | 6,08 | 92           | 89  |
| 1970                     | 7,26                 | 7,04 | 99           | 96  | 6,99         | 6,91 | 101          | 99  |
| 1971                     | 6,82                 | 6,68 | 98           | 96  | 6,28         | 6,17 | 95           | 93  |
| 1972                     | 6,72                 | 6,79 | 96           | 97  | 6,51         | 6,16 | 96           | 96  |
| 1973                     | 7,34                 | 6,30 | 101          | 87  | 6,78         | 6,69 | 98           | 97  |
| 1974                     | 6,58                 | 6,49 | 98           | 97  | 6,64         | 5,97 | 106          | 95  |
| 1975                     | 7,33                 | 7,09 | 110          | 109 | 6,36         | 6,25 | 97           | 96  |
| 1976                     | 9,11                 | 8,81 | 104          | 103 | 7,78         | 7,64 | 98           | 97  |
| 1977                     | 6,95                 | 6,46 | 90           | 93  | 6,39         | 6,18 | 88           | 85  |
| Собственно Азовское море |                      |      |              |     |              |      |              |     |

| Год       | Содержание кислорода |      |              |     |              |      |              |     |
|-----------|----------------------|------|--------------|-----|--------------|------|--------------|-----|
|           | ‰                    |      |              |     | % насыщения  |      |              |     |
|           | Поверх-ность         | Дно  | Поверх-ность | Дно | Поверх-ность | Дно  | Поверх-ность | Дно |
| 1978      | 6,69                 | 6,61 | 96           | 95  | 6,67         | 6,41 | 102          | 98  |
| 1979      | 6,97                 | 6,58 | 94           | 89  | 6,42         | 6,45 | 93           | 90  |
| 1980      | 6,84                 | 6,64 | 93           | 90  | 6,50         | 6,32 | 94           | 91  |
| 1981      | 7,45                 | 5,26 | 108          | 76  | 5,96         | 6,02 | 92           | 90  |
| 1982      | 7,67                 | 6,98 | 101          | 93  | 6,83         | 6,01 | 98           | 95  |
| 1983      | 6,83                 | 6,65 | 96           | 94  | 6,59         | 6,34 | 98           | 94  |
| 1984      | 5,81                 | 5,70 | 87           | 88  | 5,92         | 5,56 | 95           | 90  |
| 1985      | 6,34                 | 6,30 | 87           | 87  | 6,04         | 5,92 | 88           | 86  |
| 1986      | 7,06                 | 6,61 | 92           | 86  | 6,80         | 6,90 | 95           | 97  |
| Среднее   |                      |      |              |     |              |      |              |     |
| 1960—1986 | 6,90                 | 6,47 | 95           | 90  | 6,50         | 6,17 | 95           | 91  |
| 1960—1969 | 6,65                 | 6,18 | 92           | 87  | 6,42         | 5,88 | 94           | 87  |
| 1970—1976 | 7,30                 | 7,02 | 101          | 98  | 6,76         | 5,58 | 99           | 96  |
| 1977—1982 | 7,09                 | 6,42 | 97           | 89  | 6,44         | 6,23 | 94           | 91  |
| 1983—1986 | 6,51                 | 6,31 | 90           | 89  | 6,34         | 6,18 | 91           | 92  |

содержание кислорода, как правило, не превышало 100 %, за исключением северной части моря, где оно достигало 110—115 %. В районе предустьевых взморий Дона и Кубани содержание кислорода в придонном горизонте снизилось до 90 %. Наиболее существенное снижение содержания кислорода у дна было отмечено в восточной части моря,

где относительное содержание кислорода достигало 75—80 % (рис. 3.9г).

По данным Госкомгидромета СССР за 1960—1981 гг., распределение значений абсолютного содержания кислорода в поверхностном горизонте различных районов моря колеблется в пределах 6,7—7,0 ‰, т. е. практически оказывается однородным. В районах Таганрогского залива содержание кислорода в поверхностном слое оказывается несколько повышенным по сравнению с его содержанием в других районах моря и составляет 7,2—7,3 ‰. Несколько повышенное содержание кислорода осенью отмечено в промежуточном горизонте Таганрогского залива (табл. 3.16). В придонном горизонте во всех районах моря наблюдается снижение абсолютного содержания кислорода, но различия между поверхностным и придонным горизонтом осенью более сглажены, чем летом. Максимальные различия между поверхностным и придонным горизонтами в абсолютном содержании кислорода были отмечены в районе II (предустьевое взморье Кубани) и в районе III (предпроливный район), где они составили 0,7 ‰. По сравнению с летом параметры, характеризующие изменчивость содержания кислорода (дисперсия, среднее

квадратическое отклонение, коэффициент вариации), значительно уменьшились для всех районов моря в поверхностном, промежуточном и придонном горизонтах. Лишь для районов Таганрогского залива характеристики изменчивости, полученные для осени, не изменились по сравнению с характеристиками для лета.

Осенью максимальное увеличение содержания кислорода в маловодный период по сравнению с его содержанием в многоводный было обнаружено в промежуточном слое района III, где оно достигало 0,7 ‰, в районе VIII в поверхностном слое — 0,7 ‰, промежуточном — 0,4 ‰ и придонном 0,6 ‰, а также на поверхности района IX — 0,4 ‰ (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Основные статистические характеристики средних значений содержания (‰) растворенного кислорода в районах Азовского моря осенью в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

#### Район I

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 22 | 7,05 | 0,76 | 10,80 | 6,72—7,38 |
| Промежуточный | 11 | 6,53 | 0,62 | 9,47  | 6,14—6,92 |
| Придонный     | 28 | 6,58 | 0,91 | 13,78 | 6,23—6,93 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 6,63 | 0,46 | 6,88 | 6,40—6,86 |
| Промежуточный | 5  | 6,49 | 0,54 | 8,41 | 5,95—7,03 |
| Придонный     | 20 | 6,40 | 0,62 | 9,67 | 6,12—6,68 |

#### Район II

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 23 | 6,62 | 0,68 | 10,32 | 6,33—6,91 |
| Промежуточный | 24 | 6,52 | 0,71 | 10,87 | 6,22—6,82 |
| Придонный     | 23 | 5,88 | 1,22 | 20,82 | 5,36—6,40 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 6,46 | 0,51 | 7,88 | 6,20—6,72 |
| Промежуточный | 17 | 6,27 | 0,45 | 7,16 | 6,04—6,50 |
| Придонный     | 24 | 6,04 | 0,54 | 9,03 | 5,82—6,26 |

#### Район III

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 6,60 | 0,36 | 5,53  | 6,42—6,78 |
| Промежуточный | 24 | 6,49 | 0,49 | 7,55  | 6,22—6,60 |
| Придонный     | 19 | 6,14 | 0,66 | 10,70 | 5,83—6,45 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 9  | 6,54 | 0,48 | 7,39  | 6,20—6,88 |
| Промежуточный | 9  | 5,82 | 1,76 | 30,35 | 4,58—7,06 |
| Придонный     | 11 | 6,15 | 0,43 | 6,95  | 5,88—6,42 |

#### Район IV

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 23 | 6,75 | 0,40 | 5,94 | 6,58—6,92 |
| Промежуточный | 22 | 6,56 | 0,47 | 7,14 | 6,36—6,76 |
| Придонный     | 25 | 6,48 | 0,53 | 8,20 | 6,27—6,69 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 12 | 6,58 | 0,27 | 4,14 | 6,42—6,74 |
| Промежуточный | 9  | 6,54 | 0,38 | 5,83 | 6,29—6,79 |
| Придонный     | 15 | 6,47 | 0,38 | 5,80 | 6,27—6,67 |

Таблица 3.16

Основные статистические характеристики средних значений абсолютного содержания (‰) кислорода в водах Азовского моря осенью за 1960—1981 гг.

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

#### Район I

|               |    |      |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 69 | 6,91 | 0,65 | 0,81 | 11,69 | 6,71—7,10 |
| Промежуточный | 29 | 6,62 | 0,64 | 0,80 | 12,06 | 6,32—6,92 |
| Придонный     | 74 | 6,53 | 0,75 | 0,87 | 13,27 | 6,33—6,73 |

#### Район II

|               |    |      |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 76 | 6,70 | 0,50 | 0,71 | 10,61 | 6,54—6,86 |
| Промежуточный | 82 | 6,57 | 0,65 | 0,80 | 12,25 | 6,39—6,75 |
| Придонный     | 82 | 6,04 | 1,00 | 1,00 | 16,52 | 5,82—6,26 |

#### Район III

|               |    |      |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 45 | 6,81 | 0,37 | 0,61 | 8,97  | 6,63—6,99 |
| Промежуточный | 54 | 6,67 | 0,41 | 0,64 | 9,63  | 6,49—6,84 |
| Придонный     | 49 | 6,10 | 0,87 | 0,93 | 15,27 | 5,83—6,37 |

#### Район IV

|               |    |      |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 86 | 6,81 | 0,54 | 0,74 | 10,82 | 6,65—6,97 |
| Промежуточный | 78 | 6,70 | 0,59 | 0,77 | 11,46 | 6,52—6,87 |
| Придонный     | 84 | 6,54 | 0,91 | 0,95 | 14,56 | 6,33—6,75 |

#### Район V

|               |     |      |      |      |       |           |
|---------------|-----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 466 | 6,72 | 0,50 | 0,70 | 10,48 | 6,66—6,78 |
| Промежуточный | 523 | 6,72 | 0,53 | 0,73 | 10,89 | 6,65—6,78 |
| Придонный     | 503 | 6,44 | 0,66 | 0,81 | 12,63 | 6,39—6,51 |

#### Район VI

|               |    |      |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 63 | 6,95 | 0,53 | 0,73 | 10,45 | 6,76—7,14 |
| Промежуточный | 72 | 6,99 | 0,66 | 0,81 | 11,58 | 6,80—7,18 |
| Придонный     | 71 | 6,55 | 0,76 | 0,87 | 13,36 | 6,34—6,76 |

#### Район VIII

|               |    |      |      |      |       |           |
|---------------|----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 96 | 7,16 | 0,92 | 0,96 | 13,37 | 6,96—7,36 |
| Промежуточный | 24 | 7,34 | 1,83 | 1,35 | 18,42 | 6,78—7,90 |
| Придонный     | 96 | 6,81 | 1,33 | 1,15 | 16,95 | 6,57—7,05 |

#### Район IX

|               |     |      |      |      |       |           |
|---------------|-----|------|------|------|-------|-----------|
| Поверхностный | 175 | 7,31 | 1,34 | 1,16 | 15,83 | 7,13—7,49 |
| Промежуточный | 23  | 7,59 | 3,55 | 1,88 | 24,81 | 6,79—8,39 |
| Придонный     | 179 | 6,93 | 1,31 | 1,14 | 16,51 | 6,76—7,10 |



Таблица 3.18

Основные статистические характеристики средних значений относительного содержания (%) кислорода в водах Азовского моря осенью за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 16           | 106              | 14                                | 13                      | 99—113                                  |
| Промежуточный     | 17           | 101              | 7                                 | 7                       | 98—104                                  |
| Придонный         | 18           | 99               | 10                                | 10                      | 94—104                                  |
| <b>Район II</b>   |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 32           | 104              | 12                                | 12                      | 100—108                                 |
| Промежуточный     | 37           | 107              | 16                                | 15                      | 102—112                                 |
| Придонный         | 36           | 92               | 19                                | 20                      | 86—102                                  |
| <b>Район III</b>  |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 23           | 103              | 11                                | 11                      | 98—108                                  |
| Промежуточный     | 33           | 103              | 12                                | 12                      | 99—107                                  |
| Придонный         | 26           | 97               | 12                                | 12                      | 92—102                                  |
| <b>Район IV</b>   |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 24           | 103              | 9                                 | 9                       | 99—107                                  |
| Промежуточный     | 34           | 105              | 13                                | 13                      | 100—110                                 |
| Придонный         | 29           | 100              | 13                                | 13                      | 95—105                                  |
| <b>Район V</b>    |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 217          | 104              | 11                                | 10                      | 102—105                                 |
| Промежуточный     | 348          | 104              | 11                                | 11                      | 103—105                                 |
| Придонный         | 230          | 99               | 12                                | 12                      | 97—100                                  |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 38           | 104              | 11                                | 11                      | 100—108                                 |
| Промежуточный     | 55           | 105              | 11                                | 11                      | 102—108                                 |
| Придонный         | 44           | 97               | 13                                | 14                      | 93—101                                  |
| <b>Район VII</b>  |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 78           | 107              | 16                                | 15                      | 103—111                                 |
| Промежуточный     | 70           | 100              | 15                                | 15                      | 96—104                                  |
| Придонный         | 70           | 98               | 14                                | 14                      | 95—101                                  |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 41           | 104              | 13                                | 12                      | 100—108                                 |
| Промежуточный     | 25           | 104              | 12                                | 11                      | 99—109                                  |
| Придонный         | 37           | 97               | 12                                | 12                      | 93—101                                  |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 54           | 110              | 16                                | 15                      | 106—114                                 |
| Промежуточный     | 38           | 103              | 18                                | 17                      | 97—109                                  |
| Придонный         | 44           | 99               | 14                                | 14                      | 95—103                                  |

ния летом оказывается довольно близким к нормальному в районе V. Причем кривые распределения содержания кислорода для поверхностного и промежуточного слоев совпадают. Отклонениями от нормального распределения, как правило, характеризуются наиболее динамичные районы моря: I, II, III, VIII (рис. 3.10). В маловодный и многоводный периоды кривые распределения относительного содержания кислорода различаются существенно лишь для района VIII. Для остальных районов моря они практически совпадают в различные по водности периоды.

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район V</b>    |              |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 157          | 6,63             | 0,48                              | 7,26                    | 5,55—6,71                               |
| Промежуточный     | 195          | 6,53             | 0,46                              | 6,99                    | 6,46—6,60                               |
| Придонный         | 165          | 6,36             | 0,63                              | 9,87                    | 6,26—6,46                               |
| 1977—1981 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 31           | 6,45             | 0,42                              | 6,47                    | 6,30—6,60                               |
| Промежуточный     | 31           | 6,49             | 0,47                              | 7,22                    | 6,40—6,66                               |
| Придонный         | 60           | 6,17             | 0,75                              | 12,14                   | 6,60—6,36                               |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 18           | 6,81             | 0,58                              | 8,57                    | 6,53—7,09                               |
| Промежуточный     | 20           | 6,71             | 0,70                              | 10,46                   | 6,39—7,03                               |
| Придонный         | 19           | 6,55             | 0,64                              | 9,82                    | 6,25—6,85                               |
| 1977—1981 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 16           | 6,88             | 0,41                              | 5,93                    | 6,67—7,09                               |
| Промежуточный     | 10           | 7,12             | 0,50                              | 7,04                    | 6,79—7,45                               |
| Придонный         | 23           | 6,25             | 0,77                              | 12,38                   | 5,92—6,58                               |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 28           | 7,37             | 0,89                              | 12,08                   | 7,03—7,71                               |
| Промежуточный     | 9            | 7,24             | 0,76                              | 10,55                   | 6,70—7,78                               |
| Придонный         | 26           | 7,05             | 1,10                              | 15,68                   | 6,61—7,49                               |
| 1977—1981 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 24           | 6,66             | 1,51                              | 22,69                   | 6,03—7,29                               |
| Промежуточный     | 7            | 6,80             | 0,57                              | 8,44                    | 6,33—7,26                               |
| Придонный         | 24           | 6,40             | 1,30                              | 20,35                   | 5,86—6,94                               |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |                                   |                         |                                         |
| 1972—1976 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 45           | 7,41             | 0,92                              | 12,37                   | 7,13—7,69                               |
| Придонный         | 52           | 6,80             | 1,14                              | 16,79                   | 6,48—7,12                               |
| 1977—1981 гг.     |              |                  |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 50           | 7,01             | 0,74                              | 10,54                   | 6,80—7,22                               |
| Промежуточный     | 10           | 6,86             | 0,48                              | 7,00                    | 6,54—7,18                               |
| Придонный         | 55           | 6,81             | 0,67                              | 9,85                    | 6,63—6,99                               |

По данным наблюдений за 1960—1981 гг., осенью во всех районах моря в поверхностном и промежуточном слоях отмечается незначительное перенасыщение кислородом. Максимальное значение — 110 %, это перенасыщение достигало в поверхностном горизонте района IX (табл. 3.18). У дна насыщение вод кислородом близко к равновесному и только в районе предустьевого взморья Кубани оно снижается до 92 %. Параметры, характеризующие изменчивость относительного содержания кислорода осенью, уменьшаются примерно в 1,5—2 раза по сравнению с аналогичными параметрами, полученными для лета.

Распределение значений относительного содержания кислорода осенью в отличие от распределе-

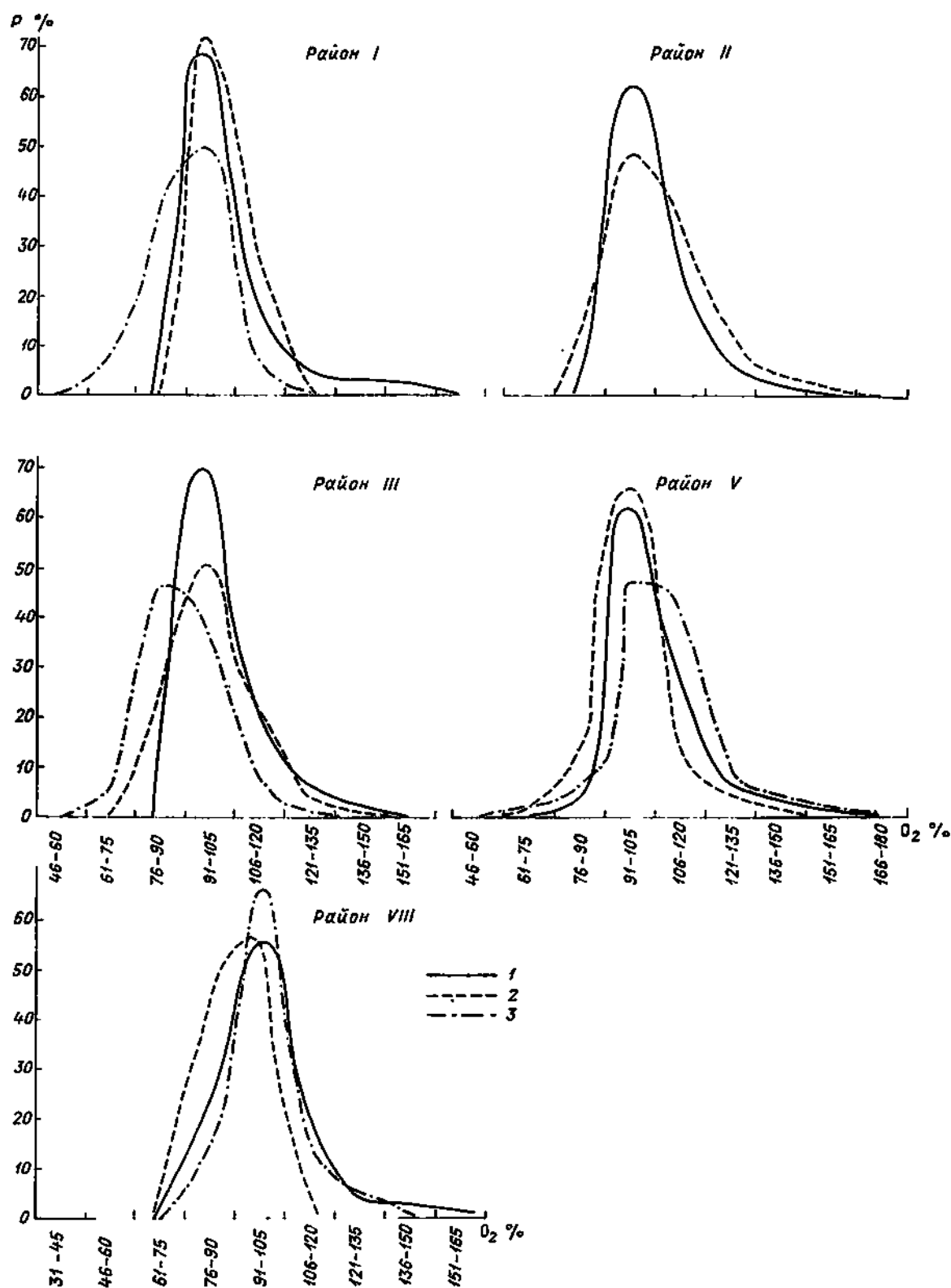


Рис. 3.10. Распределение (%) относительного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в районах I, II, III, V и VIII Азовского моря осенью по данным наблюдений за 1960—1981 гг. в поверхностном (1), промежуточном (2) и придонном (3) горизонтах.

### 3.3. Современные условия образования заморов

Часто возникающий дефицит кислорода в придонных слоях Азовского моря в теплое время года является причиной заморов, который нередко сопровождается гибелью донной фауны.

Основную причину летней депрессии кислорода ряд авторов видит в высоком содержании легкоминерализуемого органического вещества в водной толще и донных отложениях Азовского моря. Лето в этом регионе характеризуется ослаблением ветровой деятельности и увеличением вертикального температурного градиента, который приводит к образованию градиента плотности, что препятствует перемешиванию вод и аэрации более глубоких слоев. Значительная роль отводится также солевой стратификации водной толщи моря в периоды повышенного речного стока. Была высказана также гипотеза о том, что дальнейшее антропогенное сокращение речного стока и ожидаемое в связи с этим уменьшение массы выносимого в море аллохтонного органического вещества будут в значительной мере способствовать сокращению площадей дефицита кислорода и повторяемости «заморов» [18, 28, 55].

Результаты последующих исследований данных прогноз не подтвердили. Уже в первые годы после сооружения Цимлянского водохранилища, несмотря на уменьшение поступления органического вещества в море и достаточно активную ветровую деятельность, явление резкого дефицита кислорода фиксировалось практически ежегодно [9]. В связи с этим были выдвинуты следующие основные природные и антропогенные причины современного кислородного голодания Азовского моря:

- наиболее глубокая за весь период наблюдений депрессия ветровой активности конца 50-х — начала 70-х годов, обусловившая снижение динамической аэрации водных масс и особенно придонных слоев моря;
- повышение температурного фона, активизировавшее течение окислительных процессов;
- обострение вертикальной плотности стратификации вод моря в связи с его осолонением и уменьшением активности ветровой деятельности;
- снижение уровня первичного продуцирования органического вещества и, как следствие, уменьшение аэрации за счет фотосинтеза.

Попытаемся подтвердить названные причины конкретными примерами, имея при этом в виду, что, как правило, дифференцировать воздействие каждой из них на режим кислорода моря не представляется возможным.

С 1959 г. средняя скорость ветра устойчиво характеризуется отрицательными отклонениями от нормы, наиболее значительными в течение 1961—1969 гг. Именно в этот период зоны летнего дефицита кислорода стали наибольшими. Максимального (17—25 тыс. км<sup>2</sup>) размера площади дефицита достигли в 1963—1966 гг. С 1972 г. вновь наметилась тенденция усиления ветровой активности. В течение 1975—1985 гг. наибольшая среднегодовая скорость ветра была отмечена в 1975, 1976, 1979, 1984 гг. Соответственно площадь с насыщением придонных вод кислородом менее 60 % в 1975 г. сократилась до 2,5 тыс. км<sup>2</sup>, а в 1976 и 1979 гг. летний дефицит кислорода не был зафик-

сирован. В отдельные годы последнего десятилетия, когда среднегодовая скорость ветра оказывалась значительно ниже нормы (1977, 1981—1983 гг.), зоны с пониженным содержанием кислорода в придонных слоях моря летом достигали 9—16 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 3.11).

Кульминация волны потепления, характерная для всей территории европейской части СССР, приходится на конец 60-х — начало 70-х годов. В течение 1975—1985 гг. этот процесс продолжался, о чем свидетельствуют данные рис. 3.11.

Используя соответствующие температурные коэффициенты скорости распада органического вещества, исследователи показали, что в условиях повышения температуры воды моря на 0,5 °C возрастает почти на 10 % потребление кислорода в процессе деструкции органического вещества [11]. Возможно, что существенное повышение температуры воды в 1983—1984 гг. также способствовало усилению окислительных процессов и обусловило развитие значительных площадей зон моря с пониженным содержанием кислорода (7—9 тыс. км<sup>2</sup>).

Таким образом, влияние перечисленных факторов на содержание кислорода в водах Азовского моря оказывается весьма значительным.

В то же время основную причину современного развития зон дефицита кислорода исследователи видят в увеличении вертикальной устойчивости водных масс в результате повышения их солености и сопутствующего обострения стратифицирующего эффекта речного стока. Правда, в следующем параграфе будет показано, насколько велико влияние температурной стратификации на образование зон гипоксии.

В связи со значительным осолонением вод собственно Азовского моря стратифицирующий эффект черноморской адвекции выражен наиболее резко в районе Таганрогского залива, где наиболее активно протекают процессы смешения речных и морских вод. Так, по данным 1961—1975 гг., среднемноголетние значения общей устойчивости вод для залива равны 6,2 тыс. усл. ед., а для вод собственно моря — 2,5 тыс. усл. ед.

Естественно, что резкое плотностное расслоение, нарушающее динамическую аэрацию глубинных вод, неизбежно приводит к быстрому и существенному обеднению их кислородом, особенно в условиях продуктивного Азовского моря, характеризующегося весьма высокими скоростями биохимического потребления кислорода в донных отложениях. Акцентируется также внимание на том, что в условиях повышенной ветровой активности в ряде случаев механическая энергия ветра оказывается весьма недостаточной для разрушения резкой стратификации, обусловленной соевым расслоением воды. Кислородное голодание придонных слоев объясняется не только слабостью вертикального обмена, но и в значительной мере активностью процессов седиментации органического вещества в зонах стагнации, что в свою очередь и обуславливает повышенные значения биохимического потребления кислорода грунтами дна.

Одной из особенностей современного кислородного режима моря является проникновение зон дефицита кислорода на акваторию Таганрогского залива, что ранее в этом районе практически не наблюдалось. Начиная с 1970 г. в контактом

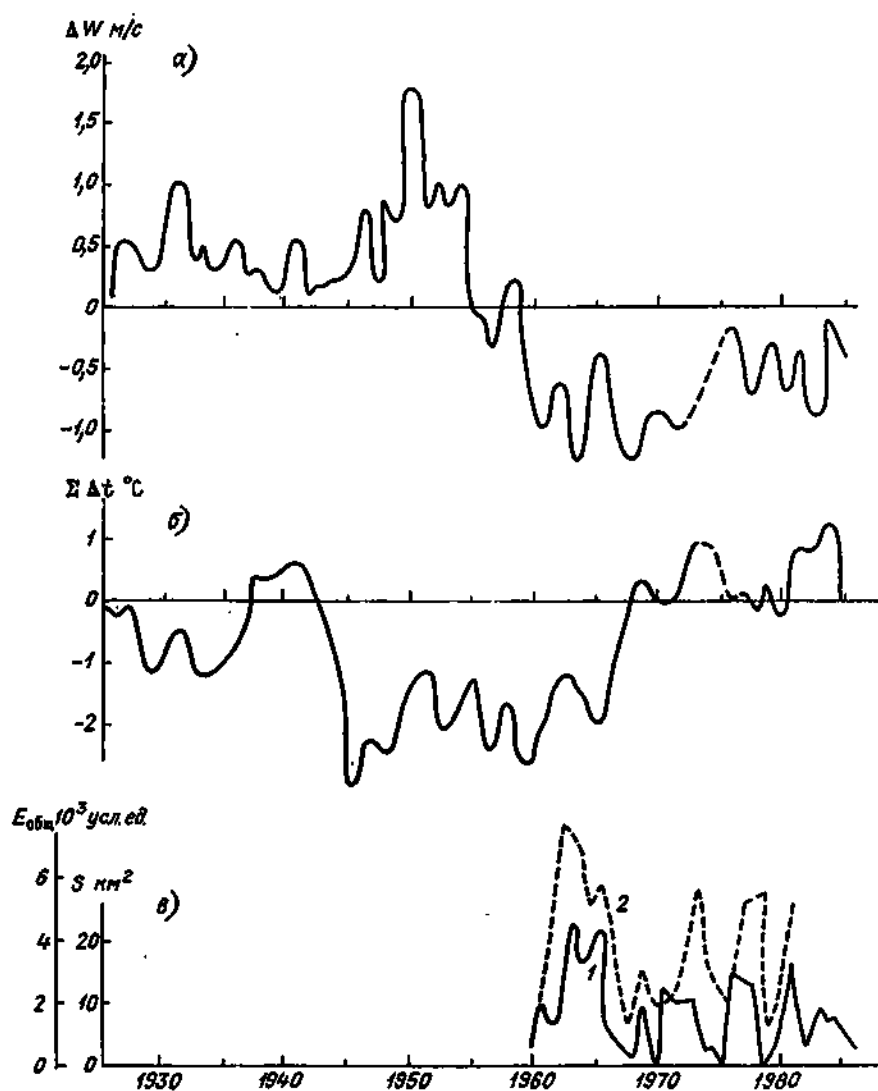


Рис. 3.11. Отклонение от нормы среднегодовой скорости ветра  $\Delta W$  над акваторией Азовского моря (а); интегральные отклонения температуры воды  $\Sigma \Delta t$  от нормы по данным июльских съемок (б).

а: 1 — площади  $S$  зон дефицита кислорода, 2 — значения вертикальной устойчивости  $E_{общ}$  водных масс моря летом.

слое вода—грунт зоны с сублетальным содержанием кислорода фиксируются почти ежегодно в Таганрогском заливе, занимая до 60 % его площади.

По мнению авторов, в условиях современного осолонения моря и Таганрогского залива эпизодическое повышение речного стока приведет к еще более резкому расслоению вод по вертикали и, следовательно, к усилению дефицита кислорода в придонном слое моря.

Можно лишь ожидать, что с возрастанием солености стратифицирующий эффект черноморской адвекции будет наиболее ослаблен в южных районах Азовского моря. В то же время на акватории Таганрогского залива, по-видимому, следует ожидать дальнейшего обострения вертикальной стратификации и угнетения кислородного режима. В конечном итоге авторы приходят к выводу, что оптимизация кислородного режима моря оказывается возможной только при условии существенного снижения солености вод Азовского моря.

Влияние загрязнения на режим кислорода оказывается вполне сопоставимым с влиянием верти-

кальной устойчивости вод, регулирующей вентиляцию придонных слоев. Так увеличение концентраций нефтепродуктов и детергентов в придонных слоях моря на 0,1 мг/л снижает концентрацию кислорода в них соответственно на 0,01 и 0,50 %.

Гипотезы развития народного хозяйства в бассейне Азовского моря предполагают увеличение потребления речной воды. При сокращении пресного стока уменьшается вынос донских вод из Таганрогского залива в море и азовских вод через Керченский пролив, что будет способствовать загрязнению вод и грунтов органическими компонентами сточных вод, накоплению органических веществ в море и заливе. Отсюда возникает предположение об увеличении случаев возникновения заморных явлений.

#### 3.4. Сероводород в Азовском море

В течение всей истории исследований (вплоть до лета 1987 г.) наличие сероводорода в море не было обнаружено, хотя по совокупности различных природных условий можно было ожидать

его появление. Вполне возможно, что сероводород эпизодически образовывался в отдельных районах моря, но он не был зафиксирован наблюдениями.

Только в июле 1987 г. впервые инструментально было зафиксировано присутствие сероводорода в Темрюкском заливе. Первые признаки его появления были обнаружены по запаху 22 июля, а через два дня 24 июля во время гидрохимической съемки на большом пространстве Темрюкского залива по всей глубине был обнаружен сероводород. Его содержание было минимальным и не превышало 0,5–0,8 ‰ у поверхности, значительно возрастало с глубиной и достигало в придонных горизонтах на отдельных станциях 2–4 ‰.

Следует отметить, что в Азовском море всегда существовал ряд необходимых предпосылок, позволявших предполагать появление, хотя возможно и кратковременное, сероводорода. Среди них можно выделить следующие: значительное содержание органического вещества и сульфатов в донных отложениях и в воде; высокая температура воды летом, определяющая большую скорость окисления органического вещества или потребления растворенного в воде кислорода при окислении, денитрификации и сульфатредукции; стратификация вод, результатом которой является существенное ограничение или отсутствие притока кислорода в придонные слои, который в верхних слоях восполняется в результате инвазии, фотосинтеза и адвекции.

Нетрудно показать, что перечисленные факторы образования сероводорода в разных сочетаниях или в отдельности практически в какой-то мере реализуются ежегодно. Более того, в результате возрастающего антропогенного воздействия на окружающую среду многие из них имеют тенденцию к усилению. Средняя удельная биомасса продуцируемого сухого органического вещества в море исключительно велика — 767 г/(м<sup>2</sup>·год) [11]. Под влиянием антропогенных факторов сток сульфатов в море в последние два десятилетия увеличился почти вдвое [11].

Однако предпосылка возможности образования сероводорода в мелководном море, связанная с существенным ограничением или прекращением доступа кислорода в придонные слои, реализуется, как увидим далее, по-видимому, редко, хотя ежегодно летом имеет место то или иное ограничение доступа кислорода в глубинные слои, что и вызывает образование зон гипоксии.

Помимо факторов, определяющих возможность образования сероводорода, существуют условия, сдерживающие этот процесс. В их число входят полная или почти полная гомотермия и гомогалинность вод по глубине, как результат конвективного (осенью и весной) или ветрового перемешивания, особенно в открытой части моря, в периоды межени, когда обеспечивается диффузионное проникновение кислорода в придонные слои; значительная ветровая активность, способная разрушать устойчивость вод до такой степени, что полного исчезновения растворенного кислорода у дна не происходит, и следовательно, процессы денитрификации и сульфатредукции не имеют места. Такие ситуации характерны больше для устьевых взморья, в зонах взаимодействия речных и морских вод, где существуют постоянные предпосылки к значительной стратификации вод по глубине по температуре и солености.

Проанализируем с позиций рассмотренных факторов, интенсифицирующих и сдерживающих образование сероводорода, условия, предшествующие и сопутствующие его реальному появлению на устьевом взморье Кубани и в южной части Темрюкского залива. С этой целью воспользуемся данными наблюдений, выполненных Кубанской устьевой станцией Северо-Кавказского гидромета в Темрюкском заливе, на взморье южного рукава Кубани, Протоки и Пересыпского гирла, а также результатами комплексных съемок, проведенных АзНИИРХ в мае–июне 1987 г.

Анализ показывает, что в мае и июне в Темрюкском заливе отмечалась практически полная гомотермия и гомогалинность вод по глубине (рис. 3.12). Температура воды по глубине в это

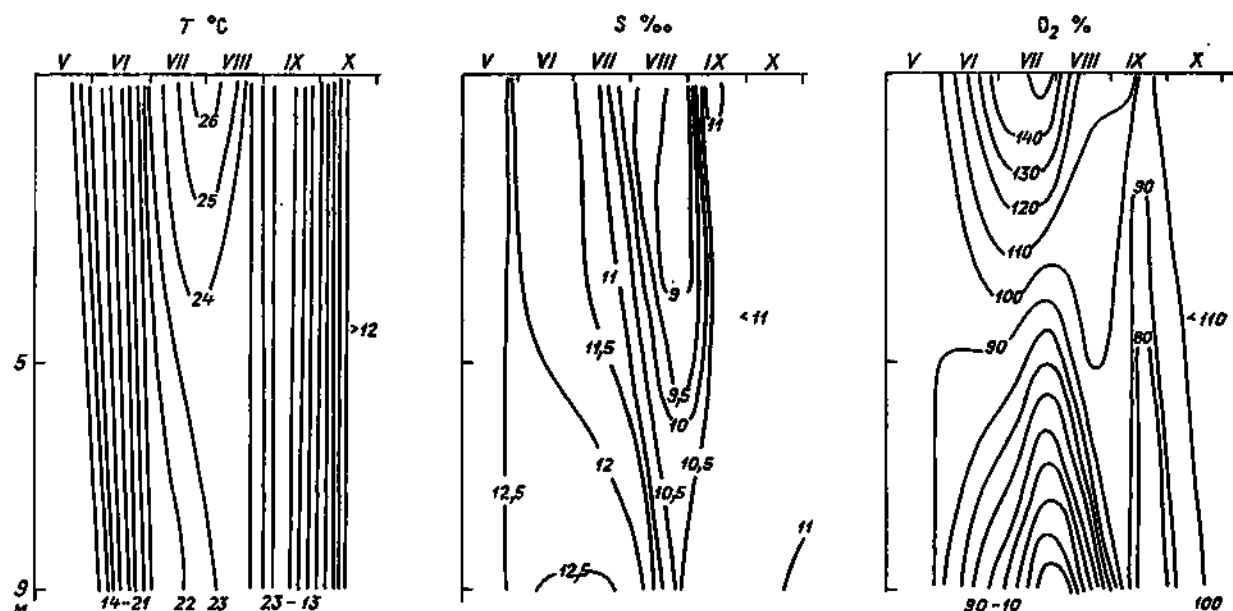


Рис. 3.12. Изменение температуры  $T$ , солености  $S$  и относительного содержания кислорода  $O_2$  во времени (май–октябрь 1987 г.) и по глубине (м) в Темрюкском заливе на станции, расположенной на расстоянии 21 км к северу от замыкающего створа южного рукава Кубани.

время различалась не более чем на 1°C, а соленость воды в пределах 1‰. Вместе с тем с конца мая по конец июня происходило мощное прогревание вод с 13 до 22°C и некоторое распреснение поверхностных вод с 12,4 до 11,5‰ в результате мощного нарастания летнего паводка на Кубани, начавшегося в середине мая, с пиком в середине июля и резким спадом к концу июля. В придонных же горизонтах температура и соленость оставались достаточно стабильными.

В соответствии с термогалинной однородностью вод в конце мая 1987 г. относительное содержание кислорода в Темрюкском заливе в поверхностных горизонтах превышало 100%, а в придонных слоях оно было в пределах 80—100% насыщения. Однако к концу июня относительное содержание кислорода, оставаясь очень высоким в слое 0—5 м, в придонных горизонтах понизилось до 40—50% насыщения. Факт чрезвычайно важный, указывающий на то, что даже в условиях вертикальной однородности вод по плотности расход кислорода на окисление органического материала в воде и донных отложениях значительно выше его продукции при фотосинтезе в слое ниже 5 м диффузионного подтока из поверхностных слоев.

Судя по гидрохимическим данным, в Петрушином рукаве Кубани (табл. 3.19) с мая по начало

Таблица 3.19

Динамика некоторых гидрологических и гидрохимических характеристик в Петрушином рукаве Кубани перед выходом в море в апреле—августе 1987 г.

| Дата   | Расход воды, м³/с | t °C | O₂ % | БПК₅, мгО₂/л | Содержание азота, мг/л |         | Содержание органического фосфора, мг/л |
|--------|-------------------|------|------|--------------|------------------------|---------|----------------------------------------|
|        |                   |      |      |              | аммиак                 | нитраты |                                        |
| 4 V    | 122               | 12,4 | 101  | 1,42         | 0,77                   | 1,06    | 0,038                                  |
| 1 VI   | 261               | 18,3 | 86   | 1,21         | 0,44                   | 1,00    | 0,007                                  |
| 6 VII  | 450               | 24,9 | 79   | 4,60         | 0,35                   | 0,75    | 0,002                                  |
| 3 VIII | 129               | 25,0 | 92   | 1,22         | 0,13                   | 1,05    | 0,017                                  |

июля на общем фоне повышения стока воды и температуры происходило мощное накопление органического вещества (с начала мая по начало июля его содержание по БПК₅ возросло более чем втрое). Поэтому содержание кислорода в реке с хорошим вертикальным перемешиванием вод за это же время упало на 20%. Кислород расходовался на окисление органического вещества, азота, аммиака и органического фосфора, судя по резкому снижению их концентраций.

Начавшееся в июне нарушение вертикальной однородности вод, вызванное летним паводком р. Кубани, во второй половине июля привело к резкой стратификации вод по температуре (до 4—5°C) и солености (до 2—3‰). В течение первой и второй декад июля обстановка характеризовалась слабым ветром, когда, за редким исключением, средняя суточная скорость ветра не превышала 2,4 м/с, изменяясь в целом от 1,1 до 4,2 м/с. В этих условиях в Темрюкском заливе относительное содержание кислорода в нижних горизонтах (ниже 4—5 м глубины) с конца июня до третьей декады июля понизилось до нуля.

Проведенные АзНИИРХ 17—26 июля 1987 г. наблюдения по всему морю указывают на то, что подобная обстановка с глубоким дефицитом кислорода у дна сложилась не только в Темрюкском заливе (0—39% насыщения), но и на выходе из Таганрогского залива (12—29%). Для сравнения отметим, что в поверхностном слое содержание кислорода в открытой части моря изменялось от 80 до 110% насыщения и только в Таганрогском заливе оно местами уменьшалось до 65% и даже на одной станции до 34% насыщения.

Летний паводок в 1987 г. характерен тем, что не имеет себе аналогов в последнем 12-летнем ряду наблюдений ни по скорости наступления, ни по максимальным расходам и общему летнему стоку воды. Начавшись 14 мая 1987 г. с минимального расхода воды 197 м³/с (сумма расхода по обоим рукавам Кубани), паводок непрерывно возрастал до 15 июля, достигнув 813 м³/с.

Общий водный сток этого паводка был максимальным (4,29 км³) и значительно (в 1,7 раза) превысил средний многолетний сток за май—июль (2,46 км³), а июльский сток превысил среднее значение в 2,5 раза. Обращает на себя внимание то, что максимальный среднемесячный сток в 10-летнем ряду обычно падал на май, реже на июнь, т. е. на месяцы с относительно низкими по сравнению с июлем и августом температурами воды, а в июле средний месячный сток обычно был самым маленьким (табл. 3.20). Напротив, в 1987 г.

Таблица 3.20

Суммарный летний водный сток (км³) рукавов Кубани в Азовское море

| Год     | Май  | Июнь | Июль | Среднее за май—август |
|---------|------|------|------|-----------------------|
| 1976    | 0,81 | 0,93 | 0,91 | 2,65                  |
| 1977    | 0,73 | 0,97 | 0,90 | 2,60                  |
| 1978    | 0,82 | 0,70 | 0,56 | 2,08                  |
| 1979    | 0,78 | 0,80 | 0,79 | 2,37                  |
| 1980    | 1,92 | 0,55 | 0,40 | 2,87                  |
| 1981    | 1,34 | 0,86 | 1,03 | 3,23                  |
| 1982    | 1,13 | 0,95 | 0,82 | 2,90                  |
| 1983    | 0,64 | 0,56 | 0,59 | 1,79                  |
| 1984    | 0,63 | 0,71 | 0,67 | 2,01                  |
| 1985    | 0,77 | 0,79 | 0,75 | 2,23                  |
| Среднее | 0,96 | 0,78 | 0,74 | 2,46                  |
| 1987    | 0,88 | 1,59 | 1,83 | 4,30                  |

Примечание. Максимальные значения стока подчеркнуты.

июльский среднемесячный сток был самым высоким. Следует отметить, что и июньский среднемесячный сток в 1987 г. был значительно выше среднего и выше, чем в любом году избранного ряда. Для объективности следует сказать, что среднемесячный водный сток за август в 10-летнем ряду был всегда низким, кроме 1983 г., когда в исключительно маловодное лето сток в августе был максимальным 0,71 км³, а в мае, июне и июле он был соответственно равным 0,64, 0,56 и 0,59 км³.

Таким образом, мощный летний паводок с прогревыми до 26—28°C речными водами в условиях длительного затишья создали исключительную

вертикальную температурную стратификацию вод в Темрюкском заливе. На отдельных станциях векового разреза на взморье южного рукава Кубани разность между температурами поверхностных и придонных вод достигала 5–6°C при глубине 7–9 м. Одновременно стратификация по солености достигала 3‰. На самой мористой станции векового разреза прозрачность воды с конца мая по 24 июля 1987 г. изменилась с 4,5 до 1,5 м, что отвечало увеличению мутности воды в Петрушином рукаве Кубани почти вдвое (с 99 до 179 мг/л), тогда как на выходе рукава в море прозрачность изменилась всего лишь в пределах 0,1–0,2 м. Такое резкое уменьшение прозрачности воды не могло не сказаться на уменьшении глубины компенсационной точки (глубины, на которой дневная продукция кислорода при фотосинтезе компенсируется его суточным потреблением на окислительные процессы). В течение первых двух декад июля изоксигены на глубине 4–6 м поднялись на 2 м, а изоксигена с относительным содержанием кислорода 100% — на 1 м и стала располагаться на глубине 4 м. Ниже фотосинтез был явно подавлен, содержание кислорода быстро падало и у дна (глубина 9 м) достигало близких к нулю значений. Но мутность воды имеет также очень важное экранирующее значение при проникновении коротковолновой солнечной радиации на глубину, т. е. она существенно препятствует прогреванию придонных вод. В связи с этим обращает на себя внимание тот факт, что на глубине около 8 м температура в течение июля была одной и той же, тогда как в течение июня на этой глубине она повысилась с 15 до 22°C, а в течение августа — с 22 до 23°C. Экранирующий тепловой эффект еще более очевиден у дна, где температура воды в течение июля даже несколько понизилась (с 21,8 до 21,2°C), тогда как в первой половине августа она продолжала повышаться до 23,0°C по тому же закону, что и до июля (по прямой  $t = kT$  (сутки) с угловым коэффициентом 0,23°C/сут).

Таким образом, три фактора (мощный летний паводок, слабый ветер, повышенная мутность воды) определили значительную температурную стратификацию воды по глубине с существенной по времени приостановкой прогревания глубинных вод.

Совокупность перечисленных факторов обусловила резкое повышение вертикальной устойчивости в первую и вторую декады июля; если в мае и июле общая устойчивость изменялась в пределах 700–1000 усл. ед., то к 24 июля она достигла 2500–4500 усл. ед.; за 20 дней устойчивость возросла на порядок. Так же стремительно она упала до единичных значений в середине августа. По данным наблюдений АзНИИРХ, в 1961–1977 гг. устойчивость воды в Темрюкском заливе в июле неоднократно возрастала до значений свыше 2000 усл. ед., а три раза превышала 5000 усл. ед. Можно было предположить, что в 1962, 1966, 1967, 1970, 1971, 1972, 1974, 1977 гг. создавались условия для аноксии и образования сероводорода. Однако все перечисленные годы, за исключением 1970 г., относятся к маловодным, и высокие значения устойчивости были обусловлены, по-видимому, мощной вертикальной стратификацией солености. В остальные годы в указанном

ряду лет вертикальная устойчивость была низкой.

В рассматриваемый период 1987 г. в основном общая устойчивость сформировалась за счет температурной устойчивости (от 77 до 100%) (табл. 3.21).

Таблица 3.21

Общая ( $E_{\text{общ}}$ ), температурная ( $E_T$ ) и соленостная ( $E_S$ ) вертикальная устойчивость на станциях 15 и 16 в Темрюкском заливе в июле — начале августа 1987 г.

| Дата    | Станция | $E_{\text{общ}}$ | $E_T$ | $E_S$ | $\frac{E_T}{E_{\text{общ}}} \%$ |
|---------|---------|------------------|-------|-------|---------------------------------|
|         |         | 10° усл. ед.     |       |       |                                 |
| 2 VII   | 15      | 303              | 292   | 11    | 96                              |
|         | 16      | 280              | 258   | 22    | 93                              |
| 24 VII  | 15      | 4525             | 3671  | 854   | 81                              |
|         | 16      | 2789             | 2568  | 221   | 92                              |
| 10 VIII | 15      | 32               | 32    | 0     | 100                             |
|         | 16      | 62               | 48    | 14    | 77                              |

Важнейшей предпосылкой образования зон глубокой гипоксии и сероводорода является наличие в водной толще легкоокисляемого органического вещества. К сожалению, наблюдения за содержанием органического вещества в Темрюкском заливе летом 1987 г. не проводились. Однако о его высоком содержании на взморье Кубани можно судить по динамике БПК<sub>5</sub> в придонных горизонтах Петрушина рукава, в районе его впадения в море (см. табл. 3.19), где значения БПК<sub>5</sub> также стремительно нарастают с мая до середины июля, а затем быстро уменьшаются к середине августа, отражая характер летнего паводка с большим содержанием органического вещества, которое в значительной мере осаждается и остается в Темрюкском заливе. На рис. 3.11 представлено хронологическое изменение разности относительного содержания кислорода в поверхностном и придонных горизонтах в Темрюкском заливе. Обращает на себя внимание то, что максимальные значения устойчивости и разности в относительном содержании кислорода и БПК<sub>5</sub> совпадают по времени. Такое совпадение интересно в плане исключительной фоновой ситуации образования условий глубокой гипоксии, аноксии и даже условий образования сероводорода.

В этом отношении важны все обстоятельства, складывающиеся с начала июня до двадцатых чисел июля 1987 г. В этот период происходит постоянное увеличение вертикальной устойчивости воды, а вслед за этим такой же интенсивный рост дефицита кислорода в нижних горизонтах. Этот длительный период стагнации придонных вод к началу июля подвел к ситуации почти полного исчезновения кислорода в них (рис. 3.13). Вертикальная устойчивость в начале июля составляла около 500 усл. ед., а в отдельных случаях достигала 700 усл. ед. и выше. К двадцатым числам июля вертикальная устойчивость существенно возросла и составила 2700–4500 усл. ед. Усилились процессы денитрификации: со 2 по 24 июля содержание нитратов на ст. 16 изменилось с 150 мкг/л до нуля, а нитритов — с 27 до 8 мкг/л. Одновременно интенсифицировался процесс аммонифика-

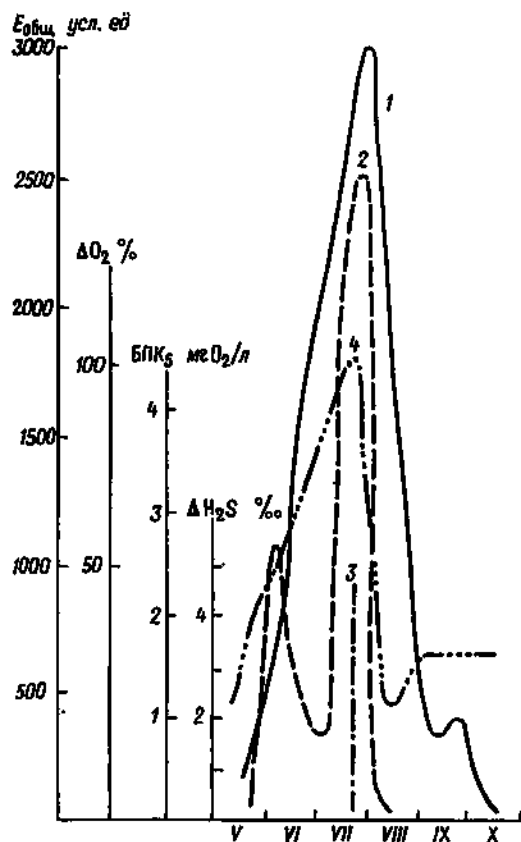


Рис. 3.13. Изменение общей устойчивости  $E_{общ}$  (1), разностей относительного содержания кислорода  $\Delta O_2$  (2) и сероводорода  $\Delta H_2S$  (3) в поверхностном и придонном горизонтах, БПК<sub>5</sub> (4) во времени (май — октябрь 1987 г.) в Темрюкском заливе на станции, расположенной на расстоянии 21 км к северу от замыкающего створа южного рукава Кубани.

## 4. РЕЖИМ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

С речным стоком Азовское море получает питательные соли в растворенном и взвешенном состоянии, которые необходимы для развития фитопланктона. К таким веществам прежде всего относятся соединения фосфора, кремния и азота. Круговорот биогенных веществ в море происходит следующим образом: биогенные вещества вносятся реками в море и в процессе фотосинтеза ассимилируются фитопланктоном. Затем в результате разложения и минерализации отмершего фитопланктона эти вещества вновь поступают в воду. Режим питательных солей в прибрежных водах также в значительной степени определяется процессами смешения речных и морских вод с различным содержанием биогенных веществ. При определенных гидрометеорологических ситуациях мощным источником и регулятором содержания биогенных веществ в пелагиали Азовского моря оказываются донные отложения, двусторонний обмен с которыми является одним из важных факторов, формирующих запасы фосфора в море.

Изучение пространственного распределения, а также сезонной и межгодовой изменчивости биогенных веществ значительно осложняется в связи с серьезными изменениями, которые произошли в гидролого-гидрохимическом режиме Азовского моря.

ции, выразившийся в увеличении содержания аммонийного азота с 260 до 560 мкг/л.

По-видимому, при длительной стагнации придонных вод (около 30—40 сут), вызванной исключительным по продолжительности и объему паводком в условиях высокой температуры воды, значения устойчивости воды около 2500—3000 усл. ед. являются пороговыми, при которых в нижних горизонтах воды начинается сульфатредукция с распространением сероводорода вверх, что и имело место в двадцатых числах июля и было инструментально зафиксировано 24 июля 1987 г.

Таковы в основном предпосылки и причины образования 22—24 июля 1987 г. сероводорода в придонных слоях Темрюкского залива. 24 июля в условиях умеренных нагонных северо-западных ветров сероводородом была охвачена вся толща вод, причем его концентрация уменьшалась по направлению к поверхности. Наряду с сероводородом в воде был обнаружен и кислород, содержание которого уменьшалось резко ко дну. Явление — уникальное, относящееся к явно неустойчивому и кратковременному состоянию, которое требует своего объяснения. Отметим лишь, что в опытах, поставленных в Морском гидрофизическом институте АН СССР [42], скорость химического окисления сероводорода при температуре 19—22 °С в темноте при отношении  $O_2$  к  $H_2S$  (в атомном выражении) от 4,9:1 до 1,9:1 подчинялась реакции первого порядка, т. е. скорость со временем убывала и 90 % начального содержания сероводорода окислялось в среднем за 135 ч, т. е. в замкнутой системе (бутыль с притертой пробкой) требуется достаточно много времени на окисление сероводорода.

### 4.1. Баланс биогенных веществ

Приходными статьями баланса, т. е. основными источниками поступления биогенных веществ в Азовское море, является их приток со стоком рек Дона и Кубани, с атмосферными осадками, черноморскими водами, поступающими через Керченский пролив в результате водообмена, а также твердые продукты абразивного разрушения берегов и дна.

Расходными статьями баланса, т. е. основными каналами выведения биогенных веществ из морских вод, являются вынос их в Черное море через Керченский пролив, изъятие в результате промысла рыбных и нерыбных объектов, захоронение в донные отложения.

Помимо изменений внешнего баланса биогенных веществ межгодовые колебания их запасов определяются миграцией соединений азота и фосфора в системе вода—дно. Однако удовлетворительная количественная характеристика этого механизма обмена пока еще представляется затруднительной. По данным наблюдений, выполненных в 1969—1977 гг., в условиях активной аэрации придонных вод в зоне контакта получают развитие процессы адсорбции, заметно снижающие содержание фосфора в пелагиали. В периоды стагнаций восстановительные условия, возникающие в зоне



Среднегодовое поступление общего азота и фосфора в Азовское море (тыс. т/год) в разные периоды

| Период наблюдений | Азот  | Фосфор | Источник |
|-------------------|-------|--------|----------|
| До 1952 г.        | 77,6  | 13,2   | [52]     |
| До 1955 г.        | 90,9  | 20,6   | [22]     |
| До 1960 г.        | 75,3  | 17,1   | [55]     |
| До 1960 г.        | 135,0 | 25,8   | [47]     |
| 1952—1972         | 130,4 | 16,5   | [48]     |
| 1966—1975         | 122,6 | 11,1   | [9]      |
| 1966—1975         | 102,6 | 8,2    | [48]     |
| 1966—1975         | 88,5  | 7,0    | [11]     |
| 1952—1976         | 109,4 | 16,5   | [3]      |

контакта вода—дно, способствуют интенсивной миграции в воду значительной части фосфора, находящегося в осадках. Выход азота в этих условиях в основном связан с анаэробной аммонификацией солей [11].

Содержание биогенных веществ в море определяется скоростями их поступления и выведения.

Оценка каналов поступления биогенных веществ проводилась неоднократно в разные периоды исследования. Расхождения в результатах, полученных по имеющимся публикациям, объясняются различными причинами: уточнением исходного массива данных, изменениями в методологии расчетов (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Приходные составляющие общего азота и фосфора в Азовском море (тыс. т/год)

| Источник поступления          | Общий азот                                      | Общий фосфор                                 | Источник                                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Речной сток                   | 63,32<br>55,10<br>77,0<br>68,0<br>67,44<br>61,0 | 19,12<br>16,23<br>12,4<br>9,2<br>6,48<br>5,3 | [22]<br>[55]<br>[47]<br>[8]<br>[9]<br>[11] |
| Атмосферные осадки            | 9,3<br>9,3<br>19,0<br>19,9*<br>8,3**            | —<br>—<br>0,6<br>0,6*<br>0,6                 | [22]<br>[55]<br>[47]<br>[9]<br>[11]        |
| Абразия берегов               | 28,0<br>3,9<br>7,8<br>7,8                       | 12,0<br>0,2<br>1,7<br>0,2                    | [47]<br>[48]<br>[9]<br>[11]                |
| Абразия дна                   | 16,1<br>5,2                                     | 1,4<br>1,1                                   | [9]<br>[3]                                 |
| Приток с черноморскими водами | 18,2<br>10,92<br>11,0<br>11,4*<br>11,4          | 1,5<br>0,90<br>0,8<br>0,9*<br>0,9            | [22]<br>[55]<br>[47]<br>[9]<br>[11]        |

\* При расчете поступлений азота и фосфора с черноморскими водами и атмосферными осадками за последние 25 лет использованы уточненные данные водообмена и количества осадков, концентрация биогенных веществ взята без изменения [8, 9, 11].

\*\* В расчете учитывалось содержание только минеральных форм азота.

Существующие оценки ежегодного поступления биогенных веществ в Азовское море характеризуются весьма значительным разбросом — по азоту 75—135 тыс. т, по фосфору — 13—26 тыс. т [9, 22, 47, 48, 55]. Это, как правило, объясняется введением новых параметров в расчет баланса биогенных веществ: поступлением с продуктами абразии берегов и дна; введением поправки на растворимость соединений азота и фосфора в береговых породах и донных отложениях.

По результатам исследований АзНИИРХ, при расчете суммарного поступления биогенных веществ наиболее целесообразным представляется использовать данные по стоку азота и фосфора в море за 1952—1976 гг., равные соответственно 109 и 16,5 тыс. т/год (табл. 4.2) [3]. Объемы поступления биогенных веществ с речными водами зависят от климатических и антропогенных факторов и представляют собой наиболее изменчивый элемент приходной части баланса.

Водохозяйственные мероприятия, связанные с безвозвратным изъятием речных вод на промышленные и сельскохозяйственные нужды, а также зарегулирование стока р. Дона в 1952 г. и р. Кубани в 1973 г. весьма существенно изменили скорости поступления биогенных веществ в Азовское море [8] и трансформировали их качественный состав [9, 55].

После зарегулирования Дона (1952 г.) в его водах резко возросло содержание азота. В маловодный период (1972—1976 гг.) снизилась интенсивность аккумуляции биогенных веществ в поймах и дельтах рек, что при высокой концентрации валового азота в речных водах обеспечило его поступление в море в размере 61,5 тыс. т, что соответствовало поступлению, характерному для естественного режима — 63,3 тыс. т [9, 47].

Снижение водности сопровождается значительным уменьшением как концентрации фосфора, так и его стока. Особенно резко сократилось поступление фосфора с водами р. Кубани после зарегулирования ее русла в результате создания Краснодарского гидроузла, что было обусловлено некомпенсированной аккумуляцией фосфора в чаше Краснодарского водохранилища. Поступление соединений фосфора с водами рек в Азовское море за 1972—1976 гг. составило около 4 тыс. т по сравнению со значением 16,5 тыс. т, полученным за предшествующие 20 лет (1952—1972 гг.).

В целом доля речного стока в среднем за 1952—1976 гг. составляет 60 % от суммарного поступления азота из различных источников в Азовское море и 68 % от суммарного поступления фосфора, причем в наиболее многоводные периоды эта доля составляет 63 % для азота и 57 % для фосфора, а в наиболее маловодные — 74 и 47 % соответственно. Для сравнения можно указать, что в период естественного режима рек [22] в суммарном поступлении азота и фосфора на долю речного стока приходилось в среднем соответственно 70 и 93 % с уменьшением в маловодные годы до 54 и 88 %.

Характерной тенденцией современной динамики биогенных веществ в водах рек, питающих Азовское море, является снижение содержания общего фосфора и рост содержания азота (табл. 4.3) [11].

Даже в период 1972—1976 гг., характеризующийся наименьшей водностью после зарегулирования, объем донского стока азота в Азовское море был на уровне значений, соответствующих естественному режиму. В то же время поступление соединений фосфора с водами Дона снизилось и в этот

Таблица 4.3

Динамика поступления общего фосфора и азота с водами Дона и Кубани в различные периоды

| Период, годы | N                           |                 | P                           |                 | N <sub>общ</sub> /P <sub>общ</sub> |
|--------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------------|
|              | концен-<br>трация,<br>мг/м³ | сток,<br>тыс. т | концен-<br>трация,<br>мг/м³ | сток,<br>тыс. т |                                    |
| р. Дон       |                             |                 |                             |                 |                                    |
| 1952—1955    | 1703                        | 33,39           | 320                         | 6,27            | 5,3                                |
| 1956—1975    | 1934                        | 39,26           | 185                         | 4,04            | 10,4                               |
| 1972—1975    | 2640                        | 33,21           | 150                         | 1,89            | 17,6                               |
| р. Кубань    |                             |                 |                             |                 |                                    |
| 1949—1950    | 1180                        | 13,69           | 820                         | 9,51            | 1,4                                |
| 1951—1952    | 1574                        | 20,46           | —                           | —               | —                                  |
| 1964—1971    | 2960                        | 32,33           | 655                         | 7,30            | 4,5                                |
| 1972—1975    | 2615                        | 28,08           | 226                         | 2,51            | 11,5                               |

период составило около 4 тыс. т., с водами Кубани снизилось до 2,5 тыс. т.

Трансформация биогенного стока рек характеризуется не только его сокращением, но и весьма резким нарушением его внутренней структуры, выразившимся в изменении в нем соотношений концентраций азота и фосфора. Так, значения соотношения N/P, которые в условиях естественного режима составляли для Дона 3,9 и для Кубани 4,5, в настоящее время увеличились соответственно до 17,6 и 11,5.

Таким образом, о масштабах и необратимости последствий антропогенного влияния в бассейне рек, питающих Азовское море, можно судить на основании изменчивости соотношения N/P.

По мнению исследователей [9], причины, обусловившие разнонаправленность изменений содержания общего фосфора и азота в речных водах, питающих Азовское море, заключаются в следующем. Для трансформации форм фосфора — это практически полное прекращение затопления пойменных пространств Нижнего Дона и Кубани, аккумуляция в Цимлянском и Краснодарском водохранилищах взвешенных минеральных и органических форм, составляющих для Дона основную (63 %), а для Кубани подавляющую (85 %) часть общего количества фосфорсодержащих соединений, транспортируемых реками, характерные для водохранилищ процессы преобразования минеральных форм фосфора в органические.

Для трансформации азота — это аккумуляция в водохранилищах взвешенных форм азота, которые до зарегулирования стока составляли менее 25 % от содержания общего азота, избыточная компенсация взвешенных форм азота за счет ассимиляции из атмосферы и поступления со сточными водами и с интенсивно удобряемой поверхности водосбора. Воды Дона характеризуются резко выраженным ростом концентрации азота за счет органических и аммонийных форм (табл. 4.4).

Уравнение установившегося баланса биогенных веществ Азовского моря имеет следующий вид:

$$C_p Q_p + C_{oc} Q_{oc} + C_b Q_b + C_d Q_d + C_q Q_q = C_n + C_a Q_a + C_{гр}$$

где  $C_p$  — концентрация биогенных элементов в речных водах;  $C_{oc}$  — концентрация биогенных элемен-

Таблица 4.4

Содержание (мг/м<sup>3</sup>) различных форм азота в водах Дона и Кубани

| Годы      | N-NO <sub>2</sub> | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> | N <sub>мин</sub> | N <sub>орг</sub> | N <sub>общ</sub> |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| р. Дон    |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
| 1940—1941 | 17                | 352               | 59                | 426              | 621              | 1047             |
| 1956—1961 | 10                | 442               | 170               | 622              | 1045             | 1667             |
| 1971—1975 | 20                | 441               | 433               | 894              | 1524             | 2418             |
| 1976—1979 | 42                | 621               | 345               | 1008             | —                | —                |
| 1981—1986 | 50                | 1018              | 288               | 1356             | —                | —                |
| р. Кубань |                   |                   |                   |                  |                  |                  |
| 1951—1952 | 6                 | 230               | 25                | 261              | 1313             | 1574             |
| 1973—1975 | 12                | 361               | 783               | 1156             | 1318             | 2475             |
| 1976—1980 | 43                | 412               | 522               | 977              | —                | —                |
| 1981—1986 | 41                | 1023              | 232               | 1296             | —                | —                |

тов, поступающих с атмосферными осадками;  $C_q$  — концентрация биогенных веществ в черноморской воде;  $C_a$  — концентрация биогенных веществ в азовской воде;  $C_b$  — концентрация биогенных веществ в материалах абразии берегов;  $C_d$  — концентрация биогенных веществ в материалах абразии дна;  $Q_q$  — приток черноморских вод в Азовское море;  $Q_a$  — сток азовских вод в Черное море;  $Q_b$ ,  $Q_d$  — соответственно количество веществ, поступающих с материалами абразии берегов и дна;  $C_n$  — изъятие биогенных веществ промыслом;  $C_{гр}$  — захоронение биогенных элементов в грунт.

Оценка расходных статей баланса азота и фосфора для Азовского моря, выполненная различными исследователями, показала, что наиболее изменчивой статьей расхода является захоронение биогенных веществ в донные отложения (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Скорость выведения общего азота и фосфора из вод Азовского моря (тыс. т/год)

| Расходная статья               | Общий азот                                   | Общий фосфор                               | Источник                                    |
|--------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Изъятие с вылавливаемой рыбой  | 6,0<br>5,0                                   | 1,0<br>1,0                                 | [9, 22, 55]<br>[47]                         |
| Вынос в Черное море            | 42,0<br>57,6<br>33,8<br>34,0<br>55,3         | 2,9<br>3,3<br>1,9<br>2,2<br>4,0            | [52]<br>[22]<br>[55]<br>[47]<br>[9, 11]     |
| Захоронение в донные отложения | 22,8<br>31,0<br>96,0<br>61,3<br>69,1<br>27,2 | 15,6<br>13,5<br>22,6<br>6,1<br>11,5<br>2,0 | [22]<br>[55]<br>[47]<br>[9]<br>[48]<br>[11] |

При этом необходимо иметь в виду, что в оценку этой статьи вошли ошибки, полученные при расчете всех приходных и расходных статей баланса.

Среди расходных статей целесообразно выделить те, которые независимы от содержания азота и фосфора в море (изъятие биогенных веществ с промысловыми объектами) и зависимы от содержания биогенных веществ (вынос в Черное море через Керченский пролив, захоронение в донные отложения).

Если исходить из положения о том, что интенсивность поступления биогенных веществ, а также их изъятие с промысловыми объектами равномерны во времени, то изменение содержания биогенных веществ в Азовское море с некоторыми допущениями описывается уравнением, составленным в АзНИИРХ:

$$\frac{dm}{dt} = Q - q_n - (K + r)m,$$

где  $m$  — запас биогенных веществ в море, рассчитанный как произведение концентрации биогенных веществ на объем моря, тыс. т;  $Q$  — скорость суммарного поступления биогенных веществ с приходными статьями, т/год;  $q_n$  — изъятие биогенных веществ с выловом рыбы, тыс. т/год;  $K$  — константа скорости захоронения биогенных веществ в донных отложениях, год<sup>-1</sup>;  $r$  — константа скорости удаления биогенных веществ через Керченский пролив, год<sup>-1</sup>;  $t$  — время, год.

Константа  $r$  рассчитывается как отношение объема вытекающих через Керченский пролив морских вод к объему моря, т. е. константа обратна времени водообмена через Керченский пролив, а сумма  $K + r$  обратна времени пребывания соответствующих биогенных веществ в водоеме.

Интегрирование этого уравнения при начальных условиях  $t=0$ ;  $m=m_0$  приводит к выражению

$$m = \frac{Q - q_n}{K + r} (1 - e^{-(K+r)t}) + m_0 e^{-(K+r)t}.$$

При больших значениях  $t$  или в условиях стационарного состояния содержание биогенных веществ определяется интенсивностью их поступления и временем пребывания в водоеме

$$m = \frac{Q - q_n}{K + r}.$$

Таблица 4.6

Балансы соединений азота и фосфора в Азовском море (тыс. т) по различным публикациям

| Составляющие баланса                       | Азот  |       |      | Фосфор |      |      |
|--------------------------------------------|-------|-------|------|--------|------|------|
|                                            | [55]  | [9]   | [11] | [55]   | [9]  | [11] |
| Приход                                     |       |       |      |        |      |      |
| Поступление                                |       |       |      |        |      |      |
| с речным стоком                            | 55,10 | 67,44 | 61,0 | 16,23  | 6,48 | 5,3  |
| с атмосферными осадками                    | 9,3   | 19,9  | 8,3  | —      | 0,6  | 0,6  |
| за счет абразии берегов                    | —     | 7,8   | 7,8  | —      | 1,7  | 0,2  |
| за счет абразии дна с черноморскими водами | —     | 16,1  | —    | —      | 1,4  | —    |
|                                            | 10,92 | 11,4  | 11,4 | 0,9    | 0,9  | 0,9  |
| Итого                                      | 75,32 | 122,6 | 88,5 | 17,14  | 11,1 | 7,9  |
| Расход                                     |       |       |      |        |      |      |
| Изъятие с вылавливаемой рыбой              | 6,0   | 6,0   | 6,0  | 1,0    | 1,0  | 1,0  |
| Вынос при миграции рыб                     | 4,50  | —     | —    | 0,75   | —    | —    |
| Вынос в Черное море                        | 33,84 | 55,3  | 55,3 | 1,93   | 4,0  | 4,0  |
| Захоронение в донные отложения             | 30,98 | 61,3  | 27,2 | 13,46  | 6,1  | 2,0  |
| Итого                                      | 75,32 | 122,6 | 88,5 | 17,14  | 11,1 | 7,0  |

По материалам за 1952—1976 гг. сток воды из Азовского моря в Черное в среднем составлял 49,7 км<sup>3</sup>/год, среднее значение  $K$  было равно 0,154 год<sup>-1</sup> и в течение 25-летнего периода изменялось в довольно узком диапазоне 0,140—0,158 год<sup>-1</sup>.

В настоящее время представляется довольно сложным рассчитать с необходимой степенью точности баланс биогенных веществ в Азовском море. Это связано с тем, что существует ряд приходных и расходных статей баланса, не поддающихся количественному учету: процесс азотификации, вынос соединений азота и фосфора непосредственно в море, минуя речную сеть, сброс азот- и фосфорсодержащих отходов со сточными водами прибрежных промышленно-коммунальных агломераций, захоронение азота и фосфора в донные осадки моря и т. д. Нередко балансы биогенных веществ, рассчитанные даже одними и теми же авторами, могут весьма существенно различаться в связи с внесением всевозможных корректив в отдельные составляющие этих балансов (табл. 4.6). Таким образом, имеющиеся балансы биогенных веществ Азовского моря можно рассматривать лишь в качестве ориентировочных, требующих весьма значительного исследования, доработки и уточнений.

#### 4.2. Многолетний режим биогенных веществ

На основе данных о многолетней изменчивости содержания минеральных и органических форм фосфора и азота в течение 1952—1981 гг. в водах Азовского моря можно выделить следующие периоды.

**Первый период (1952—1956 гг.)** характеризуется становлением режима моря после создания Цимлянского водохранилища и отличается повышением солености в среднем до 12,1 ‰ с диапазоном изменений 11,8—12,4 ‰ по сравнению с соленостью 10,6 ‰, наблюдавшейся при естественном режиме моря.

В климатическом отношении этот период не имел отклонений от нормы и характеризовался благоприятным кислородным режимом моря. В рассматриваемое пятилетие в Азовское море ежегодно поступало 104,2 и 18,3 тыс. т соединений азота и фосфора и соответственно около 30 и 13 % выводилось из оборота в результате стока через Керченский пролив. Константы скорости осаждения азота и фосфора в донные отложения составляют соответственно 0,35 и 1,03. Указанные скорости притока и выведения биогенных элементов обеспечивали стационарное состояние запаса азота и фосфора на уровне 203,5 и 15,5 тыс. т, т. е. концентрации этих веществ в море составляли 630 и 47,9 мг/м<sup>3</sup> соответственно при темпе первичного продуцирования органического вещества 26,1 млн. т/год (табл. 4.7). Соотношение  $N_{общ}/P_{общ}$ , являющееся интегральным показателем интенсивности и направленности биогеохимических процессов, составляло в этот период 13. Отношение минеральных растворенных форм  $N_{мин}/P_{мин}$  в среднем было равно 11 и было близко к стехиометрическому соотношению биогенных веществ в фитопланктоне.

**Второй период (1957—1968 гг.)** характеризуется понижением солености моря до 11,2 ‰, повышением температурного фона, ослаблением ветро-

Таблица 4.7

Расходные статьи баланса общего азота и фосфора и содержание биогенных веществ в Азовском море в различные периоды, тыс. т/год

| Расходная статья баланса                                     | Азот  | Фосфор |
|--------------------------------------------------------------|-------|--------|
| Вынос в Черное море через Керченский пролив за 1952—1981 гг. | 51,2  | 3,3    |
| в том числе                                                  |       |        |
| 1952—1956                                                    | 31,5  | 2,4    |
| 1957—1968                                                    | 55,3  | 4,1    |
| 1969—1972                                                    | 51,1  | 3,8    |
| 1973—1976                                                    | 48,0  | 2,6    |
| 1977—1981                                                    | 62,5  | 2,7    |
| Захоронение в донные отложения                               |       |        |
| 1952—1956                                                    | 72,7  | 15,9   |
| 1957—1968                                                    | 57,2  | 12,0   |
| 1969—1972                                                    | 64,6  | 10,3   |
| 1973—1976                                                    | 75,5  | 11,2   |
| Средний запас                                                |       |        |
| 1952—1981                                                    | 339,1 | 22,0   |
| 1952—1956                                                    | 203,5 | 15,5   |
| 1957—1968                                                    | 374,7 | 27,1   |
| 1969—1972                                                    | 332,2 | 25,1   |
| 1973—1976                                                    | 319,5 | 17,2   |
| 1977—1981                                                    | 413,4 | 17,9   |
| Концентрация азота и фосфора, мг/м <sup>3</sup>              |       |        |
| 1952—1981                                                    | 1050  | 68,1   |
| 1952—1956                                                    | 630   | 47,9   |
| 1957—1968                                                    | 1160  | 83,9   |
| 1969—1972                                                    | 1030  | 77,7   |
| 1973—1976                                                    | 980   | 53,2   |
| 1977—1981                                                    | 1280  | 55,3   |

вой активности над акваторией моря и формированием устойчивой аномалии кислородного режима. В среднем ежегодная площадь зон с содержанием кислорода менее 60 % насыщения составляла в этот период около 11 тыс. км<sup>2</sup>, и скорость первичного продуцирования органического вещества возросла в среднем до 36 млн. т/год. При этом диапазон изменения этой характеристики составил 22,4—50,5 млн. т/год. Запас общего азота и фосфора увеличился соответственно до 374,7 и 27 тыс. т, т. е. их концентрация в море составляла 1160 и 83,9 мг/м<sup>3</sup>. Скорость поступления соединений азота из внешних источников возросла всего лишь на 8 %, а фосфора даже сократилась на 15 % по сравнению со скоростью поступления в прошлом пятилетии.

Если в отношении азота объективно существует такой неучитываемый источник его поступления, как азотификация, то увеличение запаса валового фосфора почти на 70 % можно объяснить наличием такой внутренней статьи, как поступление его из донных отложений при ситуациях с угнетенным кислородным режимом. По данным АзНИИРХ, в этот период в донные отложения ежегодно переходит всего лишь 12 тыс. т фосфора, т. е. на 3,9 тыс. т меньше по сравнению с таковым в условиях оптимального кислородного режима, наблюдавшихся в предыдущий период [2].

Ежегодное захоронение соединений азота уменьшилось на 15,5 тыс. т. Константы скорости захоронения в донные отложения составляли 0,16 и 0,43 соответственно для азота и фосфора.

Соотношения  $N_{общ}/P_{общ}$  и  $N_{мин}/P_{мин}$  оказались равными 14 и 10,5 соответственно.

Третий период (1969—1972 гг.) по своей климатической характеристике мало отличается от второго (1957—1968 гг.). Однако начиная с 1969 г. отмечается явная тенденция неуклонного осолонения моря, соленость которого в 1972 г. достигла 12,3 ‰. В этот же период отмечается увеличение скорости поступления валового азота до 115,7 тыс. т/год и сокращение притока валового фосфора до 14,1 тыс. т/год; запас соединений азота и фосфора в море несколько понижается соответственно до 332,2 и 25,1 тыс. т при снижении концентраций азота и фосфора до 1030 и 77,7 мг/м<sup>3</sup>. Соотношения  $N_{общ}/P_{общ}$  и  $N_{мин}/P_{мин}$  оказались равными 13 и 11,4 соответственно.

Четвертый период (1973—1976 гг.) характеризуется изменениями биологической продуктивности моря после зарегулирования стока р. Кубани. Почти в 1,8 раза по сравнению со значением в предшествующий период уменьшилась интенсивность питания моря валовым фосфором. Скорость поступления валового азота сократилась на 9 % и оказалась близкой к аналогичным значениям, наблюдавшимся в 1952—1956 гг. Этот период характеризовался ослаблением процессов, формирующих в море зоны дефицита кислорода. Воды с содержанием кислорода менее 60 % распространялись в среднем на площади моря 4,6 тыс. км<sup>2</sup>, что составляло 10 % от акватории Азовского моря. Это привело к падению запаса общего фосфора и азота до 17,2 и 316,5 тыс. т соответственно, т. е. концентрация общего азота и фосфора составила 980 и 53,2 мг/м<sup>3</sup>. В отдельные годы (1974, 1976) концентрация валового фосфора приближалась к концентрациям, имевшим место в первое пятилетие после зарегулирования стока р. Дона. В период 1973—1976 гг. константы скорости выведения азота и фосфора из водоемов были равны соответственно —0,25, —0,56 в год. Соотношения  $N_{общ}/P_{общ}$  и  $N_{мин}/P_{мин}$  оказались равными 18 и 12,5.

Пятый период (1977—1981 гг.) отличается увеличением водного стока в среднем до 38 км<sup>3</sup>/год при изменениях от 30,0 до 48,8 км<sup>3</sup>/год. В условиях повышенной водности и на фоне высокой солёности, возросшей в предыдущий период в среднем до 13,1 ‰, а в отдельные годы (1976) до 13,8 ‰, эффект плотностного расслоения вод обостряется, что в свою очередь приводит к активизации восстановительных ситуаций в придонных слоях моря. Средняя площадь дефицита кислорода в рассматриваемое пятилетие возросла до 8,8 тыс. км<sup>2</sup>. Запас соединений азота и фосфора увеличился соответственно до 413,4 и 17,9 тыс. т, а концентрация общих форм азота и фосфора возросла до 1280 и 55,3 мг/м<sup>3</sup>.

Соотношения  $N_{общ}/P_{общ}$  и  $N_{мин}/P_{мин}$  оказались равными 23 и 5.

Шестой период (1982—1986 гг.) отличается некоторым снижением водного стока в среднем до 33,0 км<sup>3</sup>/год.

В течение 1977—1986 гг. практически было прекращено исследование полного комплекса биогенных веществ в водах речного бассейна (за исключением минеральных форм), питающего Азовское море. Приток минеральных форм биогенных веществ, рассчитанный за 1976—1986 гг., оказывается пропорциональным водному стоку (рис. 4.1, 4.2).

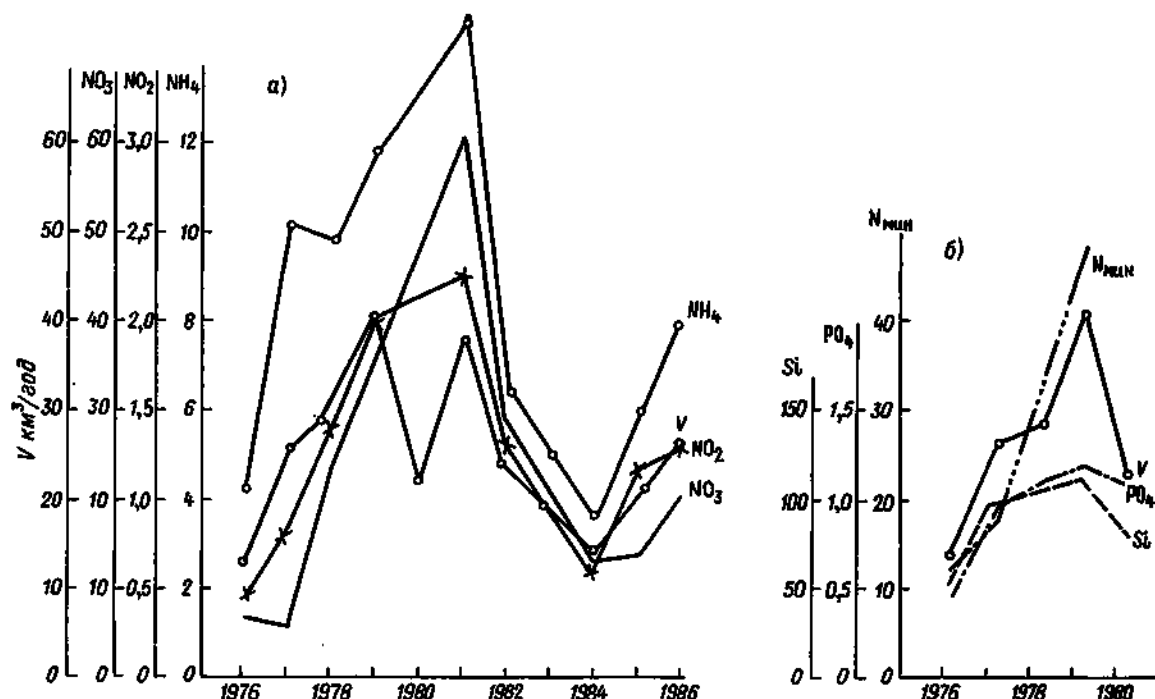


Рис. 4.1. Объем поступления (тыс. т) минеральных форм азота со стоком р. Дон  $V$  ( $\text{км}^3/\text{год}$ ) за 1976—1986 гг. (а) и фосфатов, кремния и суммы минеральных форм азота за 1976—1980 гг. (б).

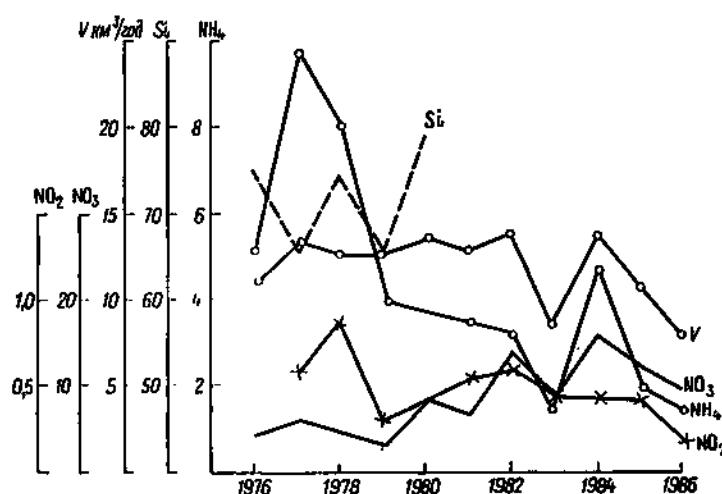


Рис. 4.2. Объем поступления (тыс. т) минеральных форм азота и кремниевой кислоты со стоком р. Кубани  $V$  за 1976—1986 гг.

#### 4.3. Сезонные изменения концентрации фосфатов в Азовском море

Фосфаты, содержащиеся в морской воде в растворенном состоянии в виде ионов ортофосфорной кислоты, являются одним из важнейших гидрохимических компонентов, определяющих и лимитирующих биологическую продуктивность моря. Следует отметить, что режим биогенных веществ в водах Азовского моря до 1960 г. достаточно подробно был проанализирован ранее [55].

В данной работе рассматривается режим биогенных веществ в период после зарегулирования стока Дона и до настоящего времени на основании данных АзНИИРХ и сетевых подразделений Госкомгидромета СССР.

Зима. В этот период исследования содержания фосфатов в водах Азовского моря проводились

эпизодически. Наибольшее количество наблюдений относится к  $V$  району моря. В остальных районах моря наблюдения либо отсутствовали, либо их было очень незначительное количество, что заставляло делать выводы относительно зимнего режима биогенных веществ с большой осторожностью. Зимой наиболее высокое содержание фосфатов наблюдалось в предустьевом районе Дона (23  $\text{мкг/л}$ ). По направлению к морю концентрация фосфатов уменьшается и достигает в районах  $V$  и  $VI$  соответственно 13 и 10  $\text{мкг/л}$  (табл. 4.8). Вертикальное

Таблица 4.8

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря зимой за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Средняя концентрация, $\text{мкг/л}$ | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                                      |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 15           | 7,8                                  | 8,8                               | 113                     | 3,1—12,5                                |
| <b>Район V</b>    |              |                                      |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 64           | 13,0                                 | 11,7                              | 90                      | 10,0—15,9                               |
| Промежуточный     | 121          | 11,5                                 | 10,3                              | 89                      | 9,0—13,4                                |
| Придонный         | 64           | 13,6                                 | 9,8                               | 72                      | 11,1—16,1                               |
| <b>Район VI</b>   |              |                                      |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 11           | 9,9                                  | 5,0                               | 51                      | 6,7—13,1                                |
| Промежуточный     | 21           | 10,9                                 | 7,4                               | 68                      | 7,6—14,2                                |
| Придонный         | 9            | 10,0                                 | 6,4                               | 64                      | 5,5—14,5                                |
| <b>Район VIII</b> |              |                                      |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 6            | 14,8                                 | 7,4                               | 50                      | 10,4—21,4                               |
| Промежуточный     | 6            | 12,7                                 | 4,3                               | 34                      | 8,9—16,5                                |
| Придонный         | 6            | 14,2                                 | 7,3                               | 51                      | 7,7—20,7                                |
| <b>Район IX</b>   |              |                                      |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 16           | 23,2                                 | 9,8                               | 42                      | 18,1—28,2                               |
| Придонный         | 16           | 23,5                                 | 10,8                              | 46                      | 17,9—29,1                               |

Таблица 4.9

Повторяемость (%) распределения концентрации фосфатов по районам Азовского моря зимой

| Горизонт      | Концентрация фосфатов, мкг/л |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0,0—4,9                      | 5,0—9,9 | 10,0—14,9 | 15,0—19,9 | 20,0—24,9 | 25,0—29,9 | 30,0—34,9 | 35,0—39,9 | 40,0—44,9 | 45,0—49,9 | 50,0—54,9 | 55,0—59,9 | 60,0—64,9 |
| Район I       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 50                           | 19      | 7         | 6         | 6         | 6         | 2         | 2         | 1         | 1         |           |           |           |
| Район V       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 22                           | 23      | 23        | 12        | 6         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 1         | 1         |
| Промежуточный | 26                           | 32      | 12        | 9         | 7         | 7         | 4         | 2         | 1         |           |           |           |           |
| Придонный     | 16                           | 25      | 20        | 19        | 8         | 5         | 4         | 3         |           |           |           |           |           |
| Район VI      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 8                            | 42      | 25        | 17        | 8         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 24                           | 24      | 24        | 14        | 14        |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 22                           | 22      | 32        | 12        | 12        |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Район VIII    |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 17                           | 17      | 25        | 24        | 17        |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 14                           | 14      | 28        | 28        | 8         | 8         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 34                           | 18      | 16        | 16        | 8         | 8         |           |           |           |           |           |           |           |
| Район IX      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 0                            | 12      | 12        | 12        | 17        | 18        | 12        | 12        |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 0                            | 12      | 12        | 18        | 12        | 18        | 14        | 24        |           |           |           |           |           |

Таблица 4.10

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря весной за 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число дан-ных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район I       |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 15            | 7,8                         | 8,8                               | 113                     | 3,1—12,5                                  |
| Промежуточный | 13            | 10,0                        | 12,1                              | 122                     | 3,0—17,0                                  |
| Придонный     | 9             | 9,1                         | 8,8                               | 97                      | 2,9—15,3                                  |
| Район II      |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 36            | 9,7                         | 11,5                              | 119                     | 5,8—13,6                                  |
| Промежуточный | 26            | 6,0                         | 7,2                               | 118                     | 3,1—8,9                                   |
| Придонный     | 34            | 14,9                        | 18,3                              | 123                     | 8,5—21,3                                  |
| Район III     |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 16            | 10,3                        | 7,9                               | 77                      | 6,2—14,4                                  |
| Промежуточный | 17            | 9,9                         | 10,7                              | 108                     | 4,6—15,2                                  |
| Придонный     | 15            | 9,9                         | 9,7                               | 98                      | 4,7—15,1                                  |
| Район IV      |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 20            | 9,4                         | 11,2                              | 119                     | 4,2—14,5                                  |
| Промежуточный | 17            | 5,7                         | 5,2                               | 91                      | 3,1—8,3                                   |
| Придонный     | 20            | 7,3                         | 6,4                               | 87                      | 4,4—10,2                                  |
| Район V       |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 180           | 9,8                         | 12,0                              | 123                     | 8,0—11,6                                  |
| Промежуточный | 189           | 7,7                         | 10,9                              | 148                     | 6,1—9,3                                   |
| Придонный     | 171           | 10,5                        | 11,9                              | 114                     | 8,7—12,3                                  |
| Район VI      |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 28            | 8,4                         | 9,3                               | 111                     | 4,8—12,0                                  |
| Промежуточный | 29            | 5,4                         | 5,2                               | 97                      | 3,4—7,4                                   |
| Придонный     | 27            | 6,6                         | 7,1                               | 108                     | 3,8—9,4                                   |
| Район VII     |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 33            | 6,7                         | 5,4                               | 82                      | 4,8—8,6                                   |
| Промежуточный | 26            | 6,7                         | 5,7                               | 85                      | 4,4—9,0                                   |
| Придонный     | 22            | 5,3                         | 4,0                               | 75                      | 3,6—7,0                                   |

| Горизонт      | Число дан-ных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район VIII    |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 25            | 6,2                         | 6,5                               | 99                      | 3,6—8,8                                   |
| Промежуточный | 10            | 9,8                         | 6,1                               | 63                      | 5,7—13,9                                  |
| Придонный     | 21            | 6,3                         | 6,9                               | 109                     | 3,2—9,4                                   |
| Район IX      |               |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 47            | 12,3                        | 10,3                              | 84                      | 9,3—15,3                                  |
| Придонный     | 46            | 13,4                        | 11,6                              | 86                      | 10,0—16,8                                 |

распределение фосфатов зимой оказывается однородным.

Кривые распределения концентраций фосфатов в этот сезон, полученные для отдельных районов моря, далеки от нормального распределения (табл. 4.9). В основном относительная частота значений фосфатов (70 %) в районе V относится к диапазону концентраций 0—15 мкг/л, т. е. равномерно распределяется в первых трех градациях минимальных концентраций.

Весна. По сравнению с зимой весной отмечается повсеместное снижение концентрации фосфатов в водах Азовского моря (табл. 4.10). До 50—60 % значений концентрации фосфатов в различных районах Азовского моря относятся к диапазону 0—5 и 0—10 мкг/л (табл. 4.11). Нередки случаи снижения концентрации минерального фосфора на отдельных станциях до аналитического нуля. Такое понижение содержания минерального фосфора весной можно объяснить его высоким потреблением в период весеннего цветения фитопланктона.

Повторяемость (%) распределения концентрации фосфатов по районам Азовского моря весной

| Горизонт      | Концентрация фосфатов, мкг/л |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0,0—4,9                      | 5,0—9,9 | 10,0—14,9 | 15,0—19,9 | 20,0—24,9 | 25,0—29,9 | 30,0—34,9 | 35,0—39,9 | 40,0—44,9 | 45,0—49,9 | 50,0—54,9 | 55,0—59,9 |
| Район I       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 50                           | 16      | 8         | 7         | 5         | 3         | 3         | 3         | 3         | 2         |           |           |
| Промежуточный | 54                           | 15      | 5         | 6         | 6         | 6         | 5         | 3         | 3         |           |           |           |
| Придонный     | 40                           | 20      | 10        | 10        | 5         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         |           |           |
| Район II      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 52                           | 15      | 8         | 8         | 5         | 3         | 3         | 3         | 3         |           |           |           |
| Промежуточный | 42                           | 18      | 9         | 6         | 5         | 4         | 6         | 5         | 3         | 1         | 1         |           |
| Придонный     | 47                           | 15      | 9         | 5         | 5         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 2         | 2         |
| Район III     |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 38                           | 20      | 18        | 12        | 6         | 6         |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 52                           | 11      | 11        | 6         | 6         | 6         |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 50                           | 14      | 14        | 10        | 6         | 4         | 6         | 2         |           |           |           |           |
| Район IV      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 48                           | 14      | 14        | 9         | 5         | 3         | 3         | 2         | 2         |           |           |           |
| Промежуточный | 50                           | 15      | 10        | 10        | 5         | 3         | 2         | 2         | 2         | 1         |           |           |
| Придонный     | 47                           | 25      | 15        | 8         | 5         |           |           |           |           |           |           |           |
| Район V       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 50                           | 14      | 12        | 7         | 6         | 4         | 2         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| Промежуточный | 60                           | 17      | 10        | 3         | 2         | 2         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| Придонный     | 45                           | 17      | 12        | 8         | 7         | 4         | 2         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |
| Район VI      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 54                           | 17      | 13        | 9         | 4         | 3         |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 60                           | 20      | 10        | 6         | 3         | 1         |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 57                           | 17      | 10        | 7         | 5         | 4         |           |           |           |           |           |           |
| Район VII     |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 41                           | 38      | 12        | 6         | 3         |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 38                           | 42      | 8         | 8         | 4         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 43                           | 35      | 15        | 4         | 3         |           |           |           |           |           |           |           |
| Район VIII    |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 44                           | 22      | 22        | 7         | 5         |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 27                           | 27      | 23        | 18        | 5         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 50                           | 21      | 17        | 7         | 5         |           |           |           |           |           |           |           |
| Район IX      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 34                           | 20      | 15        | 12        | 10        | 5         | 4         |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 35                           | 15      | 13        | 12        | 10        | 6         | 5         | 2         | 2         |           |           |           |

По акватории моря весной фосфаты распределяются довольно равномерно, но, как и зимой, наиболее высокое содержание фосфатов обнаруживается в районе предустьевого взморья Дона, хотя и уменьшенное почти в два раза по сравнению с концентрациями, наблюдавшимися зимой. В средней части взморья концентрация фосфатов снижается, что объясняется, по-видимому, соосаждением их со взвесями.

В изменении содержания фосфатов с глубиной весной отмечаются следующие особенности:

— понижение концентрации в промежуточном слое открытых районов моря по сравнению с концентрацией в поверхностном и придонном слоях моря;

— наиболее существенное увеличение содержания фосфатов у дна в районе предустьевого взморья Кубани (район II).

Ограниченный ряд наблюдений за фосфатами позволяет сделать лишь ориентировочные выводы о характере их распределения в маловодный и многоводный периоды. В районе предустьевого взморья (район IX) и на выходе из Таганрогского залива (район VII) в многоводный период отмечается снижение концентрации фосфатов на 4—7 мкг/л.

В открытой же части моря в многоводный период имеет место некоторое увеличение концентрации фосфатов: на 1—5 мкг/л в районе V и на 6—9 мкг/л в районе VI (табл. 4.12).

Основываясь на результатах и выводах предшествующих исследований, можно считать, что некоторое обогащение вод моря фосфатами в многоводный период в основном является интегральным следствием снижения солености. По мнению исследователей, в настоящее время еще трудно объяс-

Таблица 4.12

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря весной в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт                  | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Район V</b>            |              |                             |                                   |                         |                                           |
| <b>Маловодный период</b>  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 52           | 10,5                        | 9,1                               | 87                      | 8,0—13,0                                  |
| Промежуточный             | 74           | 6,0                         | 5,6                               | 92                      | 4,7—7,3                                   |
| Придонный                 | 53           | 10,0                        | 8,6                               | 83                      | 8,0—12,8                                  |
| <b>Многоводный период</b> |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 71           | 11,3                        | 14,2                              | 126                     | 7,9—14,7                                  |
| Промежуточный             | 61           | 11,4                        | 14,3                              | 126                     | 7,7—15,1                                  |
| Придонный                 | 72           | 13,1                        | 14,5                              | 111                     | 9,7—16,5                                  |
| <b>Район VI</b>           |              |                             |                                   |                         |                                           |
| <b>Маловодный период</b>  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 8            | 4,5                         | 3,4                               | 86                      | 1,9—7,1                                   |
| Придонный                 | 7            | 3,3                         | 2,4                               | 71                      | 1,3—5,3                                   |
| <b>Многоводный период</b> |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 10           | 13,3                        | 10,7                              | 81                      | 6,2—20,4                                  |
| Промежуточный             | 7            | 8,4                         | 6,9                               | 82                      | 2,8—14,0                                  |
| Придонный                 | 11           | 9,7                         | 8,6                               | 89                      | 4,3—15,1                                  |
| <b>Район VII</b>          |              |                             |                                   |                         |                                           |
| <b>Маловодный период</b>  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 14           | 8,6                         | 4,4                               | 51                      | 6,2—11,0                                  |
| Промежуточный             | 10           | 6,5                         | 3,0                               | 47                      | 4,5—8,5                                   |
| Придонный                 | 12           | 7,2                         | 3,5                               | 49                      | 5,1—9,3                                   |
| <b>Многоводный период</b> |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 8            | 4,2                         | 6,5                               | 154                     | 0—9,1                                     |
| Придонный                 | 10           | 2,9                         | 3,7                               | 127                     | 0—5,4                                     |
| <b>Район IX</b>           |              |                             |                                   |                         |                                           |
| <b>Маловодный период</b>  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 17           | 19,1                        | 7,8                               | 41                      | 15,2—23,0                                 |
| Придонный                 | 18           | 20,7                        | 7,9                               | 38                      | 16,9—24,5                                 |
| <b>Многоводный период</b> |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный             | 23           | 12,4                        | 12,7                              | 103                     | 7,0—17,8                                  |
| Придонный                 | 24           | 14,3                        | 14,9                              | 103                     | 8,0—20,5                                  |

Таблица 4.13

Скорость оборачиваемости (цикл/год) соединений азота ( $V_N$ ) и фосфора ( $V_P$ ) в Азовском море в различные периоды его водности. По данным [11]

| Период    | $V_N$ | $V_P$ |
|-----------|-------|-------|
| 1952—1955 | 3,27  | 10,28 |
| 1956—1968 | 3,78  | 11,12 |
| 1969—1976 | 2,17  | 7,76  |
| 1972—1976 | 2,01  | 6,56  |
| 1977—1980 | 2,91  | 12,69 |

нить механизмы, приводящие к уменьшению содержания биогенных веществ при увеличении солености вод моря. Определенную роль, видимо, играет и «разбавляющее» влияние соленых черноморских вод, характеризующихся относительно низким содержанием биогенных веществ [9, 11].

Биологическая продуктивность вод Азовского моря зависит не столько от баланса биогенных соединений, сколько от скорости их внутреннего круговорота. Известно, что для поддержания высокой продукции органического вещества скорость оборачиваемости биогенных веществ оказывается более важным фактором, чем концентрация этих веществ в морской среде [6]. В связи с этим в табл. 4.13 представлена динамика скорости оборачиваемости соединений азота и фосфора в Азовском море в течение 1952—1980 гг. [11]. По сравнению с 1956—1968 гг., характеризующимися довольно низкими показателями средней солености, средние значения  $V_N$  и  $V_P$  в годы наиболее сильного осолонения (1972—1976 гг.) моря сократились почти вдвое—соответственно с 3,78 до 2,01 и с 11,12 до 6,56 цикл/год. В последующий период повышенной водности (1977—1980 гг.) скорость оборачиваемости биогенных веществ повысилась соответственно до 2,91 и 12,69 цикл/год.

Среднемноголетняя концентрация органического фосфора весной в Таганрогском заливе составила около 100 мкг/м<sup>3</sup> при максимальной концентрации 430 мкг/м<sup>3</sup>, минимальной 27 мкг/м<sup>3</sup> (1958 г.); в водах собственно моря среднемноголетняя концентрация органического фосфора составила 60 мкг/м<sup>3</sup> при колебаниях в диапазоне 27 (1952 г.)—117 мкг/м<sup>3</sup> (1969 г.).

Пространственное распределение органического фосфора весной, как правило, аналогично распределению минерального фосфора. При относительно равномерном распределении органического фосфора по акватории моря отмечается локализация его максимальных концентраций в восточной части моря (до 80 мкг/л), что связано с поступлением фосфорсодержащих соединений с водами Кубани. Повышенное содержание этих веществ также обнаруживается в водах Таганрогского залива с максимумом в районе предустьевых взморья Дона (до 100 мкг/л) (рис. 4.3 а).

**Лето.** В этот период интенсивность весеннего фотосинтеза снижается и происходит накопление фосфатов в водной толще по всей акватории Азовского моря. В связи с повышением температуры воды усиливается процесс минерализации органического вещества в придонных слоях моря, что также обуславливает накопление фосфатов у дна. В случаях интенсивного ветрового перемешивания происходит обогащение водной толщи моря фосфатами.

Летом в поверхностном слое различных районов моря концентрация фосфатов колеблется от 8,0 до 16 мкг/л. При этом максимальная концентрация фосфатов обнаруживается в районах предустьевых взморий Кубани и Дона, а также в предпроливном районе III. Летом значительно усиливается влияние черноморских вод, проникающих в Азовское море через Керченский пролив под влиянием преобладающих в этот сезон ветров южного и юго-западного направлений. Так, в открытом районе V моря содержание фосфатов составило около 10 мкг/л, а в районе III оно повысилось до 16 мкг/л



Таблица 4.14

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря летом за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 18           | 13,7                        | 19,3                              | 140                     | 4,3—23,1                                  |
| Придонный         | 14           | 5,6                         | 8,7                               | 154                     | 0,8—10,4                                  |
| <b>Район II</b>   |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 37           | 14,2                        | 15,9                              | 111                     | 8,9—19,5                                  |
| Промежуточный     | 42           | 11,9                        | 12,4                              | 103                     | 8,9—15,8                                  |
| Придонный         | 33           | 10,7                        | 10,6                              | 99                      | 6,9—14,4                                  |
| <b>Район III</b>  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 28           | 16,1                        | 12,9                              | 80                      | 11,1—21,1                                 |
| Промежуточный     | 39           | 14,2                        | 11,3                              | 80                      | 10,5—17,9                                 |
| Придонный         | 24           | 10,3                        | 7,4                               | 71                      | 7,2—13,4                                  |
| <b>Район IV</b>   |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 30           | 7,9                         | 8,8                               | 110                     | 4,6—11,1                                  |
| Промежуточный     | 36           | 7,2                         | 8,1                               | 113                     | 4,5—9,9                                   |
| Придонный         | 29           | 7,9                         | 9,6                               | 122                     | 4,3—11,5                                  |
| <b>Район V</b>    |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 236          | 10,8                        | 11,1                              | 103                     | 9,3—12,2                                  |
| Промежуточный     | 312          | 10,3                        | 11,0                              | 107                     | 9,0—11,5                                  |
| Придонный         | 232          | 14,1                        | 14,9                              | 105                     | 12,1—16,1                                 |
| <b>Район VI</b>   |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 46           | 10,6                        | 14,1                              | 113                     | 6,4—14,8                                  |
| Промежуточный     | 51           | 7,2                         | 8,1                               | 113                     | 4,9—9,5                                   |
| Придонный         | 38           | 7,8                         | 8,4                               | 111                     | 5,0—10,6                                  |
| <b>Район VII</b>  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 64           | 10,9                        | 13,8                              | 125                     | 7,4—14,4                                  |
| Промежуточный     | 54           | 9,0                         | 12,4                              | 136                     | 5,6—12,4                                  |
| Придонный         | 50           | 14,2                        | 13,7                              | 96                      | 10,3—18,1                                 |
| <b>Район VIII</b> |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 44           | 12,5                        | 9,6                               | 77                      | 9,6—15,4                                  |
| Промежуточный     | 18           | 10,3                        | 11,4                              | 111                     | 4,8—15,8                                  |
| Придонный         | 38           | 11,8                        | 10,2                              | 86                      | 8,4—15,2                                  |
| <b>Район IX</b>   |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный     | 81           | 16,1                        | 16,8                              | 104                     | 12,3—19,8                                 |
| Придонный         | 82           | 20,4                        | 20,8                              | 102                     | 15,8—25,0                                 |

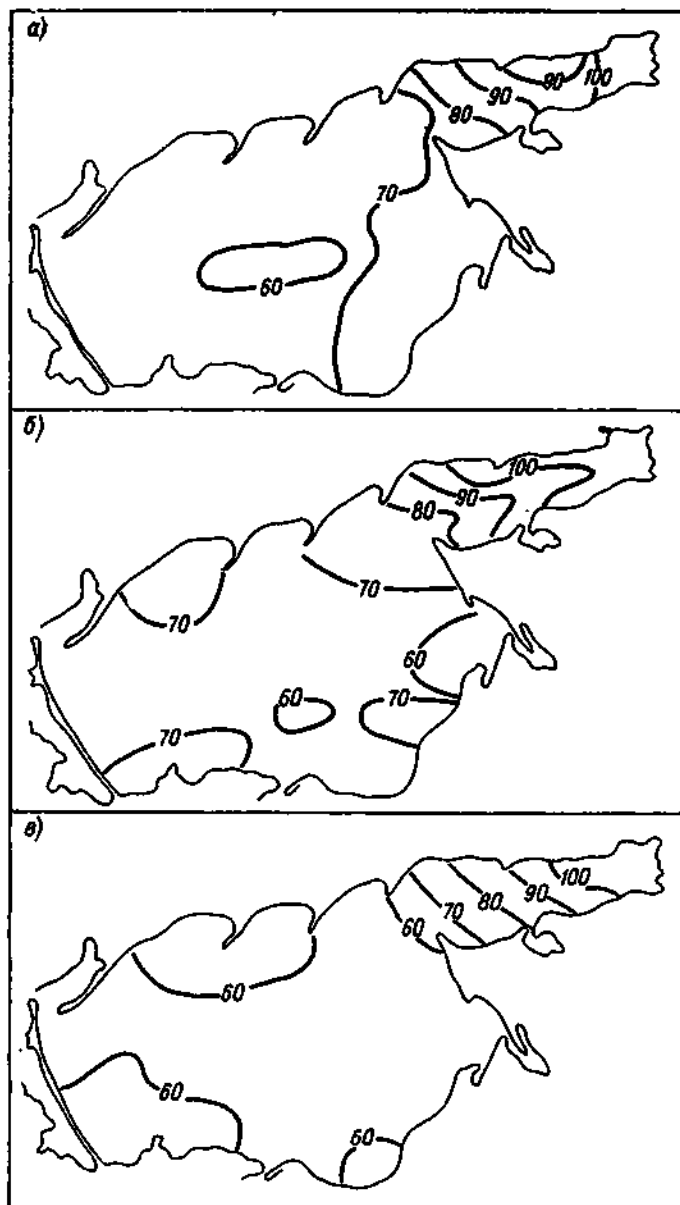


Рис. 4.3. Распределение концентрации (мкг/л) органического фосфора в поверхностном слое моря весной (а), летом (б) и осенью (в) в 1958—1981 гг.

(табл. 4.14). Более 70 % значений, наблюдавшихся в районе V моря, оказывается в диапазоне концентраций 0—15 мкг/л, при этом около 50 % значений находится в диапазоне концентраций 0—5 мкг/л. В то же время около 40 % значений, наблюдавшихся в районах IX и VIII, оказываются в диапазоне концентраций 5—15 мкг/л. Необходимо отметить, что практически все кривые распределения биогенных веществ в различных районах Азовского моря не подчиняются закону нормального распределения (табл. 4.15).

Летом в водах Таганрогского залива и открытой части моря (район V) происходит возрастание концентраций от поверхности ко дну. При этом вертикальные градиенты концентрации фосфатов, наиболее характерные для лета, в среднем не превышали 5 мкг/л. В условиях активизации процессов аэрирования придонных вод в зоне контакта вода—дно получают развитие процессы адсорбции, что обуславливает снижение содержания фосфат-

ного фосфора в пелагиали. В отдельные годы, отличающиеся низким содержанием кислорода, вертикальные градиенты концентрации фосфатов достигают около 100 мкг/л. В периоды стагнаций восстановительные условия, возникающие в контактной зоне, способствуют миграции в воду значительной части обменного фонда фосфора, находящегося в донных осадках [11]. В многоводный период усиливается плотностная стратификация вод моря, создаются условия для дефицита кислорода в придонных горизонтах и, как правило, увеличивается содержание фосфатов с глубиной. Так, в районах V, VI, VII отмечается увеличение в придонных слоях моря концентрации фосфатов в многоводные годы по сравнению с концентрацией в маловодные (табл. 4.16).

Летом в Таганрогском заливе концентрация органического фосфора в среднем за рассматри-

Повторяемость (%) распределения концентрации фосфатов по районам Азовского моря летом

| Горизонт      | Концентрация фосфатов, мкг/л |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0,0—4,9                      | 5,0—9,9 | 10,0—14,9 | 15,0—19,9 | 20,0—24,9 | 25,0—29,9 | 30,0—34,9 | 35,0—39,9 | 40,0—44,9 | 45,0—49,9 | 50,0—54,9 | 55,0—59,9 | 60,0—64,9 | 65,0—69,9 |
| Район I       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 50                           | 17      | 11        | 6         | 4         | 3         | 2         | 2         | 1         | 1         | 1         | 1         | 1         |           |
| Придонный     | 60                           | 13      | 7         | 5         | 4         | 4         | 3         | 2         | 2         | 1         |           |           |           |           |
| Район II      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 38                           | 16      | 14        | 8         | 5         | 5         | 4         | 4         | 3         | 3         |           |           |           |           |
| Промежуточный | 33                           | 19      | 15        | 9         | 9         | 5         | 4         | 3         | 3         | 3         |           |           |           |           |
| Придонный     | 27                           | 27      | 8         | 8         | 5         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 3         | 1         |
| Район III     |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 30                           | 24      | 10        | 10        | 9         | 5         | 4         | 4         | 4         |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 28                           | 15      | 15        | 15        | 13        | 10        | 4         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 27                           | 20      | 19        | 17        | 12        | 4         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Район IV      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 47                           | 20      | 13        | 7         | 7         | 3         | 3         |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 47                           | 27      | 11        | 7         | 5         | 3         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 48                           | 21      | 14        | 7         | 5         | 3         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Район V       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 38                           | 18      | 15        | 8         | 6         | 4         | 3         | 2         | 2         | 2         | 1         | 1         |           |           |
| Промежуточный | 45                           | 16      | 12        | 8         | 6         | 4         | 4         | 2         | 1         | 1         | 1         |           |           |           |
| Придонный     | 35                           | 15      | 14        | 8         | 6         | 5         | 4         | 3         | 3         | 3         | 2         | 1         | 1         |           |
| Район VI      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 48                           | 20      | 13        | 9         | 4         | 3         | 2         | 1         |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 48                           | 19      | 10        | 8         | 6         | 4         | 3         | 2         |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 45                           | 18      | 12        | 10        | 8         | 3         | 2         | 2         |           |           |           |           |           |           |
| Район VII     |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 45                           | 20      | 9         | 6         | 5         | 4         | 3         | 3         | 3         | 2         |           |           |           |           |
| Промежуточный | 52                           | 16      | 14        | 5         | 4         | 3         | 2         | 2         | 1         | 1         |           |           |           |           |
| Придонный     | 31                           | 21      | 12        | 8         | 6         | 6         | 5         | 5         | 4         | 2         |           |           |           |           |
| Район VIII    |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 18                           | 28      | 18        | 10        | 10        | 10        | 3         | 2         | 1         |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 32                           | 23      | 14        | 14        | 6         | 4         | 3         | 2         | 2         |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 16                           | 26      | 26        | 7         | 7         | 7         | 5         | 4         | 2         |           |           |           |           |           |
| Район IX      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 22                           | 27      | 15        | 13        | 6         | 6         | 4         | 4         | 2         | 1         |           |           |           |           |
| Придонный     | 20                           | 20      | 15        | 13        | 10        | 6         | 5         | 4         | 3         | 1         | 1         |           |           |           |

Таблица 4.16

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря летом в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район II           |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный      | 19           | 5,5                         | 9,5                               | 171                     | 1,0—10,0                                  |
| Промежуточный      | 21           | 6,1                         | 6,7                               | 109                     | 3,1—9,1                                   |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный      | 11           | 14,3                        | 12,9                              | 90                      | 6,1—22,5                                  |
| Промежуточный      | 12           | 12,0                        | 12,2                              | 101                     | 4,6—19,3                                  |

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район V            |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный      | 93           | 11,4                        | 10,1                              | 89                      | 9,3—13,5                                  |
| Придонный          | 113          | 9,6                         | 9,5                               | 99                      | 7,8—11,4                                  |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный      | 64           | 10,2                        | 12,0                              | 118                     | 7,2—13,2                                  |
| Промежуточный      | 65           | 10,8                        | 12,0                              | 111                     | 7,8—13,8                                  |
| Придонный          | 61           | 16,8                        | 16,4                              | 98                      | 12,6—21,0                                 |
| Район VI           |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный      | 15           | 7,8                         | 7,2                               | 93                      | 4,0—11,7                                  |
| Промежуточный      | 18           | 9,6                         | 7,8                               | 81                      | 4,0—11,7                                  |
| Придонный          | 13           | 6,7                         | 6,9                               | 103                     | 2,9—10,5                                  |

| Горизонт | Число данных | Средняя концентрация, мг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|----------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
|----------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|

Многоводный период

|               |    |     |     |     |          |
|---------------|----|-----|-----|-----|----------|
| Поверхностный | 11 | 5,9 | 8,2 | 141 | 0,7—11,1 |
| Промежуточный | 11 | 2,9 | 3,5 | 120 | 0,7—5,1  |
| Придонный     | 10 | 9,6 | 8,4 | 98  | 4,0—15,2 |

Район VII

Маловодный период

|               |    |      |      |     |          |
|---------------|----|------|------|-----|----------|
| Поверхностный | 19 | 9,4  | 8,0  | 85  | 5,5—13,2 |
| Промежуточный | 13 | 10,5 | 10,5 | 100 | 4,4—16,6 |
| Придонный     | 18 | 10,2 | 8,3  | 82  | 6,2—14,2 |

Многоводный период

|               |    |      |      |     |          |
|---------------|----|------|------|-----|----------|
| Поверхностный | 25 | 11,2 | 13,0 | 116 | 5,5—16,5 |
| Промежуточный | 24 | 6,0  | 8,0  | 132 | 2,7—9,3  |
| Придонный     | 27 | 15,2 | 15,2 | 100 | 9,2—21,5 |

Район VIII

Маловодный период

|               |    |      |      |    |           |
|---------------|----|------|------|----|-----------|
| Поверхностный | 12 | 14,1 | 7,4  | 52 | 9,7—18,6  |
| Придонный     | 15 | 15,6 | 10,5 | 67 | 10,0—21,2 |

Многоводный период

|               |    |      |     |    |          |
|---------------|----|------|-----|----|----------|
| Поверхностный | 26 | 11,9 | 9,5 | 80 | 8,1—15,7 |
| Придонный     | 22 | 8,8  | 7,9 | 89 | 5,4—12,2 |

Район IX

Маловодный период

|               |    |      |      |    |           |
|---------------|----|------|------|----|-----------|
| Поверхностный | 22 | 24,9 | 12,0 | 48 | 19,7—30,1 |
| Придонный     | 21 | 25,0 | 12,1 | 48 | 19,6—30,4 |

Многоводный период

|               |    |      |      |     |          |
|---------------|----|------|------|-----|----------|
| Поверхностный | 42 | 12,6 | 18,2 | 145 | 6,9—18,3 |
| Придонный     | 37 | 9,7  | 10,4 | 107 | 6,3—13,3 |

ваемый период составила 78 мкг/л, максимальное (177 мкг/л) содержание было зафиксировано в августе 1964 г., минимальное (18 мкг/л) — в 1956 г. В собственно море среднесезонная концентрация органического фосфора составляла 62 мкг/л, максимальная (120 мкг/л) концентрация его была отмечена в августе 1964 г., минимальная (23 мкг/л) в 1978 г.

В основном соединения фосфора в Азовском море находятся в форме органических соединений. Относительное содержание минеральных форм фосфора составляет в среднем 12 % при колебаниях 6—40 %.

Распределение органического фосфора летом практически не изменилось по сравнению с его распределением весной: в водах Таганрогского залива концентрация достигала 100 мкг/л, в открытой части моря колебалась в пределах 60—70 мкг/л (см. рис. 4.3 б).

Осень. По данным АзНИИРХ, осенью среднесезонная концентрация минерального фосфора в Таганрогском заливе составляла 15 мкг/л, максимальная — 50 мкг/л (1956), минимальная — 7 мкг/л (1981). В собственно море среднесезонная концентрация фосфатов составляла 8,5 мкг/л, максимальная — 29 мкг/л (1956), минимальная — 3,9 мкг/л. Средняя многолетняя концентрация фосфатов, полученная для девяти районов Азовского моря сетевыми подразделениями Госкомгидромета СССР, совпадает с аналогичными

характеристиками, полученными для Азовского моря АзНИИРХ.

Осенняя концентрация фосфатов оказывается довольно близкой к летней. Незначительное повышение содержания фосфатов осенью по сравнению с содержанием летом отмечается в районе V моря (табл. 4.17).

Таблица 4.17

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря осенью 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число данных | Средняя концентрация, мг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район I       |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 20           | 7,8                        | 4,2                               | 53                      | 5,1—10,4                                  |
| Промежуточный | 24           | 7,6                        | 6,9                               | 89                      | 2,7—12,5                                  |
| Придонный     | 15           | 12,0                       | 10,0                              | 82                      | 5,7—18,3                                  |
| Район II      |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 22           | 14,3                       | 10,8                              | 85                      | 9,6—19,0                                  |
| Промежуточный | 26           | 13,5                       | 12,4                              | 91                      | 8,5—18,4                                  |
| Придонный     | 22           | 14,8                       | 11,6                              | 79                      | 9,7—19,9                                  |
| Район III     |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 18           | 5,8                        | 5,9                               | 102                     | 2,9—8,7                                   |
| Промежуточный | 22           | 6,7                        | 7,0                               | 104                     | 3,6—9,8                                   |
| Придонный     | 18           | 7,2                        | 8,5                               | 117                     | 3,1—11,3                                  |
| Район IV      |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 21           | 8,6                        | 7,5                               | 87                      | 5,2—12,0                                  |
| Промежуточный | 28           | 7,0                        | 9,1                               | 129                     | 3,5—10,6                                  |
| Придонный     | 24           | 9,1                        | 8,2                               | 89                      | 5,7—12,5                                  |
| Район V       |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 194          | 12,9                       | 14,7                              | 114                     | 10,4—15,0                                 |
| Промежуточный | 252          | 10,2                       | 13,2                              | 129                     | 8,5—11,9                                  |
| Придонный     | 188          | 12,0                       | 13,5                              | 113                     | 10,0—14,0                                 |
| Район VI      |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 34           | 9,4                        | 6,7                               | 72                      | 7,1—11,7                                  |
| Промежуточный | 44           | 9,1                        | 7,8                               | 87                      | 6,7—11,5                                  |
| Придонный     | 35           | 10,6                       | 9,6                               | 91                      | 7,3—13,9                                  |
| Район VII     |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 56           | 10,9                       | 9,0                               | 83                      | 8,5—13,3                                  |
| Промежуточный | 49           | 8,6                        | 8,1                               | 94                      | 6,3—10,9                                  |
| Придонный     | 41           | 10,7                       | 8,4                               | 79                      | 8,0—10,4                                  |
| Район VIII    |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 35           | 14,1                       | 10,4                              | 74                      | 10,5—17,7                                 |
| Промежуточный | 12           | 11,4                       | 6,9                               | 60                      | 7,2—15,6                                  |
| Придонный     | 34           | 12,6                       | 8,5                               | 67                      | 9,6—15,6                                  |
| Район IX      |              |                            |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 72           | 16,7                       | 11,3                              | 68                      | 14,0—19,4                                 |
| Придонный     | 71           | 17,0                       | 11,0                              | 65                      | 14,4—19,6                                 |

По-видимому, осенью продолжается обогащение водной толщи за счет отдачи минерального фосфора из донных осадков, чему способствует ветровое перемешивание, усиливающееся в это время года.

Осенью наиболее высокая концентрация фосфатов прослеживается в районе предустьевых взморий Дона и Кубани. До 50 % значений, наблюдавшихся в районах VIII и IX, оказываются в диапазоне концентраций фосфатов 5—15 мкг/л, в районе V — в диапазоне 0—5 мкг/л (табл. 4.18).

Повторяемость (%) распределения концентрации фосфатов по районам Азовского моря осенью

| Горизонт      | Концентрация фосфатов, мкг/л |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0,0—4,9                      | 5,0—9,9 | 10,0—14,9 | 15,0—19,9 | 20,0—24,9 | 25,0—29,9 | 30,0—34,9 | 35,0—39,9 | 40,0—44,9 | 45,0—49,9 | 50,0—54,9 | 55,0—59,9 | 60,0—64,9 |
| Район I       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 55                           | 36      | 9         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 56                           | 17      | 16        | 11        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 36                           | 15      | 13        | 13        | 12        | 10        |           |           |           |           |           |           |           |
| Район II      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 25                           | 14      | 12        | 12        | 11        | 9         | 5         | 4         | 3         | 3         | 2         |           |           |
| Промежуточный | 28                           | 14      | 14        | 12        | 10        | 6         | 5         | 4         | 3         | 2         | 2         |           |           |
| Придонный     | 22                           | 17      | 17        | 15        | 9         | 4         | 4         | 4         | 4         | 2         | 2         |           |           |
| Район III     |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 53                           | 21      | 10        | 7         | 7         | 4         | 3         | 1         | 1         |           |           |           |           |
| Промежуточный | 54                           | 16      | 12        | 12        | 4         | 2         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 52                           | 21      | 9         | 5         | 3         | 3         | 3         | 2         | 2         |           |           |           |           |
| Район IV      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 37                           | 30      | 20        | 7         | 6         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 57                           | 20      | 11        | 4         | 4         | 4         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 42                           | 20      | 17        | 11        | 10        |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Район V       |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 38                           | 18      | 11        | 7         | 6         | 6         | 5         | 3         | 2         | 2         | 2         | 1         |           |
| Промежуточный | 50                           | 14      | 9         | 9         | 3         | 3         | 3         | 2         | 2         | 2         | 2         | 1         |           |
| Придонный     | 40                           | 15      | 12        | 8         | 8         | 5         | 2         | 4         | 2         | 2         | 1         | 1         |           |
| Район VI      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 32                           | 22      | 22        | 15        | 9         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 37                           | 21      | 18        | 10        | 8         | 5         | 5         | 1         |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 33                           | 18      | 15        | 14        | 13        | 3         | 2         | 2         |           |           |           |           |           |
| Район VII     |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 28                           | 27      | 12        | 11        | 10        | 8         | 4         |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 39                           | 25      | 12        | 8         | 8         | 8         |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 29                           | 27      | 17        | 12        | 10        | 5         |           |           |           |           |           |           |           |
| Район VIII    |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 11                           | 37      | 17        | 14        | 6         | 6         | 3         | 3         | 3         |           |           |           |           |
| Промежуточный | 8                            | 58      | 16        | 16        | 4         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 18                           | 26      | 20        | 15        | 9         | 9         | 3         |           |           |           |           |           |           |
| Район IX      |                              |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 11                           | 26      | 17        | 14        | 14        | 7         | 6         | 2         | 2         | 1         |           |           |           |
| Придонный     | 7                            | 23      | 23        | 16        | 4         | 7         | 10        | 4         | 4         | 2         |           |           |           |

Существенные различия в маловодный и многоводный периоды отмечаются в концентрации фосфатов в районе V. При этом многоводный период отличается наличием более высокой концентрации в этом районе. Для районов Таганрогского залива характерно снижение концентрации фосфатов в многоводный период по сравнению со значениями в маловодный (табл. 4.19).

В результате ветрового перемешивания отмечается однородное распределение фосфатов в водной толще Азовского моря.

Осенью среднегодовья концентрация органического фосфора в Таганрогском заливе составляла 76 мкг/л и в собственно море — 56 мкг/л, причем в отдельные годы концентрация применялась в диапазоне 14—191 и 19—88 мкг/л соответственно. Пространственное распределение органи-

ческого фосфора в водах Азовского моря в октябре 1958—1980 гг. представлено на рис. 4.3 в. Отмечается довольно равномерное распределение органического фосфора по всей акватории моря: 50—60 мкг/л. Максимальная (до 100 мкг/л) концентрация органического фосфора обнаружена в районе предустьевых взморья Дона.

В целом пространственное распределение и сезонная динамика фосфорсодержащих соединений в Таганрогском заливе и в собственно море формируются под воздействием речного стока, продукционных процессов и процессов седиментации. Поэтому сезонный ход концентрации фосфатов в Таганрогском заливе не подчиняется определенной закономерности. В районе V моря максимальное содержание фосфатов отмечается в осенне-зимний период.

Таблица 4.19

Основные статистические характеристики средней концентрации фосфатов в водах Азовского моря в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал $\beta=0,95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| <b>Район V</b>     |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный      | 76           | 13,0                        | 13,1                              | 95                      | 10,0—16,0                           |
| Промежуточный      | 76           | 13,0                        | 11,6                              | 89                      | 10,3—15,7                           |
| Придонный          | 74           | 13,0                        | 11,0                              | 84                      | 10,4—15,6                           |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный      | 18           | 26,5                        | 18,0                              | 38                      | 17,8—35,2                           |
| Промежуточный      | 18           | 14,4                        | 13,1                              | 54                      | 8,0—20,8                            |
| Придонный          | 16           | 25,4                        | 13,6                              | 54                      | 18,4—32,4                           |

|                    |    |      |     |     |           |
|--------------------|----|------|-----|-----|-----------|
| <b>Район VII</b>   |    |      |     |     |           |
| Маловодный период  |    |      |     |     |           |
| Поверхностный      | 27 | 14,6 | 9,4 | 64  | 10,9—18,3 |
| Промежуточный      | 23 | 10,7 | 8,9 | 84  | 6,9—14,5  |
| Придонный          | 26 | 13,7 | 9,4 | 69  | 9,9—17,5  |
| Многоводный период |    |      |     |     |           |
| Поверхностный      | 18 | 4,4  | 3,1 | 71  | 3,6—5,2   |
| Промежуточный      | 14 | 2,7  | 2,3 | 85  | 1,4—4,0   |
| Придонный          | 16 | 4,3  | 4,8 | 112 | 1,8—6,8   |

|                    |    |      |     |    |           |
|--------------------|----|------|-----|----|-----------|
| <b>Район VIII</b>  |    |      |     |    |           |
| Маловодный период  |    |      |     |    |           |
| Поверхностный      | 21 | 16,8 | 8,9 | 53 | 12,8—20,8 |
| Придонный          | 22 | 15,9 | 8,4 | 53 | 12,2—19,6 |
| Многоводный период |    |      |     |    |           |
| Поверхностный      | 11 | 5,9  | 2,5 | 38 | 4,3—7,4   |
| Придонный          | 10 | 5,5  | 3,0 | 54 | 3,5—7,5   |

|                    |    |      |      |    |           |
|--------------------|----|------|------|----|-----------|
| <b>Район IX</b>    |    |      |      |    |           |
| Маловодный период  |    |      |      |    |           |
| Поверхностный      | 30 | 21,2 | 12,9 | 61 | 16,4—26,0 |
| Придонный          | 29 | 19,0 | 10,0 | 57 | 14,9—23,1 |
| Многоводный период |    |      |      |    |           |
| Поверхностный      | 26 | 14,0 | 8,2  | 59 | 10,7—17,3 |
| Придонный          | 25 | 16,9 | 13,0 | 77 | 11,6—22,2 |

#### 4.4. Сезонные изменения концентрации соединений азота

Минеральные и органические формы азота представлены триадой соединений азота: ионов аммония, нитритов и нитратов, в которых азот находится в различной степени окисления. Источниками пополнения неорганическими формами азота в морских водах являются речной сток и атмосферные осадки, переход биогенных веществ из донных отложений при возникновении анаэробных ситуаций, биохимические процессы деструкции и хемосинтеза органического вещества (аммонификация, нитрификация I и II фазы). Уменьшение концентраций различных форм минерального азота обусловлено в основном потреблением азота в процессах фото- и хемосинтеза.

Пространственное распределение минеральной триады азота в целом характеризуется локализа-

цией максимальных концентраций ионов аммония, нитритов и нитратов в Таганрогском заливе, особенно в его устьевой части. Далее в сторону моря концентрация минеральных форм азота постепенно снижается. В море распределение минеральных форм азота отличается пятнистостью. В большинстве случаев максимальная концентрация ионов аммония отмечается в районах, в которых часто возникают ситуации с пониженным содержанием кислорода; максимальная концентрация нитритов и нитратов — в районах, подверженных органическому загрязнению. Скучные сведения о содержании нитритного азота зимой, которыми располагает Госгидромет СССР, свидетельствуют о том, что в открытой части моря, т. е. в районе V, средняя концентрация нитритов колеблется в пределах 3—4 мкг/л. На отдельных станциях этого района концентрация нитритов изменяется от нуля до более 20 мкг/л (табл. 4.20). Распределение характе-

Таблица 4.20

Основные статистические характеристики средней концентрации нитритов в районе V Азовского моря зимой, 1960—1982 гг.

| Горизонт      | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Поверхностный | 25           | 4,29                        | 6,41                              | 149                     | 1,67—6,91                               |
| Промежуточный | 39           | 2,90                        | 5,12                              | 177                     | 1,30—4,56                               |
| Придонный     | 25           | 3,52                        | 5,90                              | 168                     | 1,11—5,93                               |

ристик концентрации нитритов зимой не подчиняется закону нормального распределения. Максимальное число значений концентрации нитритов (до 60—70 %) укладывается в диапазоне 0—2,49 мкг/л (табл. 4.21), что отмечается на всех горизонтах.

Таблица 4.21

Повторяемость (%) распределения концентрации нитритов в районе V Азовского моря зимой

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |          |           |           |             |             |             |
|---------------|---------------------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|               | 0—2,49              | 2,5—4,99 | 5,00—7,49 | 7,50—9,99 | 10,00—12,49 | 12,50—14,99 | 15,00—17,49 |
| Поверхностный | 60                  | 20       | 8         | 4         | 3           | 3           | 2           |
| Промежуточный | 72                  | 10       | 5         | 5         | 3           | 3           | 2           |
| Придонный     | 72                  | 12       | 4         | 5         | 3           | 3           | 2           |

Весна. По данным АзНИИРХ, весной средне-многолетняя концентрация минеральных форм азота в Таганрогском заливе составляла для ионов аммония, нитритов и нитратов соответственно 105, 5 и 153 мкг/л. Минимальная (10 мкг/л) концентрация ионов аммония была обнаружена в 1972 г., а в 1952 г. нитриты и нитраты в воде отсутствовали. Максимальная концентрация ионов аммония была зафиксирована в 1965 г. и составила 236 мкг/л, нитритов — 13 мкг/л в 1969 г. В многолетней динамике минеральной триады азотистых соединений примерно в 50 % случаев доминируют

ионы аммония. Преобладание нитратов в триаде азота приходится на периоды, характеризующиеся развитием в море анаэробных ситуаций (1960—1973, 1977—1981 гг.).

По данным наблюдений 1952—1981 гг., в собственном море весной среднегодовое количество концентрации ионов аммония, нитритов и нитратов составляла соответственно 62,2 и 56 мкг/л. Минимальные концентрации ионов аммония и нитратов отмечались в 1962 г. и составили около 7 мкг/л, а в 1952 г. их присутствие в воде не обнаружено.

Максимальная концентрация минеральных соединений азота наблюдалась в 1981 г. (152 мкг/л для  $N-NH_4^+$ ), в 1967 г. (237 мкг/л для  $N-NO_3^-$ ) и в 1969 г. (20 мкг/л для  $N-NO_2^-$ ). Сумма минерального азота в среднем для периода 1952—1981 гг. составляла 120 мкг/л при колебаниях от 11 (1962 г.) до 304 мкг/л (1981 г.). Преобладание ионов аммония в морской воде отмечено в большинстве случаев, что связано, очевидно, с большим потреблением нитратов в процессе фотосинтеза в море и торможением процесса нитрификации весной.

По данным Госкомгидромета СССР, концентрация нитритов весной за 1960—1981 гг. довольно равномерно распределяется в поверхностных районах моря и составляет 2—4 мкг/л. В то же время в Таганрогском заливе, особенно вблизи устья Дона, содержание нитритов повышается до 12—13 мкг/л (табл. 4.22).

Наиболее высокая концентрация нитритов весной в течение 1982—1985 гг. отмечалась в прибрежной части моря: вблизи Мариуполя до 10—20 мкг/л, в устье Дона — более 30 мкг/л, в устье Кубани — 12 мкг/л, в районе IV — до 14—16 мкг/л (рис. 4.4). В этот же период здесь была отмечена повышенная концентрация нитратов: до 500 мкг/л в устье Кубани, до 400 мкг/л у Мариуполя.

Благодаря весеннему развитию фитопланктона потребление минеральных форм азота весьма существенно возрастает, и содержание нитритов иногда снижается до количества, лимитирующего развитие жизни в море.

Повторяемость распределения концентрации нитритов в районе V, для которого имеется наибольшее число наблюдений, аналогично повторяемости распределения концентрации нитритов в других районах моря, в которых число наблюде-

Таблица 4.22

Основные статистические характеристики средней концентрации в различных районах Азовского моря весной (1960—1981 гг.)

| Горизонт      | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Район I       |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 16           | 2,83                        | 3,33                              | 118                     | 1,11—4,55                           |
| Промежуточный | 5            | 7,66                        | 2,08                              | 27                      | 5,58—9,74                           |
| Придонный     | 13           | 2,97                        | 3,36                              | 113                     | 1,03—4,91                           |
| Район II      |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 35           | 2,26                        | 2,82                              | 125                     | 1,29—3,23                           |
| Промежуточный | 26           | 3,38                        | 4,09                              | 121                     | 1,74—5,02                           |
| Придонный     | 32           | 5,02                        | 5,91                              | 118                     | 2,90—7,14                           |
| Район III     |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 11           | 2,97                        | 3,03                              | 102                     | 1,05—1,92                           |
| Промежуточный | 10           | 2,28                        | 2,82                              | 89                      | 1,00—4,83                           |
| Придонный     | 11           | 3,62                        | 3,42                              | 94                      | 1,46—5,78                           |
| Район IV      |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 24           | 3,23                        | 4,60                              | 142                     | 1,31—5,15                           |
| Промежуточный | 22           | 3,84                        | 4,89                              | 127                     | 1,70—5,98                           |
| Придонный     | 23           | 3,70                        | 3,41                              | 92                      | 2,25—5,15                           |
| Район V       |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 147          | 2,03                        | 3,04                              | 150                     | 1,53—2,53                           |
| Промежуточный | 146          | 2,62                        | 3,07                              | 117                     | 2,11—3,13                           |
| Придонный     | 147          | 3,22                        | 4,17                              | 130                     | 2,53—3,91                           |
| Район VI      |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 28           | 4,42                        | 4,55                              | 103                     | 2,67—6,17                           |
| Промежуточный | 22           | 3,47                        | 3,29                              | 95                      | 2,03—4,91                           |
| Придонный     | 27           | 3,70                        | 2,67                              | 72                      | 2,65—4,75                           |
| Район VII     |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 42           | 4,92                        | 4,36                              | 89                      | 3,56—6,28                           |
| Промежуточный | 18           | 4,58                        | 5,45                              | 130                     | 1,69—7,47                           |
| Придонный     | 41           | 3,92                        | 4,11                              | 105                     | 2,62—3,22                           |
| Район VIII    |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 20           | 5,71                        | 6,02                              | 105                     | 2,95—8,47                           |
| Промежуточный | 10           | 7,31                        | 5,75                              | 79                      | 3,48—11,14                          |
| Придонный     | 19           | 4,37                        | 3,87                              | 88                      | 2,55—6,19                           |
| Район IX      |              |                             |                                   |                         |                                     |
| Поверхностный | 33           | 12,55                       | 14,11                             | 112                     | 7,57—17,54                          |
| Придонный     | 46           | 11,69                       | 13,97                             | 119                     | 7,53—15,85                          |

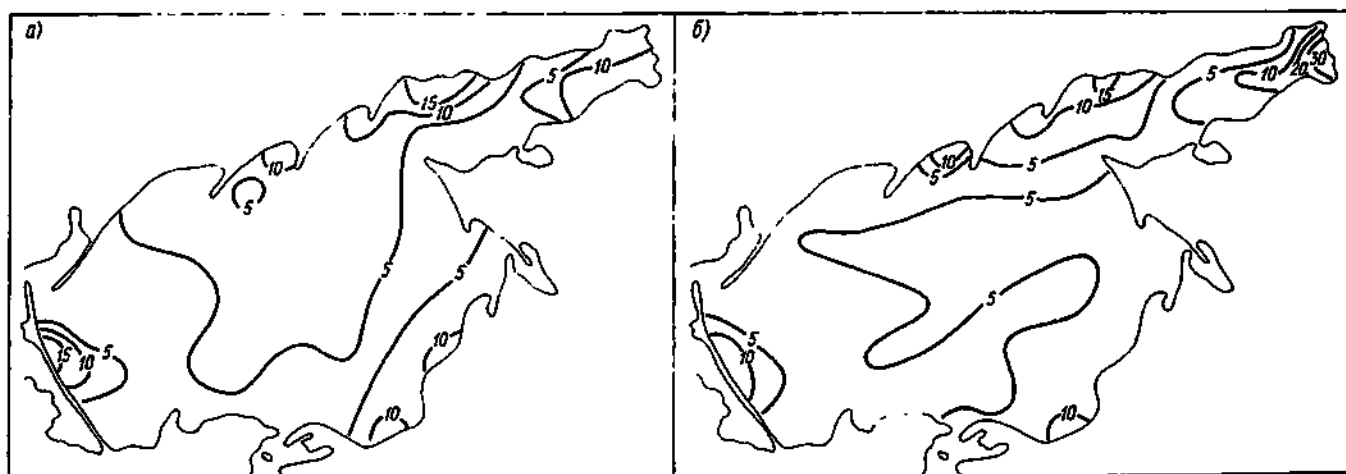


Рис. 4.4. Распределение концентрации (мкг/л) нитритов в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря весной по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

Повторяемость (%) распределения концентрации нитритов по районам Азовского моря весной

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 0,00—2,49           | 2,50—4,99 | 5,00—7,49 | 7,50—9,99 | 10,00—12,49 | 12,50—14,99 | 15,00—17,49 | 17,50—19,99 | 20,00—22,49 | 22,50—24,99 | 25,00—27,49 | 27,50—29,99 | 30,00—32,49 |
| Район II      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 68                  | 14        | 12        | 3         | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           |             |             |             |             |
| Придонный     | 50                  | 16        | 13        | 6         | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           |             |             |             |             |
| Район IV      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 71                  | 8         | 8         | 4         | 4           | 4           | 4           | 1           |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 68                  | 9         | 4         | 4         | 4           | 4           | 3           |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 48                  | 30        | 13        | 4         | 4           | 1           |             |             |             |             |             |             |             |
| Район V       |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 73                  | 15        | 6         | 3         | 2           | 1           |             |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 58                  | 20        | 10        | 6         | 2           | 1           | 1           | 1           | 1           |             |             |             |             |
| Район VI      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 46                  | 25        | 14        | 7         | 4           | 4           |             |             |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 45                  | 23        | 18        | 10        | 4           |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 37                  | 36        | 26        | 4         | 3           |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Район VII     |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 38                  | 24        | 19        | 7         | 5           | 2           | 2           | 2           |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 46                  | 29        | 17        | 5         | 2           | 1           |             |             |             |             |             |             |             |
| Район VIII    |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 45                  | 25        | 10        | 10        | 5           | 5           |             |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 42                  | 26        | 10        | 10        | 7           | 5           |             |             |             |             |             |             |             |
| Район IX      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 33                  | 18        | 9         | 9         | 4           | 4           | 4           | 4           | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           |
| Придонный     | 28                  | 30        | 7         | 6         | 5           | 4           | 4           | 4           | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           |

ний существенно меньше, и это распределение, как правило, мало отличается по вертикали. Весной максимальное число значений концентрации нитритов в районе V (60—70 %) укладывается в диапазоне 0—2,49 мкг/л (табл. 4.23).

Ряды наблюдений за нитритами, полученные для маловодного и многоводного периодов, невелики в различных районах моря. Наиболее существенным этот ряд является для района V: полученные данные наблюдений свидетельствуют о некотором снижении концентрации нитритов в многоводный период по сравнению с ее значением в маловодный. Эта же закономерность была отмечена и для остальных районов моря, которые имеют небольшой ряд наблюдений (табл. 4.24).

Пространственное распределение органического азота характеризуется незначительными вариациями его концентрации по акватории Таганрогского залива и собственно моря при общем тяготении максимальной концентрации к Таганрогскому заливу (рис. 4.5). Весной средняя концентрация органического азота в Таганрогском заливе за 1958—1981 гг. составляла 1010 мкг/л при колебаниях в диапазоне от 520 (1954 г.) до 1400 мкг/л (1981 г.). В собственно море содержание органического азота весной в среднем составляло 900 мкг/л при диапазоне изменений от 460 до 1880 мкг/л.

Лето. По данным АзНИИРХ, летом в Таганрогском заливе среднесезонная концентрация ио-

нов аммония, нитритов и нитратов составляла соответственно 89,1 и 43 мкг/л. Минимальная концентрация ионов аммония—13 мкг/л (1961 г.), максимальная—398 мкг/л (1981 г.). Отсутствие нитритов обнаружено в 1952, 1966, 1967, 1974, 1976, 1977 гг., нитратов—в 1952 г. Максимальные концентрации нитритов и нитратов составляли 7 (1962 г.) и 179 мкг/л (1979 г.) соответственно.

Средняя суммарная концентрация неорганического азота составляла 133 мкг/л при диапазоне изменений концентраций от 18 (1961 г.) до 409 мкг/л (1981 г.). Летом в минеральной триаде доминирует аммонийный азот, что связано, по-видимому, с развитием процессов денитрификации, обусловленных снижением абсолютной концентрации кислорода в воде, а также ослаблением влияния речного стока в этот сезон.

В собственно море среднесезонная концентрация ионов аммония, нитритов и нитратов соответственно составляет 70, 1 и 18 мкг/л. Межгодовые колебания концентрации ионов аммония составили от 11 мкг/л (1963 г.) до 313 мкг/л (1981 г.), нитритов—от 0 (1952, 1953, 1956, 1966, 1977, 1981 гг.) до 10 мкг/л (1962 г.), нитратов от 0 (1952, 1953 гг.) до 106 мкг/л (1972 г.). Суммарная концентрация минерального азота в водах собственно моря составляла 89 мкг/л при изменении межгодовых концентраций в диапазоне от 12 (1961 г.) до 158 мкг/л (1978 г.). Здесь также преобладающее значение имеют ионы аммония, по-

Таблица 4.24

Основные статистические характеристики средней концентрации нитритов в разных районах Азовского моря весной в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 5            | 4,80                        | 3,15                              | 65,60                   | 1,65—7,95                               |
| Придонный          | 5            | 3,84                        | 2,92                              | 75,99                   | 0,92—6,76                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 9            | 3,50                        | 3,70                              | 105,59                  | 0,89—6,11                               |
| Придонный          | 7            | 4,48                        | 3,77                              | 83,98                   | 1,40—7,56                               |
| <b>Район II</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 7            | 6,77                        | 3,45                              | 51,01                   | 3,95—9,59                               |
| Промежуточный      | 6            | 6,16                        | 3,60                              | 58,40                   | 2,94—9,38                               |
| Придонный          | 7            | 5,44                        | 3,95                              | 72,61                   | 2,22—8,66                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 24           | 1,90                        | 1,95                              | 102,40                  | 1,09—2,71                               |
| Промежуточный      | 18           | 1,69                        | 1,97                              | 116,41                  | 0,73—2,65                               |
| Придонный          | 22           | 3,35                        | 3,45                              | 102,93                  | 1,84—4,86                               |
| <b>Район IV</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 5            | 4,06                        | 4,12                              | 101,52                  | 0,00—8,18                               |
| Промежуточный      | 6            | 3,52                        | 3,67                              | 104,48                  | 0,24—6,80                               |
| Придонный          | 5            | 2,88                        | 2,98                              | 103,36                  | 0,00—5,86                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 12           | 1,71                        | 2,64                              | 54,66                   | 0,12—3,30                               |
| Промежуточный      | 9            | 3,22                        | 2,73                              | 84,61                   | 1,93—5,15                               |
| Придонный          | 12           | 3,95                        | 2,65                              | 67,06                   | 2,36—5,55                               |
| <b>Район V</b>     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 38           | 2,07                        | 2,34                              | 113,05                  | 1,30—2,84                               |
| Промежуточный      | 53           | 4,44                        | 3,37                              | 75,88                   | 3,51—5,37                               |
| Придонный          | 38           | 4,30                        | 4,36                              | 101,24                  | 2,87—5,73                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 41           | 2,06                        | 2,45                              | 113,09                  | 1,38—2,93                               |
| Промежуточный      | 28           | 3,86                        | 2,94                              | 75,97                   | 2,73—4,99                               |
| Придонный          | 41           | 3,44                        | 3,52                              | 102,40                  | 2,33—4,55                               |
| <b>Район VI</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 6            | 5,17                        | 4,22                              | 81,67                   | 1,40—8,53                               |
| Промежуточный      | 8            | 4,34                        | 1,96                              | 45,07                   | 2,86—5,82                               |
| Придонный          | 5            | 3,56                        | 2,57                              | 72,22                   | 0,99—6,13                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 15           | 3,53                        | 3,66                              | 103,74                  | 1,57—5,49                               |
| Придонный          | 10           | 2,23                        | 2,87                              | 120,52                  | 0,32—4,14                               |
| <b>Район VII</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 9            | 10,32                       | 6,55                              | 63,46                   | 5,69—14,95                              |
| Промежуточный      | 8            | 7,89                        | 6,57                              | 93,32                   | 2,91—12,87                              |
| Придонный          | 9            | 7,64                        | 6,43                              | 84,12                   | 3,10—12,18                              |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 19           | 5,53                        | 2,08                              | 37,65                   | 4,55—6,51                               |
| Придонный          | 19           | 4,00                        | 2,00                              | 50,02                   | 3,06—4,94                               |

| Горизонт | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

## Район IX

## Маловодный период

|               |    |       |       |       |             |
|---------------|----|-------|-------|-------|-------------|
| Поверхностный | 20 | 22,54 | 14,49 | 64,28 | 15,89—29,19 |
| Придонный     | 13 | 11,77 | 8,14  | 69,12 | 7,07—16,47  |

## Многоводный период

|               |    |      |      |        |            |
|---------------|----|------|------|--------|------------|
| Поверхностный | 21 | 7,29 | 8,43 | 115,69 | 3,52—11,06 |
| Промежуточный | 8  | 4,30 | 3,01 | 69,97  | 2,02—6,58  |
| Придонный     | 23 | 6,79 | 8,32 | 122,65 | 3,24—10,34 |

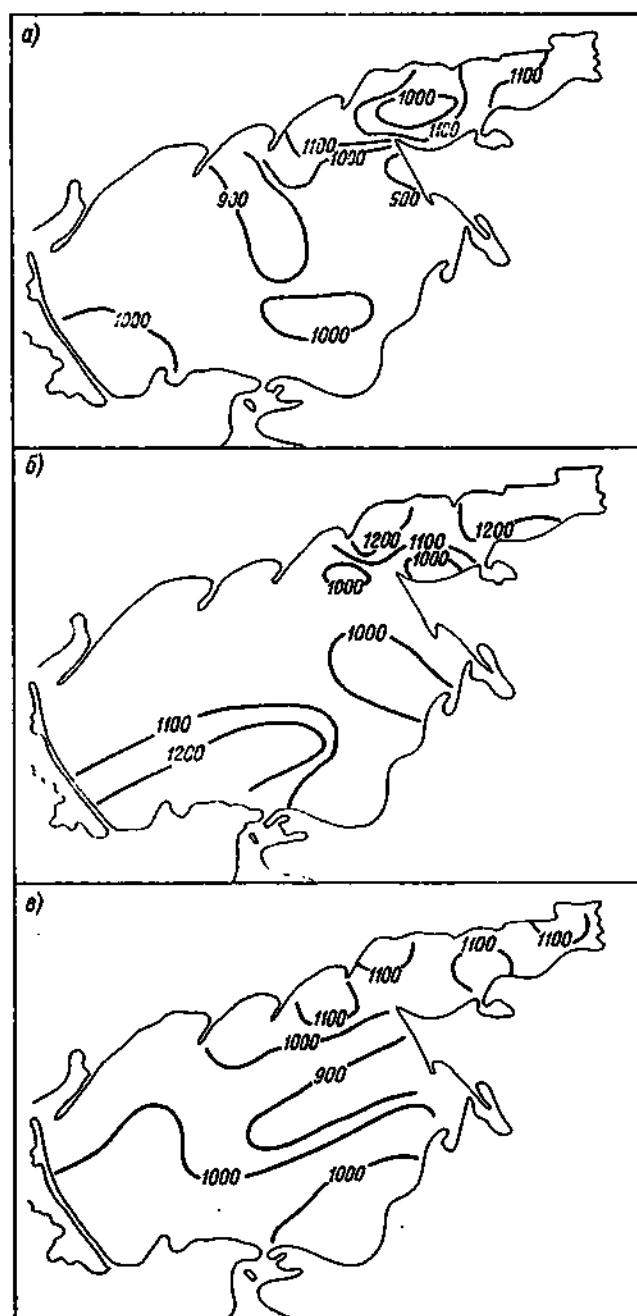


Рис. 4.5. Распределение концентрации (мкг/л) органического азота в поверхностном слое моря весной (а), летом (б) и осенью (в) по данным наблюдений за 1982—1985 гг.



Таблица 4.25

Основные статистические характеристики средней концентрации нитритов в различных районах Азовского моря летом 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район I       |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 15           | 2,35                        | 2,89                              | 123                     | 0,80—3,89                                 |
| Промежуточный | 9            | 4,36                        | 4,72                              | 108                     | 1,02—4,69                                 |
| Придонный     | 15           | 2,41                        | 2,88                              | 119                     | 0,87—3,95                                 |
| Район II      |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 37           | 2,04                        | 2,98                              | 145                     | 1,05—3,03                                 |
| Промежуточный | 41           | 1,84                        | 2,42                              | 131                     | 1,07—2,60                                 |
| Придонный     | 36           | 2,40                        | 2,54                              | 106                     | 1,54—3,26                                 |
| Район III     |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 14           | 2,10                        | 2,52                              | 120                     | 0,70—3,50                                 |
| Придонный     | 12           | 1,42                        | 1,88                              | 132                     | 0,29—2,55                                 |
| Район IV      |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 26           | 2,43                        | 2,65                              | 109                     | 1,37—3,49                                 |
| Промежуточный | 21           | 1,92                        | 2,01                              | 104                     | 1,02—2,82                                 |
| Придонный     | 26           | 2,54                        | 2,90                              | 114                     | 1,38—3,70                                 |
| Район V       |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 168          | 2,53                        | 2,90                              | 114                     | 2,08—2,98                                 |
| Промежуточный | 182          | 2,20                        | 2,45                              | 111                     | 1,84—2,56                                 |
| Придонный     | 169          | 2,95                        | 3,62                              | 122                     | 2,39—3,51                                 |
| Район VI      |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 29           | 1,72                        | 2,47                              | 144                     | 0,79—2,65                                 |
| Промежуточный | 25           | 1,33                        | 2,53                              | 190                     | 0,30—2,36                                 |
| Придонный     | 28           | 2,69                        | 3,16                              | 117                     | 1,47—3,90                                 |
| Район VII     |              |                             |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 72           | 3,95                        | 4,10                              | 104                     | 2,98—4,92                                 |
| Промежуточный | 48           | 3,15                        | 3,24                              | 103                     | 2,21—4,09                                 |
| Придонный     | 70           | 3,90                        | 3,92                              | 100                     | 2,96—4,84                                 |

| Горизонт | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|----------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
|----------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|

## Район VIII

|               |    |      |      |     |           |
|---------------|----|------|------|-----|-----------|
| Поверхностный | 38 | 4,73 | 5,10 | 108 | 3,05—6,41 |
| Промежуточный | 16 | 5,33 | 5,45 | 102 | 2,51—8,15 |
| Придонный     | 38 | 5,22 | 6,10 | 116 | 3,16—7,28 |

## Район IX

|               |    |      |      |     |           |
|---------------|----|------|------|-----|-----------|
| Поверхностный | 67 | 7,15 | 7,91 | 111 | 5,20—9,10 |
| Промежуточный | 26 | 5,66 | 4,41 | 78  | 3,90—7,42 |
| Придонный     | 62 | 7,22 | 7,56 | 105 | 5,28—9,16 |

сколькo усиливается потребление нитратов фитопланктоном и активное развитие получают процессы денитрификации в условиях дефицита кислорода.

По данным Госгидромета СССР, летом среднемноголетняя концентрация нитритов за 1960—1981 гг. снизилась по сравнению с аналогичными данными, полученными в предшествующий сезон (табл. 4.25). В поверхностном слое открытой части моря средняя концентрация нитритов достигала 1,5—2,5 мкг/л, а в отдельных случаях локально — аналитического нуля. Хотя в водах Таганрогского залива концентрация нитритов продолжала оставаться повышенной по сравнению с таковой в других районах Азовского моря, однако здесь она также снизилась в 1,5—2 раза по сравнению со значениями, наблюдавшимися весной. По данным, полученным в 1982—1985 гг., летом в районах IV, V, VI в поверхностном слое количество нитритов оказывается следовым, а нередко достигает и нуля. В то же время локально отмечается повышенная концентрация нитритов: в районе Мариуполя в поверхностном горизонте концентрация нитритов достигает 7—10 мкг/л, в придонном горизонте — 14 мкг/л, в районе устья Кубани — 8 мкг/л (рис. 4.6). В этих же районах обнаруживаются и повышенные концентрации нитратов (100—250 мкг/л).

Распределение нитритов летом практически не отличается от аналогичного их распределения весной (табл. 4.26).

Практически во всех районах Азовского моря летом отмечаются более низкие концентрации

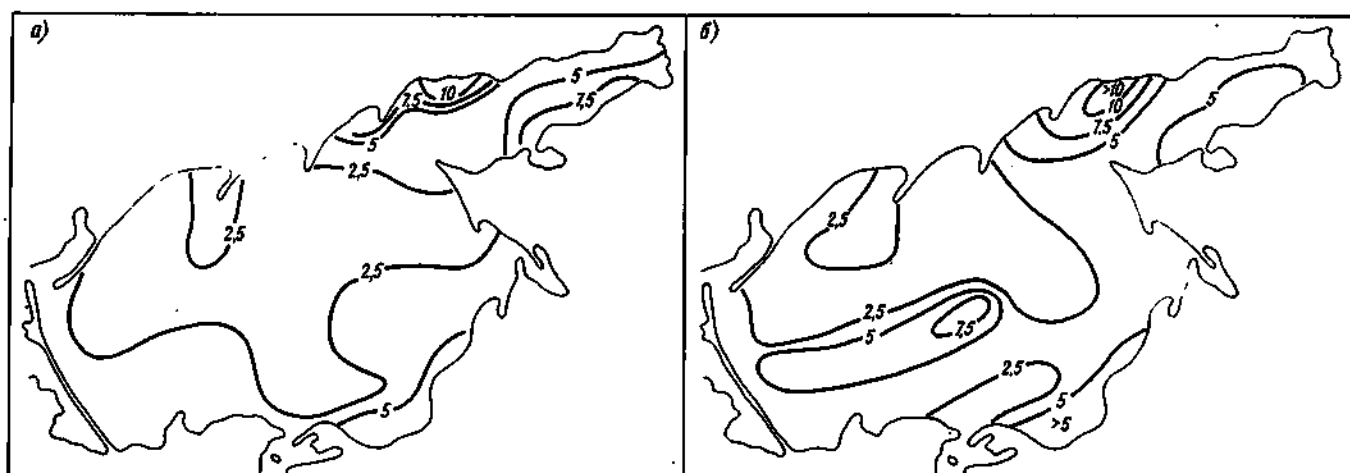


Рис. 4.6. Распределение концентрации (мкг/л) нитритов в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря летом по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

Повторяемость (%) распределения концентрации нитритов по районам Азовского моря летом

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 0-2,49              | 2,50-4,99 | 5,00-7,49 | 7,50-9,99 | 10,00-12,49 | 12,50-14,99 | 15,00-17,49 | 17,50-19,99 | 20,00-22,49 | 22,50-24,99 |
| Район I       |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 60                  | 20        | 13        | 7         |             |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 44                  | 22        | 11        | 11        | 11          | 1           |             |             |             |             |
| Придонный     | 66                  | 13        | 7         | 7         | 7           |             |             |             |             |             |
| Район II      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 76                  | 16        | 5         | 3         | 3           |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 68                  | 22        | 7         | 3         |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 56                  | 28        | 11        | 3         | 2           |             |             |             |             |             |
| Район IV      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 61                  | 23        | 11        | 4         | 1           |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 61                  | 28        | 11        |           |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 65                  | 19        | 8         | 4         | 4           |             |             |             |             |             |
| Район V       |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 60                  | 23        | 10        | 5         | 1           | 1           |             |             |             |             |
| Промежуточный | 59                  | 28        | 10        | 1         | 1           | 1           |             |             |             |             |
| Придонный     | 50                  | 29        | 12        | 4         | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |             |
| Район VI      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 76                  | 13        | 7         | 4         |             |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 84                  | 8         | 4         | 4         |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 61                  | 18        | 11        | 7         | 3           |             |             |             |             |             |
| Район VII     |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 47                  | 26        | 14        | 6         | 3           | 3           | 1           |             |             |             |
| Промежуточный | 56                  | 17        | 17        | 8         | 2           |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 51                  | 21        | 11        | 8         | 6           | 1           | 1           | 1           |             |             |
| Район VIII    |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 39                  | 29        | 13        | 8         | 3           | 3           | 2           | 2           | 1           |             |
| Промежуточный | 38                  | 19        | 12        | 12        | 12          | 5           | 2           |             |             |             |
| Придонный     | 50                  | 17        | 11        | 6         | 6           | 3           | 3           | 3           | 2           |             |
| Район IX      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 28                  | 21        | 19        | 10        | 7           | 5           | 4           | 3           | 2           | 1           |
| Промежуточный | 35                  | 21        | 12        | 8         | 8           | 8           | 8           |             |             |             |
| Придонный     | 27                  | 21        | 16        | 16        | 5           | 5           | 4           | 3           | 2           | 1           |

нитритов в многоводный период по сравнению с концентрацией в маловодный. Наиболее отчетливо это различие прослеживается в районах V, VI и IX (табл. 4.27).

Летом концентрация органического азота в водах Таганрогского залива, как правило, возрастает и в среднем составляет 1200 мкг/л при изменении концентраций от 510 мкг/л (1958 г.) до 1940 мкг/л (1979 г.).

В водах собственно моря средняя концентрация органического азота также несколько повышается и оценивается в 1000—1100 мкг/л при изменении межгодовых концентраций в диапазоне 420—1650 мкг/л (рис. 4.5).

Осень. По данным АзНИИРХ, осенью в Таганрогском заливе средняя концентрация ионов аммония уменьшается до 73 мкг/л, а нитритов и нитратов увеличивается соответственно до 6 и 76 мкг/л. Осенью минимальная концентрация ионов аммония была зафиксирована в 1960 г. и составила 17 мкг/л, максимальная—128 мкг/л (1955 г.). Минимальная (0,1 мкг/л) концентрация

нитритов отмечена в 1978 г., максимальная (36 мкг/л)—в 1963 г. Минимальная (4 мкг/л) концентрация нитратов зафиксирована в 1974 г., максимальная (186 мкг/л)—в 1962 г. Средняя за период наблюдений суммарная концентрация минерального азота составляла 156 мкг/л при изменениях в диапазоне от 26 до 270 мкг/л. В триаде минеральных соединений азота осенью, как правило, преобладают нитраты. Это связано с тем, что процессы потребления нитратов при фотосинтезе в этот сезон года значительно замедляются.

В собственно Азовском море осенью средняя концентрация ионов аммония составляла 44 мкг/л, минимальная—11 мкг/л (1960 г.) и максимальная—89 мкг/л (1980 г.). Средняя концентрация нитритов оказалась равной 3 мкг/л при колебаниях от нуля (1979 г.) до 8 мкг/л (1958 г.). Средняя концентрация нитратов в рассматриваемый период была равной 27 мкг/л при колебаниях концентрации минеральных форм азота от 4 (1957 г.) до 167 мкг/л (1966 г.). Суммарная концентрация азота в водах собственно моря была 74 мкг/л

Таблица 4.27

Статистические характеристики концентрации нитритов в районах Азовского моря летом в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район II</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 15           | 4,11                        | 3,64                              | 88,58                   | 2,16—6,05                               |
| Придонный          | 15           | 4,45                        | 2,83                              | 63,55                   | 2,94—5,96                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 15           | 4,34                        | 3,36                              | 47,55                   | 2,54—6,14                               |
| Придонный          | 15           | 1,47                        | 1,75                              | 119,15                  | 0,54—2,40                               |
| <b>Район IV</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 9            | 3,88                        | 1,37                              | 35,33                   | 2,91—4,85                               |
| Промежуточный      | 9            | 3,41                        | 1,67                              | 49,04                   | 2,23—4,59                               |
| Придонный          | 9            | 3,84                        | 1,64                              | 68,66                   | 1,97—5,70                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 6            | 1,38                        | 1,97                              | 142,17                  | 0,00—3,14                               |
| Придонный          | 6            | 0,75                        | 1,68                              | 223,61                  | 0,00—2,25                               |
| <b>Район V</b>     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 61           | 3,79                        | 2,62                              | 68,66                   | 3,11—4,47                               |
| Промежуточный      | 61           | 3,51                        | 2,28                              | 65,02                   | 2,92—4,10                               |
| Придонный          | 59           | 3,76                        | 2,24                              | 59,00                   | 3,17—4,35                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 49           | 1,17                        | 2,06                              | 176,70                  | 0,58—1,76                               |
| Промежуточный      | 48           | 1,56                        | 2,36                              | 151,70                  | 0,87—2,25                               |
| Придонный          | 50           | 3,37                        | 2,35                              | 158,96                  | 2,70—4,04                               |
| <b>Район VI</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 10           | 3,24                        | 2,37                              | 73,17                   | 1,66—4,82                               |
| Промежуточный      | 8            | 3,35                        | 3,66                              | 109,13                  | 0,58—6,12                               |
| Придонный          | 10           | 4,01                        | 2,10                              | 52,44                   | 2,61—5,41                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 11           | 2,18                        | 2,81                              | 128,91                  | 0,40—3,96                               |
| Промежуточный      | 13           | 1,22                        | 1,37                              | 112,34                  | 0,43—2,01                               |
| <b>Район VII</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 20           | 3,62                        | 4,10                              | 113,31                  | 1,74—5,50                               |
| Промежуточный      | 8            | 4,08                        | 4,60                              | 112,91                  | 0,60—7,56                               |
| Придонный          | 20           | 4,00                        | 3,57                              | 89,24                   | 2,36—5,64                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 28           | 3,90                        | 3,10                              | 79,35                   | 2,71—5,09                               |
| Промежуточный      | 20           | 2,71                        | 3,15                              | 116,28                  | 1,27—4,15                               |
| Придонный          | 29           | 3,32                        | 3,14                              | 94,81                   | 2,13—4,51                               |
| <b>Район IX</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 26           | 9,54                        | 6,30                              | 66,01                   | 7,02—12,06                              |
| Придонный          | 23           | 9,33                        | 6,47                              | 69,39                   | 6,57—12,09                              |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 29           | 6,88                        | 7,13                              | 106,84                  | 3,99—9,38                               |
| Промежуточный      | 7            | 3,47                        | 2,82                              | 52,59                   | 1,17—5,77                               |
| Придонный          | 35           | 7,81                        | 8,88                              | 113,72                  | 4,76—10,86                              |

при изменении от 20 мкг/л (1960 г.) до 241 мкг/л (1973 г.), причем в большинстве случаев в суммарном содержании минеральных форм азота отмечалось преобладание ионов аммония, что, по-видимому, в значительной мере объясняется торможением осенью процессов нитрификации.

По данным Госкомгидромета СССР, осенью 1960—1981 гг. концентрация нитритов по сравнению с ее значением летом повышается по всему морю. Накопление нитритов в это время года происходит в результате интенсивного разложения органического вещества у дна. Наибольшая концентрация нитритов осенью отмечается в районе устья Дона (табл. 4.28). Здесь она превышает их концентрацию в других районах моря в 1,5—2 раза.

Результаты исследований (1982—1985 гг.) свидетельствуют также о том, что концентрация

Таблица 4.28

Основные статистические характеристики средней концентрации нитритов в различных районах Азовского моря осенью 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 7            | 5,56                        | 4,25                              | 76                      | 2,09—9,03                               |
| Промежуточный     | 7            | 6,20                        | 4,81                              | 78                      | 2,27—10,12                              |
| Придонный         | 7            | 6,34                        | 5,02                              | 79                      | 2,24—10,43                              |
| <b>Район II</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 11           | 3,38                        | 2,07                              | 61                      | 2,07—4,69                               |
| Промежуточный     | 13           | 5,47                        | 4,74                              | 87                      | 2,73—8,21                               |
| Придонный         | 11           | 2,92                        | 1,89                              | 65                      | 1,72—4,12                               |
| <b>Район III</b>  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 9            | 2,61                        | 2,83                              | 108                     | 0,61—4,61                               |
| Промежуточный     | 12           | 3,18                        | 3,17                              | 100                     | 1,27—5,09                               |
| Придонный         | 9            | 2,69                        | 3,26                              | 121                     | 0,30—4,99                               |
| <b>Район IV</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 14           | 4,59                        | 5,31                              | 116                     | 1,64—7,54                               |
| Придонный         | 16           | 4,89                        | 5,34                              | 109                     | 2,13—7,65                               |
| <b>Район V</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 71           | 3,91                        | 4,00                              | 102                     | 2,95—4,86                               |
| Промежуточный     | 92           | 4,37                        | 4,37                              | 100                     | 3,45—5,29                               |
| Придонный         | 72           | 4,19                        | 3,94                              | 94                      | 3,26—5,12                               |
| <b>Район VI</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 23           | 3,96                        | 3,58                              | 90                      | 2,43—5,49                               |
| Промежуточный     | 21           | 3,37                        | 2,98                              | 88                      | 2,04—4,70                               |
| Придонный         | 23           | 3,89                        | 3,87                              | 99                      | 2,24—5,54                               |
| <b>Район VII</b>  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 39           | 3,78                        | 4,71                              | 125                     | 2,26—5,31                               |
| Промежуточный     | 35           | 3,60                        | 5,47                              | 152                     | 1,72—5,48                               |
| Придонный         | 41           | 5,26                        | 5,37                              | 102                     | 3,56—6,96                               |
| <b>Район VIII</b> |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 24           | 4,98                        | 2,97                              | 60                      | 3,74—6,22                               |
| Промежуточный     | 7            | 6,81                        | 5,09                              | 75                      | 2,66—10,96                              |
| Придонный         | 24           | 5,11                        | 3,43                              | 67                      | 3,68—6,54                               |
| <b>Район IX</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 53           | 8,00                        | 7,08                              | 88                      | 6,04—9,96                               |
| Промежуточный     | 16           | 6,29                        | 3,67                              | 58                      | 4,36—8,19                               |
| Придонный         | 55           | 7,15                        | 6,71                              | 82                      | 5,33—8,98                               |

Повторяемость (%) распределения концентраций нитритов по районам Азовского моря осенью

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 0—2,49              | 2,50—4,99 | 5,00—7,49 | 7,50—9,99 | 10,00—12,49 | 12,50—14,99 | 15,00—17,49 | 17,50—19,99 | 20,00—22,49 | 22,50—24,99 |
| Район V       |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 42                  | 24        | 15        | 8         | 4           | 3           | 2           | 2           |             |             |
| Придонный     | 42                  | 26        | 14        | 10        | 4           | 3           | 1           |             |             |             |
| Район VI      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 48                  | 17        | 17        | 13        | 5           |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 47                  | 28        | 15        | 10        |             |             |             |             |             |             |
| Придонный     | 39                  | 30        | 9         | 9         | 9           | 4           |             |             |             |             |
| Район VII     |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 51                  | 18        | 10        | 8         | 5           | 3           | 2           |             |             |             |
| Промежуточный | 57                  | 20        | 8         | 3         | 3           | 3           | 3           | 3           |             |             |
| Придонный     | 34                  | 24        | 22        | 5         | 5           | 4           | 2           | 2           | 2           |             |
| Район VIII    |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 29                  | 38        | 17        | 12        | 4           |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 14                  | 28        | 16        | 14        | 14          | 14          |             |             |             |             |
| Придонный     | 17                  | 46        | 21        | 8         | 6           | 2           |             |             |             |             |
| Район IX      |                     |           |           |           |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 17                  | 19        | 21        | 19        | 13          | 4           | 2           | 2           | 2           | 1           |
| Промежуточный | 19                  | 31        | 19        | 13        | 12          | 4           | 2           |             |             |             |
| Придонный     | 20                  | 18        | 27        | 12        | 8           | 4           | 4           | 3           | 2           | 2           |

нитритов весьма существенно возрастает осенью по сравнению с ее значением летом, особенно в прибрежных районах Таганрогского залива. При этом наблюдается довольно однородное распределение нитритов в толще вод различных районов Азовского моря (рис. 4.7).

Более 80 % значений, полученных для района V осенью, относятся к довольно широкому диапазону 0—7,5 мкг/л. В районе предустьевое взморья Дона повторяемость распределения концентрации нитритов также не подчиняется закону нормального распределения, но отличается от распределения концентрации нитритов в районе V. В районе IX более 80 % значений нитритов равномерно укладывается в диапазоне пяти градаций, охватывающих концентрации 0—12,5 мкг/л (табл. 4.29).

Осенью в водах Таганрогского залива наблюдается незначительное уменьшение концентрации органического азота: в среднем до 1050 мкг/л при межгодовых колебаниях от 440 до 1660 мкг/л. В водах открытой части моря концентрация органического азота в среднем за 30-летний период составила 1210 мкг/л, минимальная (480 мкг/л) наблюдалась в 1955 г., а максимальная (2050 мкг/л) — в 1958 г.

Наиболее полные исследования распределения органического азота проводились осенью в течение 1958—1980 гг. Результаты этих исследований были обобщены и представлены на рис. 4.5 в. В собственно море в сезонном аспекте наблюдается постепенное увеличение концентрации органического азота от весны к осени.

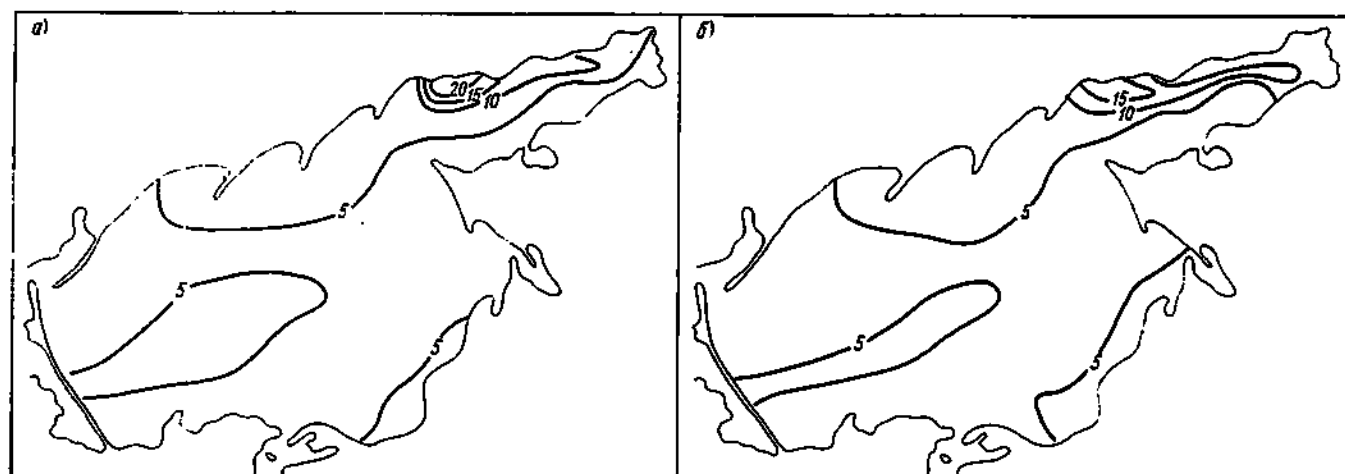


Рис. 4.7. Распределение концентрации (мкг/л) нитритов в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря осенью по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

#### 4.5. Сезонные изменения концентрации кремниевой кислоты

Таблица 4.30

Основные статистические характеристики средней концентрации силикатов в районах Азовского моря зимой 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район I       |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 7            | 464                         | 301                               | 65                      | 218—709                                 |
| Промежуточный | 8            | 417                         | 263                               | 63                      | 217—616                                 |
| Придонный     | 9            | 457                         | 293                               | 64                      | 258—663                                 |
| Район III     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 9            | 695                         | 205                               | 29                      | 550—840                                 |
| Промежуточный | 15           | 725                         | 271                               | 37                      | 580—870                                 |
| Придонный     | 9            | 754                         | 255                               | 34                      | 574—934                                 |
| Район IV      |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 11           | 606                         | 318                               | 52                      | 405—808                                 |
| Промежуточный | 16           | 640                         | 342                               | 53                      | 463—816                                 |
| Придонный     | 8            | 532                         | 258                               | 48                      | 336—728                                 |
| Район V       |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 73           | 607                         | 385                               | 63                      | 516—698                                 |
| Промежуточный | 128          | 657                         | 403                               | 62                      | 575—728                                 |
| Придонный     | 73           | 653                         | 416                               | 63                      | 555—751                                 |
| Район VI      |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 18           | 685                         | 387                               | 52                      | 512—858                                 |
| Промежуточный | 24           | 661                         | 229                               | 45                      | 537—786                                 |
| Придонный     | 14           | 736                         | 403                               | 55                      | 512—960                                 |
| Район VII     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 6            | 641                         | 430                               | 51                      | 457—1224                                |
| Придонный     | 73           | 653                         | 416                               | 64                      | 555—751                                 |
| Район VIII    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 8            | 934                         | 415                               | 44                      | 620—1248                                |
| Промежуточный | 8            | 901                         | 382                               | 42                      | 611—1190                                |
| Придонный     | 8            | 881                         | 473                               | 54                      | 523—1239                                |

Таблица 4.31

Повторяемость (%) распределения концентрации силикатов в Азовском море зимой в районе V

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |         |         |         |          |           |           |           |
|---------------|---------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0—200               | 201—400 | 401—600 | 601—800 | 801—1000 | 1001—1200 | 1201—1400 | 1401—1600 |
| Поверхностный | 12                  | 23      | 15      | 15      | 17       | 11        | 7         |           |
| Промежуточный | 9                   | 25      | 20      | 11      | 9        | 10        | 11        | 5         |
| Придонный     | 15                  | 11      | 23      | 11      | 18       | 11        | 7         | 4         |

тельствует высокая концентрация кремния в районе предустьевого взморья Дона (более 2000 мкг/л в районе IX), содержание кремниевой кислоты в различных районах Азовского моря существенно снижается по сравнению с ее содержанием зимой. Так, в районе V содержание кремния уменьшается в 1,5—2 раза. В районе предустьевого взморья Кубани весной содержание кремния также невелико. В предпроливном районе III его содержание снизилось по сравнению с содержанием зимой, но по сравнению с содержанием в других районах моря продолжало оставаться повышенным (табл. 4.32).

В морской воде кремний находится преимущественно в растворенном состоянии в виде метакремниевой кислоты. Кроме того, он присутствует в коллоидных растворах в виде сложных частиц поликремниевых кислот. Изменчивость концентраций кремния в природной воде в основном зависит от процессов жизнедеятельности диатомовых водорослей и их деструкции. В отличие от фосфатов и нитритов, которые нередко потребляются фитопланктоном почти полностью, полного потребления кремниевой кислоты, как правило, не наблюдается.

Пространственное распределение кремниевой кислоты подчиняется тем же закономерностям, которые отмечены для азота и фосфора. Максимальная (более 1000 мкг/л) концентрация кремниевой кислоты зафиксирована в восточной части Таганрогского залива, минимальная (менее 300 мкг/л) — в собственно море.

Фактором, определяющим пространственное распределение кремниевой кислоты, является ее поступление с речными водами. Закономерности сезонной динамики определяются сезонным развитием диатомовых водорослей, которые являются главными потребителями кремниевой кислоты в Азовском море.

**Зима.** Изучение распределения силикатов в море зимой проводилось эпизодически. Наибольшее количество наблюдений было сделано в районе V.

Следует отметить, что зимой содержание кремния было довольно высоким: в отдельных районах моря средняя концентрация кремния по всей водной толще составляла 400—1000 мкг/л. Максимальная концентрация кремния отмечается в водах Таганрогского залива, а также в придонном слое предпроливного района III (табл. 4.30). Вынос кремния с донскими водами способствует повышению его содержания в водах Таганрогского залива. В предпроливном районе на повышение концентрации кремния оказывают влияние поступающие в результате водообмена черноморские воды, более богатые силикатами, чем воды Азовского моря. Повышенное содержание кремния в других районах моря можно объяснить относительно малым потреблением их фитопланктоном зимой, а довольно равномерное распределение в толще — поступлением из придонных горизонтов в вышележащие слои моря за счет зимнего ветрового перемешивания. Можно принять, что кремний практически равномерно распределяется в водной толще; его концентрация слегка повышается в промежуточном и придонном горизонтах (районы III, V, VI).

В районе V кривая распределения силикатов зимой характеризуется следующим: концентрация силикатов равномерно распределяется по шести грациям, которые охватывают диапазон 0—1200 мкг/л с невыраженным пиком значений для концентраций 200—400 мкг/л в поверхностном и промежуточном горизонтах и для концентраций 400—600 мкг/л в придонном горизонте (табл. 4.31).

**Весна.** Весной наступает бурное развитие диатомовых водорослей, в результате которого происходит интенсивное потребление кремния. Несмотря на то что с увеличением речного стока поступление кремния значительно возрастает, о чем свиде-

Таблица 4.32

Основные статистические характеристики средней концентрации силикатов в районах Азовского моря весной 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 7            | 406                         | 333                               | 82                      | 218—599                                 |
| Промежуточный     | 8            | 387                         | 297                               | 76                      | 219—543                                 |
| Придонный         | 9            | 415                         | 294                               | 70                      | 207—624                                 |
| <b>Район II</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 17           | 400                         | 312                               | 78                      | 244—556                                 |
| Промежуточный     | 14           | 450                         | 293                               | 65                      | 287—613                                 |
| Придонный         | 14           | 476                         | 307                               | 65                      | 305—647                                 |
| <b>Район III</b>  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 12           | 589                         | 352                               | 60                      | 376—802                                 |
| Промежуточный     | 14           | 535                         | 308                               | 57                      | 364—706                                 |
| Придонный         | 12           | 572                         | 246                               | 43                      | 424—720                                 |
| <b>Район IV</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 16           | 411                         | 267                               | 65                      | 273—549                                 |
| Промежуточный     | 17           | 328                         | 188                               | 57                      | 234—422                                 |
| Придонный         | 17           | 373                         | 249                               | 67                      | 249—498                                 |
| <b>Район V</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 150          | 333                         | 215                               | 65                      | 297—368                                 |
| Придонный         | 122          | 488                         | 342                               | 76                      | 386—511                                 |
| <b>Район VI</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 37           | 596                         | 490                               | 82                      | 327—759                                 |
| Промежуточный     | 21           | 614                         | 768                               | 125                     | 271—959                                 |
| Придонный         | 31           | 533                         | 363                               | 68                      | 400—665                                 |
| <b>Район VIII</b> |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 33           | 610                         | 521                               | 85                      | 426—794                                 |
| Промежуточный     | 17           | 702                         | 582                               | 83                      | 411—993                                 |
| Придонный         | 27           | 601                         | 519                               | 86                      | 398—805                                 |
| <b>Район IX</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 61           | 2237                        | 1664                              | 74                      | 1827—2647                               |
| Промежуточный     | 63           | 1779                        | 1323                              | 74                      | 1443—2115                               |
| Придонный         | 66           | 1787                        | 1311                              | 73                      | 1462—2113                               |

Весной содержание кремния в море увеличивается от поверхности ко дну в районе V. В Таганрогском заливе и особенно в устье Дона повышенная концентрация кремния обнаруживалась в поверхностном горизонте, что, как правило, обусловлено влиянием стокового течения донских вод. Пространственное распределение кремния весной в поверхностном и придонном слоях моря, обобщенное по материалам наблюдений 1958—1983 гг., представлено на рис. 4.8.

Полученные кривые распределения значений силикатов не подчиняются закону нормального распределения. В районе V в поверхностном горизонте более 40 % значений относятся к диапазону концентраций 200—400 мкг/л, более 30 % значений — к диапазону концентраций 400—1000 мкг/л и 25 % значений — к диапазону концентраций 0—200 мкг/л (табл. 4.33).

Многоводный период характеризуется повышением концентраций кремния в водах Азовского моря почти в два раза по сравнению с концентрациями кремния наблюдавшимися весной в период маловодья (табл. 4.34).

**Лето.** Увеличение концентрации кремниевой кислоты летом наблюдается во всех районах моря в результате минерализации органических остатков и поступления кремния из донных отложений. Известно, что в теплое время года развитие диатомовых водорослей прекращается и в связи с этим скорость процесса регенерации кремния превышает скорость его потребления. В поверхностном горизонте различных районов открытой части моря отмечается довольно однородное распределение концентрации кремния: от 560 до 680 мкг/л. Она оказывается в 1,5—2 раза выше его концентрации, наблюдавшейся весной. Исключение составляет район III, в котором концентрации кремния весной и летом оказываются практически одинаковыми. При этом необходимо отметить, что коэффициенты вариации, характеризующие изменчивость концентрации кремния, оказываются ниже аналогичных показателей для фосфатов и нитритов и практически не меняются от весны к лету (районы II, III, V) (табл. 4.35).

Наиболее высокая концентрация кремния была отмечена и в водах Таганрогского залива, где летом она возросла в 1,5—2 раза. Коэффициент вариации для кремния в районе VII летом равен 80—100 %, а весной — 50—60 %, т. е. изменчивость концентрации кремния в водах Таганрогского залива летом значительно увеличивается.

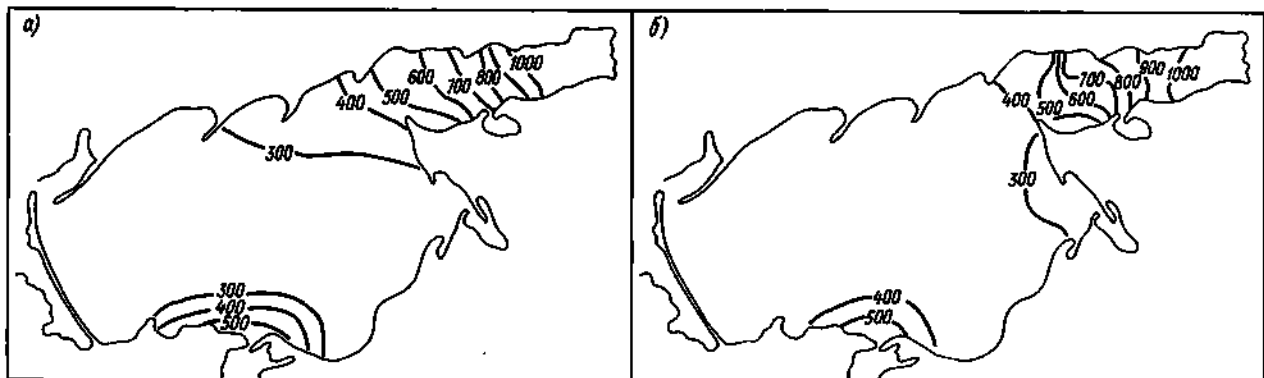


Рис. 4.8. Распределение концентрации (мкг/л) кремниевой кислоты в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря весной по данным наблюдений за 1958—1983 гг.

Таблица 4.33

Повторяемость (%) распределения концентрации силикатов в различных районах Азовского моря весной

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|---------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0—200               | 201—400 | 401—600 | 601—800 | 801—1000 | 1001—1200 | 1201—1400 | 1401—1600 | 1601—1800 | 1801—2000 | 2001—2200 | 2201—2400 | 2401—2600 |
| Район V       |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 25                  | 42      | 19      | 11      | 3        |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 25                  | 27      | 21      | 13      | 7        | 3         | 2         | 1         | 1         |           |           |           |           |
| Район VII     |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 16                  | 19      | 22      | 13      | 13       | 11        | 3         | 3         |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 14                  | 24      | 28      | 10      | 9        | 5         | 5         | 5         |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 10                  | 19      | 26      | 23      | 16       | 3         | 3         |           |           |           |           |           |           |
| Район VIII    |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 15                  | 28      | 24      | 9       | 6        | 6         | 3         | 3         | 3         | 3         |           |           |           |
| Промежуточный | 17                  | 23      | 12      | 12      | 6        | 6         | 6         | 6         | 6         | 6         |           |           |           |
| Придонный     | 26                  | 15      | 22      | 11      | 7        | 4         | 7         | 4         | 4         |           |           |           |           |
| Район IX      |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный |                     |         | 5       | 10      | 15       | 20        | 14        | 7         | 7         | 6         | 4         | 4         | 4         |
| Промежуточный |                     |         | 5       | 10      | 17       | 18        | 17        | 8         | 7         | 6         | 4         | 4         | 4         |
| Придонный     |                     |         | 10      | 10      | 17       | 17        | 13        | 8         | 7         | 6         | 4         | 4         | 4         |

Таблица 4.34

Основные статистические характеристики средней концентрации силикатов в районах Азовского моря в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды весной

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район V            |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 36           | 342                         | 183                               | 54                      | 280—404                                 |
| Промежуточный      | 72           | 336                         | 185                               | 56                      | 292—382                                 |
| Придонный          | 34           | 403                         | 242                               | 60                      | 319—487                                 |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Промежуточный      | 29           | 690                         | 237                               | 34                      | 601—780                                 |
| Район VII          |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 11           | 342                         | 235                               | 69                      | 194—491                                 |
| Промежуточный      | 11           | 339                         | 235                               | 79                      | 190—488                                 |
| Придонный          | 6            | 372                         | 273                               | 73                      | 128—616                                 |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 16           | 759                         | 338                               | 44                      | 585—934                                 |
| Промежуточный      | 8            | 625                         | 335                               | 54                      | 371—879                                 |
| Придонный          | 10           | 543                         | 286                               | 52                      | 352—734                                 |
| Район VIII         |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 8            | 585                         | 329                               | 56                      | 336—835                                 |
| Придонный          | 7            | 682                         | 391                               | 57                      | 363—1003                                |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 17           | 815                         | 569                               | 70                      | 531—1101                                |
| Придонный          | 15           | 772                         | 631                               | 82                      | 435—1110                                |
| Район IX           |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 22           | 1048                        | 548                               | 52                      | 809—1288                                |
| Придонный          | 22           | 1037                        | 579                               | 56                      | 784—1291                                |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 46           | 2234                        | 1473                              | 66                      | 1795—2674                               |
| Придонный          | 39           | 1634                        | 1086                              | 67                      | 1287—1987                               |

Таблица 4.35

Основные статистические характеристики средней концентрации силикатов в районах Азовского моря летом (1960—1981 гг.)

| Горизонт      | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район I       |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 11           | 683                         | 277                               | 41                      | 508—859                                 |
| Промежуточный | 10           | 798                         | 323                               | 40                      | 583—1014                                |
| Придонный     | 7            | 740                         | 231                               | 31                      | 552—930                                 |
| Район II      |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 23           | 561                         | 335                               | 60                      | 410—713                                 |
| Промежуточный | 27           | 573                         | 314                               | 55                      | 450—697                                 |
| Придонный     | 23           | 633                         | 409                               | 65                      | 459—808                                 |
| Район III     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 15           | 575                         | 344                               | 60                      | 391—759                                 |
| Промежуточный | 18           | 587                         | 278                               | 47                      | 452—722                                 |
| Придонный     | 14           | 669                         | 377                               | 56                      | 459—878                                 |
| Район V       |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 153          | 663                         | 371                               | 56                      | 603—723                                 |
| Промежуточный | 259          | 697                         | 366                               | 52                      | 651—742                                 |
| Придонный     | 177          | 783                         | 508                               | 65                      | 707—860                                 |
| Район VII     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 29           | 1317                        | 1153                              | 88                      | 881—1753                                |
| Придонный     | 29           | 1532                        | 1537                              | 100                     | 951—2113                                |
| Район VIII    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 50           | 1416                        | 950                               | 67                      | 1144—1687                               |
| Район IX      |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 86           | 2428                        | 1446                              | 60                      | 2114—2741                               |
| Придонный     | 89           | 2405                        | 1518                              | 63                      | 2081—2729                               |

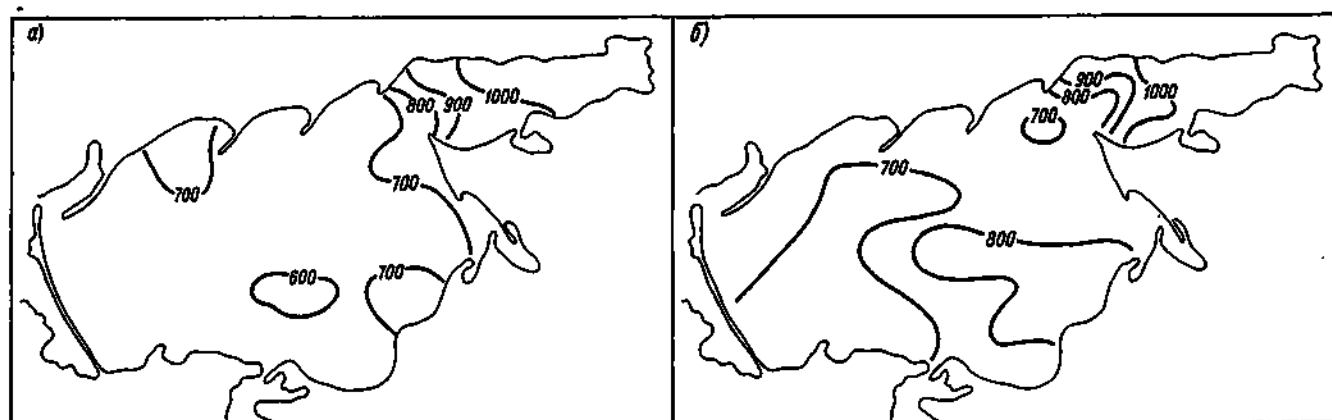


Рис. 4.9. Распределение концентрации (мкг/л) кремниевой кислоты в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря летом по данным наблюдений за 1958—1983 гг.

Летом содержание кремния с глубиной возрастает повсеместно. Максимальное различие в концентрации кремния в поверхностном и придонном горизонтах открытых районов моря было обнаружено в районе V, где оно составило около 120 мкг/л. По данным наблюдений за 1958—1985 гг. составлены карты распределения растворенной кремниевой кислоты летом (рис. 4.9). Существенные различия в распределении кремния в поверхностном и придонном слоях моря не были отмечены.

При рассмотрении кривых распределения силикатов на примере района V, для которого имеется наибольшее число наблюдений, обращает на себя внимание отсутствие явно выраженной вершины: имеется равномерное распределение более 60 % значений концентрации кремния по трем града-

циям, охватывающим диапазон концентраций 200—800 мкг/л (табл. 4.36).

В многоводные годы содержание кремния в водах Таганрогского залива возрастает почти в два раза по сравнению с его содержанием в маловодный период. Для открытой части моря различия между содержанием кремния в маловодный и многоводный периоды не прослеживаются (табл. 4.37).

**Осень.** Осенняя вспышка диатомовых водорослей вызывает интенсивное потребление кремниевой кислоты, в результате чего концентрация кремния уменьшается по всей акватории моря, включая и Таганрогский залив. Однако по-прежнему в Таганрогском заливе и особенно вблизи устья Дона осенью концентрация кремния остается высокой по сравнению с концентрацией, наблюдавшейся в других районах моря (табл. 4.38).

Таблица 4.36

Повторяемость (%) распределения концентрации силикатов в различных районах Азовского моря летом

| Горизонт          | Концентрация, мкг/л |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------|---------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                   | 0—200               | 201—400 | 401—600 | 601—800 | 801—1000 | 1001—1200 | 1201—1400 | 1401—1600 | 1601—1800 | 1801—2000 | 2001—2200 | 2201—2400 |
| <b>Район II</b>   |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 13                  | 17      | 35      | 13      | 8        | 9         | 4         |           |           |           |           |           |
| Промежуточный     | 11                  | 15      | 33      | 15      | 15       | 7         | 4         |           |           |           |           |           |
| Придонный         | 13                  | 13      | 26      | 22      | 4        | 9         | 9         | 4         |           |           |           |           |
| <b>Район V</b>    |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 6                   | 21      | 21      | 22      | 15       | 6         | 5         | 2         | 2         |           |           |           |
| Промежуточный     | 4                   | 15      | 26      | 21      | 19       | 7         | 6         | 1         | 1         |           |           |           |
| Придонный         | 6                   | 15      | 20      | 17      | 14       | 13        | 5         | 3         | 2         | 1         | 1         |           |
| <b>Район VI</b>   |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный         | 7                   | 11      | 13      | 23      | 23       | 13        | 7         | 3         |           |           |           |           |
| <b>Район VII</b>  |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный     | 3                   | 7       | 11      | 21      | 14       | 11        | 11        | 7         | 7         | 4         | 3         | 1         |
| Придонный         | 3                   | 7       | 11      | 14      | 14       | 18        | 11        | 7         | 7         | 4         | 3         | 1         |
| <b>Район VIII</b> |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 6                   | 6       | 6       | 10      | 20       | 10        | 8         | 8         | 8         | 4         | 3         | 1         |



Таблица 4.37

Таблица 4.38

Основные статистические характеристики средней концентрации силикатов в Азовском море в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды летом

| Горизонт           | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0.95$ |
|--------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район II</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 10           | 626                         | 237                               | 38                      | 468—675                                 |
| Придонный          | 8            | 660                         | 249                               | 38                      | 472—849                                 |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 7            | 463                         | 113                               | 24                      | 370—555                                 |
| Промежуточный      | 7            | 601                         | 214                               | 36                      | 427—776                                 |
| Придонный          | 6            | 530                         | 150                               | 28                      | 396—664                                 |
| <b>Район V</b>     |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 66           | 824                         | 560                               | 68                      | 685—962                                 |
| Промежуточный      | 87           | 768                         | 531                               | 68                      | 653—882                                 |
| Придонный          | 67           | 925                         | 639                               | 68                      | 767—1082                                |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 18           | 585                         | 215                               | 37                      | 480—689                                 |
| Придонный          | 19           | 558                         | 198                               | 36                      | 464—651                                 |
| <b>Район VII</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 13           | 561                         | 321                               | 57                      | 425—746                                 |
| Промежуточный      | 8            | 425                         | 258                               | 61                      | 230—620                                 |
| Придонный          | 8            | 545                         | 398                               | 73                      | 244—846                                 |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 22           | 1231                        | 784                               | 64                      | 889—1572                                |
| Промежуточный      | 20           | 1033                        | 679                               | 66                      | 721—1344                                |
| Придонный          | 16           | 1040                        | 537                               | 52                      | 762—1317                                |
| <b>Район VIII</b>  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 9            | 710                         | 305                               | 43                      | 495—925                                 |
| Придонный          | 8            | 666                         | 446                               | 67                      | 328—1003                                |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 28           | 1401                        | 969                               | 69                      | 1028—1774                               |
| Промежуточный      | 19           | 1570                        | 841                               | 54                      | 1174—1967                               |
| <b>Район IX</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Маловодный период  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 29           | 1882                        | 1009                              | 54                      | 1501—2263                               |
| Придонный          | 26           | 1668                        | 892                               | 53                      | 1311—2025                               |
| Многоводный период |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный      | 45           | 2214                        | 1250                              | 56                      | 2131—2291                               |
| Придонный          | 62           | 2508                        | 1442                              | 58                      | 2138—2877                               |

Статистические характеристики средней концентрации силикатов в районах Азовского моря осенью 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Средняя концентрация, мкг/л | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0.95$ |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 11           | 583                         | 354                               | 61                      | 359—807                                 |
| Промежуточный     | 11           | 723                         | 415                               | 57                      | 457—988                                 |
| Придонный         | 8            | 473                         | 264                               | 56                      | 273—673                                 |
| <b>Район II</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 16           | 509                         | 362                               | 71                      | 323—696                                 |
| Промежуточный     | 24           | 505                         | 364                               | 72                      | 354—657                                 |
| Придонный         | 15           | 494                         | 344                               | 70                      | 310—678                                 |
| <b>Район III</b>  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 16           | 421                         | 307                               | 73                      | 262—580                                 |
| Промежуточный     | 20           | 398                         | 312                               | 70                      | 255—540                                 |
| Придонный         | 13           | 466                         | 312                               | 67                      | 285—646                                 |
| <b>Район IV</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 20           | 505                         | 272                               | 54                      | 381—630                                 |
| Промежуточный     | 26           | 511                         | 459                               | 90                      | 327—694                                 |
| Придонный         | 20           | 497                         | 313                               | 63                      | 354—640                                 |
| <b>Район V</b>    |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 220          | 498                         | 325                               | 65                      | 454—542                                 |
| Придонный         | 155          | 496                         | 324                               | 66                      | 434—538                                 |
| <b>Район VI</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 29           | 647                         | 368                               | 57                      | 507—785                                 |
| <b>Район VII</b>  |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 27           | 1131                        | 652                               | 58                      | 876—1386                                |
| Промежуточный     | 24           | 1090                        | 626                               | 57                      | 829—1351                                |
| Придонный         | 20           | 1105                        | 599                               | 54                      | 830—1380                                |
| <b>Район VIII</b> |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 33           | 1916                        | 886                               | 46                      | 1602—2229                               |
| Придонный         | 6            | 1150                        | 350                               | 32                      | 838—1463                                |
| <b>Район IX</b>   |              |                             |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 78           | 2462                        | 1414                              | 57                      | 2139—2784                               |
| Придонный         | 73           | 2375                        | 1469                              | 62                      | 2028—2721                               |

Осеннее ветровое перемешивание, как правило, обеспечивает равномерное распределение кремния от поверхности до дна, что достаточно наглядно показано как в табл. 4.38, так и на картах осеннего распределения кремния в поверхностном и придонном горизонтах (рис. 4.10). Это подтверждается и одинаковым распределением концентрации силикатов в районе V Азовского моря в поверхностном и придонном горизонтах (табл. 4.39).

В межгодовой динамике наметилась тенденция к некоторому снижению концентрации кремниевой кислоты в водах собственно моря. В течение 1970—1981 гг. средняя концентрация кремниевой кислоты в собственно море составила 460 мкг/л при колебаниях в диапазоне 340—680 мкг/л. По данным В. Г. Дацко, А. Д. Семенова [21], в период до зарегулирования в водах Азовского моря средняя концентрация кремниевой кислоты составляла 800 мкг/л. При этом необходимо отметить, что исследования кремниевой кислоты в водах Азовского

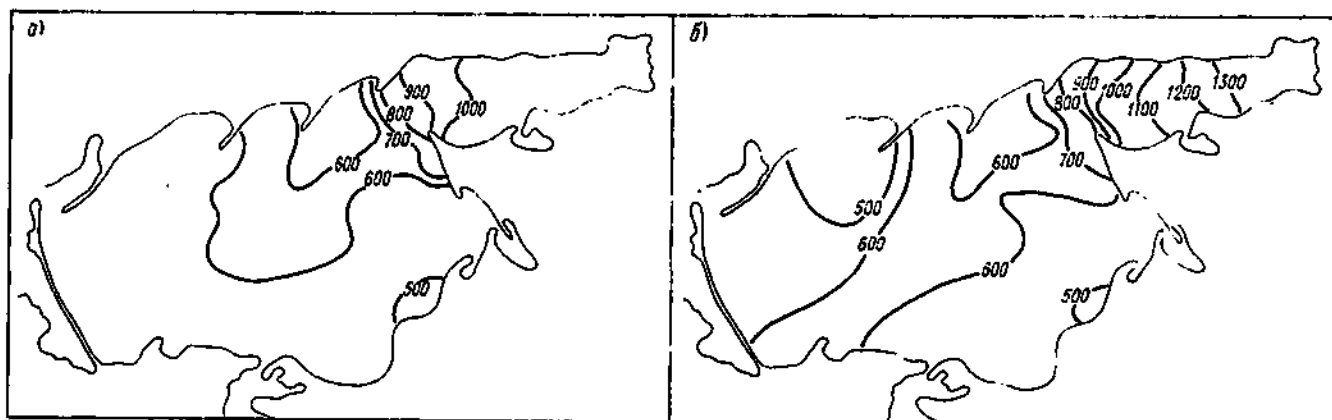


Рис. 4.10. Распределение концентраций (мкг/л) кремниевой кислоты в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря осенью по данным наблюдений за 1958—1983 гг.

Таблица 4.39

Повторяемость (%) распределения концентрации силикатов в различных районах Азовского моря осенью

| Горизонт      | Концентрация, мкг/л |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|---------------------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0—200               | 201—400 | 401—600 | 601—800 | 801—1000 | 1001—1200 | 1201—1400 | 1401—1600 | 1601—1800 | 1801—2000 | 2001—2200 | 2201—2400 | 2401—2600 | 2601—2800 |
| Район III     |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 20                  | 44      | 12      | 12      | 6        | 6         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 25                  | 35      | 15      | 15      | 10       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 23                  | 31      | 15      | 15      | 8        | 8         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Район IV      |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 10                  | 15      | 25      | 20      | 20       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 30                  | 27      | 11      | 8       | 4        | 8         | 8         | 4         |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 15                  | 20      | 25      | 25      | 10       | 5         |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Район V       |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Промежуточный | 20                  | 22      | 23      | 19      | 9        | 4         | 2         | 1         |           |           |           |           |           |           |
| Придонный     | 21                  | 23      | 24      | 16      | 9        | 5         | 1         | 1         |           |           |           |           |           |           |
| Район VI      |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 10                  | 14      | 24      | 17      | 21       | 8         | 3         | 3         |           |           |           |           |           |           |
| Район VII     |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 3                   | 5       | 11      | 18      | 20       | 18        | 10        | 4         | 4         | 4         | 3         |           |           |           |
| Промежуточный | 4                   | 9       | 17      | 12      | 8        | 14        | 12        | 10        | 9         | 3         | 2         |           |           |           |
| Придонный     | 2                   | 3       | 5       | 10      | 10       | 15        | 25        | 15        | 10        | 4         | 1         |           |           |           |
| Район VIII    |                     |         |         |         |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный |                     | 1       | 3       | 3       | 4        | 4         | 10        | 10        | 13        | 18        | 13        | 9         | 6         | 6         |

моря, предшествующие началу 70-х годов, проводились эпизодически аналитическими методами, которые весьма существенно отличались от настоящих.

#### 4.6. Анализ и моделирование влияния гидрометеорологических условий на содержание биогенных веществ в Азовском море

Решение проблемы рационального использования водных ресурсов и сохранения рыбохозяйственной ценности Азовского моря зависит от достоверности прогноза изменения океанологических факторов формирования биопродуктивности его вод и в первую очередь таких параметров, как биогенные вещества. Для этого необходимо знание ха-

рактера и степени воздействия на них таких элементов гидрометеорологического режима, как температура, ветер и особенно речной сток. Получение на этой основе статистических моделей, в которые в качестве основного предиктора был бы включен поддающийся сезонному и многолетнему регулированию речной сток, позволило бы не только оценить вероятные изменения отдельных элементов биогенного режима Азовского моря, но и в определенной степени приблизиться к решению проблемы управления ими и задачи оптимизации состояния экосистемы бассейна Азовского моря в целом.

##### 4.6.1. Материалы и методика

Исследования, связанные с решением подобных задач методами математической статистики, выполнялись и ранее [10]. Однако данные, исполь-

зованные в указанной работе, охватывают наблюдения за режимом Азовского моря главным образом до 1974 г. Этот ряд отличается качественной неоднородностью, особенно в отношении биогенных веществ. Первые годы после сооружения Цимлянского водохранилища (1952 г.) являются периодом переформирования биогидрологического режима Азовского моря под влиянием качественных и количественных преобразований водного, ионного и биогенного стока, стока взвешенных наносов и органических веществ рек его бассейна.

В качестве исходных данных взяты более однородные материалы экспедиционных съемок Азовского моря, выполненные АЗНИИРХ весной (апрель), летом (июль, август) и осенью (октябрь) в 1958—1982 гг. на 33 стандартных станциях.

Для характеристики термического режима, динамики вод Азовского моря и поступления в него пресных вод были использованы данные наблюдений гидрометстанций и водпостов за температурой воздуха и воды, скоростью ветра и стоком речных вод.

При оценке влияния речного стока использовалось его значение за гидрологический год (октябрь—сентябрь), т. е. за год, предшествовавший осенней съемке (октябрь), с последующим сдвигом на месяц назад до достижения максимальной корреляции (сначала с октября предшествующего года по сентябрь года, за который рассматривается какой-либо из указанных выше предиктантов, затем с сентября предшествующего года по август анализируемого и т. д.). Одновременно оценивалось воздействие не только годовых объемов речного стока в рассматриваемом году, но и роль притока речных вод в Азовское море в предшествующие годы. При анализе влияния температуры воды в Азовском море и скорости ветра над его акваторией брались не только среднегодовые, но и среднесезонные и среднемесячные значения этих элементов гидрометеорологического режима. Из характеристик гидрологического и гидрохимического режимов Азовского моря в качестве предикторов и предиктантов рассматривались: среднегодовая соленость воды (точнее, средняя за апрель, июль, август, октябрь), среднегодовые (точнее, средние за апрель, июль, октябрь) концентрации растворенных в воде общих, органических и минеральных форм азота и фосфора, растворенной кремниевой кислоты. Последние рассчитывались как в целом для Азовского моря, так и дифференцированно: для собственно Азовского моря и Таганрогского залива.

Задача решалась методами корреляционного и регрессионного анализа.

#### 4.6.2. Влияние ветра на многолетнюю динамику биогенных веществ

Ранее [10] была выявлена обратная статистическая связь между среднегодовой скоростью ветра над акваторией Азовского моря и среднегодовыми концентрациями в его водах общего азота ( $r = -0,59 \pm 0,09$ ) и общего фосфора ( $r = -0,56 \pm 0,10$ ). На этой основе был сделан вывод об определяющем и отрицательном влиянии на среднегодовую концентрацию фосфора динамики вод и о существенном и также отрицательном воздействии ее на среднегодовую концентрацию азота.

Корреляционный анализ данных за 1960—1981 гг. подтвердил этот вывод в отношении концентраций общего и органического азота, о чем свидетельствуют соответствующие корреляции  $r = 0,60 \pm 0,09$  и  $r = -0,65 \pm 0,08$ .

Статистическая связь концентрации минерального азота со скоростью ветра также отрицательна (от  $r = -0,33 \pm 0,13$  до  $r = -0,43 \pm 0,12$ ). В то же время усиление ветровой активности над акваторией Азовского моря способствует увеличению в водной толще концентраций общего ( $r = 0,46 \pm 0,11$ ) и органического фосфора ( $r = 0,49 \pm 0,11$ ) и в меньшей степени концентрации кремниевой кислоты ( $r = 0,30 \pm 0,13$ ).

Для Таганрогского залива аналогичная связь также положительна, но выражена слабее (соответственно  $r = 0,21 \pm 0,15$  и  $r = 0,35 \pm 0,13$ ). Однако между среднегодовым содержанием фосфатов в водах Таганрогского залива и среднегодовой скоростью ветра над акваторией Азовского моря корреляция положительна и значима ( $r = 0,36 \pm 0,13$ ). Происходит это, видимо, за счет усиления взмучивания донных отложений и абразии берегов, а также вследствие увеличения поступления биогенных веществ в периоды пыльных бурь. Золотые наносы, выпадающие над акваторией Азовского моря в среднем составляют 6,4 млн. т/год, что почти в четыре раза превышает твердый сток рек. В отдельные годы наблюдается еще более значительное поступление золотого материала. Так, пыльная буря 1960 г. способствовала осаждению на акватории Азовского моря 82 млн. т, а в 1969 г. — свыше 50 млн. т золотых наносов [56]. Положительное влияние турбулентного перемешивания на содержание фосфора в водах Азовского моря отмечалось еще В. Г. Давко [22].

В условиях усиления турбулентного перемешивания вод моря наблюдается взмучивание донных отложений, увеличивается абразия берегов, уменьшается интенсивность седиментации наносов, приносимых реками, возрастает перенос взвешенных веществ из устьевых зон рек Дона и Кубани, т. е. из районов их наибольшей концентрации в открытую часть собственно Азовского моря.

Подобный эффект воздействия динамики вод на биогенные вещества и особенно на фосфор наблюдается и на других водоемах [12]. Что же касается приведенной выше устойчивой и значимой отрицательной корреляции между общим и органическим азотом и ветровой активностью, то здесь можно предполагать наличие и других аспектов прямого или косвенного влияния ее на концентрацию азота в водной толще Азовского моря. В частности, вероятно более интенсивное течение процессов фиксации азота атмосферы микроорганизмами в условиях слабой динамики водных масс. Причина обратной корреляции между скоростью ветра и содержанием в морской воде минеральных форм азота и фосфора заключается, вероятно, еще и в том, что в условиях пониженной ветровой активности, как правило, увеличивается и повторяемость штителей или ситуаций со слабым ветром, способствующих возникновению условий для дефицита кислорода в придонных слоях Азовского моря. Еще ранее [60] было установлено, а затем подтверждено многочисленными работами зарубежных и советских исследователей, что в этом случае восстановление поверхностного слоя водонасы-

щенного ила влечет за собой высвобождение в раствор аммония, силикатов и фосфатов. В последние годы обращено внимание на значительный вынос аммония из водоемов в атмосферу при ветровом перемешивании [29].

И наконец, к изложенному выше следовало бы добавить, что основная причина неоднозначности корреляционных связей азота и фосфора со скоростью ветра, видимо, заключается в различиях типов и структур биогеохимических циклов указанных биогенных элементов. Круговорот азота — пример очень сложного круговорота газообразных веществ с большим резервным фондом в атмосфере. Круговорот фосфора — пример более простого осадочного цикла с менее совершенной регуляцией. По структуре он несколько проще круговорота азота, поскольку фосфор встречается лишь в немногих химических формах. В отличие от азота резервуаром фосфора служит не атмосфера, а горные породы и другие отложения, образовавшиеся в прошлые геологические эпохи.

#### 4.6.3. Влияние термического режима на химические основы продуктивности

Статистический анализ данных наблюдений за химическими основами продуктивности Азовского моря и температурой его вод в 1960—1981 гг. показал неправомочность выводов авторов, исследовавших связи между аналогичными океанологическими параметрами за 1953—1973 гг. [10], о незначительности влияния термического режима на многолетнюю изменчивость содержания биогенных веществ.

Установлена положительная зависимость среднегодового содержания в водной толще Азовского моря кремниевой кислоты, общего и органического азота, общего и органического фосфора от температуры воды (от  $r=0,30\pm0,13$  до  $r=0,66\pm0,08$ ). Подобный эффект влияния термического режима характерен и для минерального азота, но выражен слабо ( $r=0,25\pm0,13$ ). Эти результаты подтверждают мнение А. Я. Алдакимовой, М. К. Спичака, М. В. Федосова и И. К. Шеломова о значимости воздействия температурного фактора на экосистему Азовского моря [27, 46, 57, 58].

Согласно данным наблюдений последних лет, термический режим водоема относится к основным факторам, определяющим годовую первичную продукцию Азовского моря. Во время суровых зим, когда на Азовском море длительное время удерживается ледяной покров, вследствие недостатка энергии, вызванного почти полным прекращением притока солнечной радиации, фотосинтетической деятельности фитопланктона не происходит. В результате процессы деструкции существенно превышают синтез, и годовая первичная продукция уменьшается. Увеличивается интенсивность осадконакопления и соответственно уменьшается концентрация биогенных веществ в водной толще Азовского моря. Происходит относительное накопление минеральных и уменьшение органических форм биогенных веществ. После мягких зим, наоборот, увеличивается содержание органического вещества в Азовском море и органических форм азота и фосфора в водной толще, а концентрация минеральных форм понижается.

#### 4.6.4. Статистические связи между соленостью и биогенными веществами

Концентрация общего и органического азота и общего и органического фосфора в водах Азовского моря связаны отрицательной корреляцией с соленостью моря (от  $r=-0,36\pm0,12$  до  $r=-0,46\pm0,11$ ). Статистическая связь содержания в Азовском море общего и органического фосфора с соленостью его вод в предшествующем году оказывается более существенной (соответственно  $r=-0,55\pm0,09$  и  $r=-0,56\pm0,09$ ), чем с соленостью анализируемого года. Корреляционная связь между соленостью и содержанием минеральных форм азота и фосфора в целом невелика и в большинстве случаев статистически незначима. Исключение составляет статистическая связь между соленостью Таганрогского залива и содержанием в его водах минерального азота, в этом случае уровень связи приближается к значимому ( $r=-0,37\pm0,12$ ).

Статистическая связь между содержанием растворенной кремниевой кислоты в водах как Азовского моря в целом, так и собственно моря и Таганрогского залива и соленостью данного года также отрицательна (соответственно  $r=-0,51$ ;  $-0,49$ ;  $-0,52$ ).

#### 4.6.5. Влияние речного стока на многолетнюю динамику биогенных веществ

Предшествующие исследования не дали количественную оценку влияния речного стока на формирование запасов азота и фосфора. Статистическая связь суммарного стока рек со среднегодовыми концентрациями общего азота и общего фосфора в водной толще Азовского моря для ряда наблюдений 1953—1973 гг. оказалась незначимой (соответственно  $r=0,05$  и  $-0,27$ ). Максимальные значения коэффициентов парной корреляции получились при обработке исходных рядов со сдвигом по фазе, равным одному году. Однако и в этом случае их значения равны соответственно лишь 0,15 и 0,39 [10].

В отличие от ранее выполненных работ, иной методический подход, сущность которого была изложена выше, позволил установить количественную сторону влияния речного стока на формирование запасов биогенных веществ в Азовском море. Выявлено, что многолетние изменения среднегодового содержания общего и органического азота в море наиболее тесно и прямо связаны с суммарным объемом стока Дона и Кубани за 4 года ( $r=0,43\pm0,12$ ), кремниевой кислоты за 3—6 лет (от  $r=0,55\pm0,10$  до  $r=0,59\pm0,09$ ), общего и органического фосфора за 6—10 лет (от  $r=0,52\pm0,10$  до  $r=0,63\pm0,08$ ). Причем корреляция достигает максимума в случае, если в качестве независимой переменной используется годовая сток рек за период с июня предшествующего года по май рассматриваемого.

Статистическая связь между среднегодовым содержанием общего и органического фосфора Азовского моря или его открытой части и притоком речных вод за тот же год оказывается несущественной. В то же время на среднегодовую концентрацию общего и органического азота, а также на содержание растворенной кремниевой кислоты сток рек оказывает заметное влияние уже в пер-

вый год (соответственно  $r=0,35-0,37$  и  $0,27-0,30$ ). В последнем случае коэффициенты корреляции увеличиваются, если в качестве предиктора используется суммарный сток Дона и Кубани за анализируемый и предшествующий годы ( $r=0,39-0,40$ ). Влияние годового речного стока на среднегодовое содержание биогенных веществ в Таганрогском заливе более заметно, поскольку объем его соизмерим с количеством поступающих за год донских вод. Вместе с тем коэффициенты корреляции между годовым стоком и среднегодовыми концентрациями в водах залива общего и органического азота и особенно общего и органического фосфора меньше критических (соответственно  $r=0,32-0,20$  и  $0,17-0,23$ ). В последнем случае, как и для концентраций общего и органического фосфора, в Азовском море и в его открытой части значимая корреляция достигается при условии, если в качестве независимой переменной используется суммарный сток Дона и Кубани за рассматриваемый и четыре предшествующих года ( $r=0,39-0,41$ ). И так же как и для среднегодовых концентраций общего и органического фосфора, в водах всего Азовского моря и собственно моря

многолетние изменения концентраций общего и органического фосфора в Таганрогском заливе определяются суммарным стоком Дона и Кубани за 6—10 лет ( $r=0,56-0,58$ ).

В отличие от концентрации азота и фосфора, в водах Таганрогского залива связь среднегодовых концентраций растворенной кремниевой кислоты с колебаниями годового стока основных рек бассейна Азовского моря имеет значимую корреляцию ( $r=0,44$ ). Максимальных значений корреляция достигает, если в качестве независимой переменной используется суммарный сток Дона и Кубани за 4 года ( $r=0,59$ ).

Среднегодовые запасы минерального азота в Таганрогском заливе, Азовском море и собственно море, так же как и запасы общего и органического азота, находятся в наиболее тесной и прямой зависимости от речного стока за рассматриваемый и два предшествующих года ( $r=0,27-0,28$ ). Аналогичные результаты были получены и при статистических исследованиях влияния колебаний речного стока на изменения содержания фосфатов в Азовском море и Таганрогском заливе. Однако степень корреляции, значимость и ее вероятность между

Таблица 4.40

Матрица взаимной корреляции параметров статистической модели формирования среднегодового содержания растворенного общего, минерального и органического азота в Азовском море. По данным за 1960—1981 гг.

| Параметры               | $N_{\text{общ}}$ | $N_{\text{мин}}$ | $N_{\text{орг}}$ | $T_{\text{VI-VIII}}$ | $T_{\text{I-XII}}$ | $V_{\text{VI-VIII}}$ | $V_{\text{I-XII}}$ | $Q_{\text{VI-V}}$ | $i+\dots+i-1$ | $i+\dots+i-2$ | $i+\dots+i-3$ | $i+\dots+i-4$ | $S_{\text{т-н}}$ | $S_{\text{т-н}}$ |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------|
| $N_{\text{общ}}$ , А, м | 1                | 0,513            | 0,978            | 0,614                | 0,590              | -0,604               | -0,496             | 0,348             | 0,266         | 0,363         | 0,422         | 0,380         | -0,357           | -0,128           |
| $N_{\text{мин}}$        |                  | 1                | 0,323            | 0,106                | -0,016             | -0,648               | -0,566             | 0,109             | 0,148         | 0,280         | 0,256         | 0,092         | -0,044           | 0,117            |
| $N_{\text{орг}}$        |                  |                  | 1                | 0,651                | 0,654              | -0,508               | -0,410             | 0,358             | 0,257         | 0,332         | 0,403         | 0,396         | -0,383           | -0,169           |
| $T_{\text{VI-VIII}}$    |                  |                  |                  | 1                    | 0,670              | -0,250               | -0,120             | 0,145             | 0,126         | 0,272         | 0,318         | 0,385         | -0,298           | -0,261           |
| $T_{\text{I-XII}}$      |                  |                  |                  |                      | 1                  | -0,249               | -0,205             | 0,021             | -0,161        | -0,021        | 0,107         | 0,169         | -0,201           | -0,096           |
| $V_{\text{VI-VIII}}$    |                  |                  |                  |                      |                    | 1                    | 0,858              | 0,010             | 0,034         | -0,102        | -0,072        | 0,011         | -0,018           | -0,152           |
| $V_{\text{I-XII}}$      |                  |                  |                  |                      |                    |                      | 1                  | -0,041            | 0,017         | -0,050        | -0,012        | 0,071         | -0,119           | -0,243           |
| $Q_{\text{VI-V}}$       |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    | 1                 | 0,867         | 0,746         | 0,659         | 0,576         | -0,601           | -0,240           |
| $i+\dots+i-1$           |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    |                   | 1             | 0,924         | 0,822         | 0,732         | -0,722           | -0,481           |
| $i+\dots+i-2$           |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    |                   |               | 1             | 0,949         | 0,864         | -0,840           | -0,632           |
| $i+\dots+i-3$           |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    |                   |               |               | 1             | 0,958         | -0,933           | -0,771           |
| $i+\dots+i-4$           |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    |                   |               |               |               | 1             | -0,968           | -0,883           |
| $S_{\text{т-н}}$        |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    |                   |               |               |               |               | 1                | 0,883            |
| $S_{\text{т-н}}$        |                  |                  |                  |                      |                    |                      |                    |                   |               |               |               |               |                  | 1                |

Примечание. Здесь и в табл. 4.41  $N_{\text{общ}}$ ,  $N_{\text{орг}}$ ,  $N_{\text{мин}}$ ,  $R_{\text{общ}}$ ,  $R_{\text{орг}}$ ,  $H_2SiO_3$  — соответственно среднегодовое (среднее за апрель, июль, октябрь) содержание в водах всего Азовского моря (А, м), собственно Азовского моря (с. А, м), Таганрогского залива (Т, з.) растворенного общего и органического азота, растворенного общего и органического фосфора, растворенной кремниевой кислоты (мг/м³) в рассматриваемом ( $i$ ) или предшествующих годах ( $(i-1)$ , ...,  $(i-n)$ );  $Q_{\text{VI-V}}$  — суммарный годовой сток Дона (ст. Раздорская) и Кубани (г. Краснодар) за июнь—май в рассматриваемом ( $i$ ) или предшествующих годах ( $(i-1)$ , ...,  $(i-n)$ ), либо суммарный сток указанных рек за различное число лет ( $i+(i-1)+\dots+(i-n)$ ), км³;  $T_{\text{I-XII}}$ ,  $T_{\text{IX-XI}}$ ,  $T_{\text{XII-II}}$  — соответственно среднегодовая, осенняя, зимняя температура (°С) воды в Азовском море (средние значения по материалам наблюдений гидрометестанций Мариуполь, Бердянск, Приморско-Ахтарск, Мысовое) в рассматриваемом ( $i$ ) или предшествующих годах ( $(i-1)$ , ...,  $(i-n)$ );  $V_{\text{I-XII}}$ ,  $V_{\text{IX-XI}}$ ,  $V_{\text{XII-II}}$ ,  $V_{\text{VI-VIII}}$  — соответственно среднегодовая, осенняя, зимняя, весенняя и летняя скорость ветра над акваторией Азовского моря в текущем ( $i$ ) и предшествующих годах ( $(i-1)$ , ...,  $(i-n)$ ), м/с (средние значения по данным наблюдений гидрометестанций Таганрог, Бердянск, Приморско-Ахтарск и Мысовое).

Уравнения, аппроксимирующие зависимость среднегодового содержания в Азовском море биогенных веществ от элементов гидрометеорологического режима

указанными параметрами еще ниже, чем между многолетними колебаниями речного стока и содержанием минерального азота.

Таким образом, вклад многолетних колебаний речного стока в изменения среднегодовых концентраций азота в целом относительно менее существен, чем вклад в многолетние флуктуации концентрации кремниевой кислоты и особенно фосфора. Объясняется это различиями типов и структур биогеохимических циклов биогенных элементов.

#### 4.6.6. Статистические модели влияния элементов гидрометеорологического режима на многолетнюю динамику биогенных веществ

Изложенные результаты позволили получить статистические модели, аппроксимирующие зависимость среднегодового содержания общего и органического азота, общего и органического фосфора, растворенной кремниевой кислоты в водной толще Азовского моря, собственно моря и Таганрогского залива от речного стока, солености и температуры морской воды, а также от скорости ветра над акваторией Азовского моря.

Формирование моделей осуществлялось в соответствии с известными положениями регрессионного анализа. Входящие в модели предикторы были проверены на нормальность распределения, на коррелированность между собой и на значимость вклада в формирование режима биогенных веществ (табл. 4.40).

По степени точности и эффективности полученные уравнения регрессии, часть из которых представлена в табл. 4.41 относятся к категории удовлетворительных. Коэффициенты множественной корреляции ( $R$ ) находятся в пределах 0,70—0,83; критерий Фишера ( $F$ ) в интервале 3,9—5,2. Отношение среднеквадратических ошибок уравнений ( $S_y$ ) к среднеквадратическим или стандартным отклонениям предиктанта ( $\sigma_y$ ), которое является критерием точности и эффективности методик прогнозов, составляет 0,60—0,74, т. е. уступает предельно допустимой величине такого отношения (0,8). Обеспеченность же допустимой погрешности прогнозов, которая равна  $0,674 \sigma_y$ , находится в пределах 75—85 %.

#### 4.6.7. Оценка возможных изменений химических основ формирования биопродуктивности вод Азовского моря

Речной сток, который включен в качестве основного предиктора в статистические модели биогенных веществ, составляя в современных условиях десятую часть объема Азовского моря, во взаимодействии с температурой и ветром формирует его физико-химический облик в основном за 4—6 лет. Вполне удовлетворительная адекватность многолетних колебаний биогенных элементов в реальных условиях и подобного процесса, описываемого статистическими моделями, позволяют применить их для оценки возможных изменений химических основ формирования биопродуктивности вод Азовского моря. В качестве исходных данных по стоку использованы смоделированные методом статистических испытаний в Гидропроекте им. С. Я. Жука 30-летние ряды для различных вариантов притока речных вод в Азовское море (32, 30, 28, 26 км<sup>3</sup>/год).

| Уравнения регрессии                                                                                                                | R    | Средняя ошибка    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------|------|
|                                                                                                                                    |      | мг/м <sup>3</sup> | %    |
| $N_{\text{общ. А. м}} = 186,95 T_i^{1-XII} - 328,83 V_i^{VI-VIII} + 4,49 Q_{i+...+(t-3)}^{VI-V} - 245,9$                           | 0,83 | 162               | 14,2 |
| $N_{\text{общ. с. А. м}} = 186,32 T_i^{1-XII} - 331,91 V_i^{VI-VIII} + 4,61 Q_{i+...+(t-3)}^{VI-V} - 248,2$                        | 0,81 | 172               | 15,3 |
| $N_{\text{общ. Т. з.}} = 197,0 T_i^{1-XII} - 277,92 V_i^{VI-VIII} + 10,95 Q_{i+...+(t-3)}^{VI-V} - 163,1$                          | 0,75 | 192               | 14,4 |
| $N_{\text{орг. А. м}} = 206,83 T_i^{1-XII} - 223,72 V_i^{VI-VIII} + 3,83 Q_{i+...+(t-3)}^{VI-V} - 946,1$                           | 0,81 | 154               | 14,8 |
| $N_{\text{орг. с. А. м}} = 204,76 T_i^{1-XII} - 230,78 V_i^{VI-VIII} + 3,98 Q_{i+...+(t-3)}^{VI-V} - 921,3$                        | 0,81 | 157               | 15,3 |
| $N_{\text{орг. Т. з.}} = 221,2 T_i^{1-XII} - 155,77 V_i^{VI-VIII} + 2,43 Q_{i+...+(t-4)}^{VI-V} - 1194,2$                          | 0,72 | 188               | 16,5 |
| $P_{\text{общ. А. м}} = 4,6 T_{i-1}^{IX-XI} + 21,87 V_i^{1-XII} + 0,21 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 157,3$                             | 0,71 | 14,4              | 20,0 |
| $P_{\text{общ. с. А. м}} = 4,45 T_{i-1}^{IX-XI} + 22,01 V_i^{1-XII} + 0,202 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 155,1$                        | 0,71 | 14,0              | 19,9 |
| $P_{\text{общ. Т. з.}} = 7,89 T_{i-1}^{IX-XI} + 8,88 V_i^{XII-III} + 0,336 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 169,0$                         | 0,70 | 22,2              | 24,1 |
| $P_{\text{орг. А. м}} = 4,32 T_{i-1}^{IX-XI} + 21,87 V_i^{1-XII} + 0,218 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 164,0$                           | 0,72 | 14,2              | 22,0 |
| $P_{\text{орг. с. А. м}} = 4,16 T_{i-1}^{IX-XI} + 22,49 V_i^{1-XII} + 0,211 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 163,4$                        | 0,72 | 14,2              | 22,0 |
| $P_{\text{орг. Т. з.}} = 9,32 T_{i-1}^{IX-XI} + 9,3 V_i^{XII-III} + 353 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 207,0$                            | 0,70 | 24,7              | 30,8 |
| $H_2SiO_3^{\text{А. м}} = 67,44 T_i^{XII-III} + 54,62 V_i^{1-XII} + 1,93 Q_{i+...+(t-5)}^{VI-V} - 168,6$                           | 0,72 | 98,7              | 17,7 |
| $H_2SiO_3^{\text{с. А. м}} = 69,05 T_i^{XII-III} + 73,91 V_i^{1-XII} + 1,84 Q_{i+...+(t-5)}^{VI-V} - 268,2$                        | 0,74 | 97,7              | 18,4 |
| $H_2SiO_3^{\text{Т. з.}} = 110,75 T_i^{XII-III} + 214,2 V_{i-1}^{IX-XI} + 22,8 V_i^{XII-V} + 14,69 Q_{i+...+(t-9)}^{VI-V} - 762,6$ | 0,70 | 198,7             | 21,5 |

Данные о температуре воды и ветровой активности приняты на среднемноголетнем уровне.

Численные эксперименты с моделями для био-генов веществ показали, что при сокращении притока речных вод до 26 км<sup>3</sup>/год, концентрация общего фосфора в Азовском море будет уступать его среднемноголетним (1952—1981 гг.) значениям не менее чем на 20 %, а в Таганрогском заливе почти на 40 %. В то же время в отличие от концентрации фосфора снижение концентрации общего азота в Азовском море по сравнению со среднемноголетними значениями менее существенно (на 10 %), причем особенно в Таганрогском заливе (примерно на 5 %).

Все это определяет значение соотношения  $\frac{N_{общ}}{P_{общ}}$  в Азовском море, приближающееся к среднемноголетнему, и неблагоприятное увеличение этого соотношения в Таганрогском заливе — до 20, при среднем для 1952—1981 гг. значении 14.

При стоке, равном 28 км<sup>3</sup>/год, среднегодовая концентрация в Азовском море общего, органического и минерального азота составит в среднем соответственно 975, 896 и 79 мкг/л; общего, органического и минерального фосфора соответственно 56,6, 48,7 и 7,8 мкг/л; растворенной кремниевой кислоты — 453 мкг/л.

## 5. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ МОРЯ

Режим pH морской среды тесно связан с газовым режимом моря и, в частности, с режимом кислорода. Величина pH используется в расчетах содержания различных форм угольной кислоты, является показателем интенсивности процессов фотосинтеза и окисления и в определенной мере характеризует процессы смешения и седиментации, протекающие в морях.

Локальные изменения pH обусловлены рядом причин: особенностями в режиме карбонатно-кальциевого равновесия и режиме отдельных компонентов солевого состава, вспышками жизнедеятельности планктона, особенностями структуры циркуляции вод. Некоторые исследователи подчеркивают исключительное своеобразие режима pH в районах устьевых взморий: по мере роста солености от реки к морю pH испытывает локальные повышения в некоторых районах взморья [7, 54].

Данные наблюдений за режимом pH, проводившиеся в водах Азовского моря в 50-е годы, были обобщены в монографии [55]. Систематические исследования pH в этом регионе были продолжены в последующие годы сетевыми подразделениями Госгидромета СССР, в результате чего в ГОИН было проведено обобщение изменчивости сезонного и пространственного распределения pH за период 1960—1985 гг. Межгодовая изменчивость pH за 1960—1983 гг. подробно рассмотрена в Справочнике по шельфу Азовского моря.

### 5.1. Сезонные изменения pH

**Зима.** О распределении pH зимой можно судить весьма ориентировочно лишь по отдельным районам моря. По данным наблюдений за 1960—1981 гг. отмечается однородное распределение pH в различных районах моря: изменчивость средних значений pH по акватории не превышала 0,05—

В Таганрогском заливе среднегодовая концентрация общего, органического и минерального азота составит соответственно 1215, 1031 и 183 мкг/л; общего, органического и минерального фосфора — 66,5, 56,9 и 9,5 мкг/л, растворенной кремниевой кислоты — 803 мкг/л.

В случае сохранения стока на уровне 30 км<sup>3</sup>/год среднегодовая концентрация в Азовском море общего, органического и минерального азота составит 1000, 918 и 83 мкг/л; общего, органического и минерального фосфора соответственно 60, 52, 7,8 мкг/л; растворенной кремниевой кислоты — 475 мкг/л. Среднегодовая концентрация общего, органического и минерального азота в Таганрогском заливе составит соответственно 1230, 1049, 181 мкг/л; общего, органического и минерального фосфора соответственно 71, 68, 9 мкг/л, растворенной кремниевой кислоты 840 мкг/л.

При стоке, равном 32 км<sup>3</sup>/год, уровень химических основ продуктивности Азовского моря увеличивается: концентрация азота составит 1019 мкг/л, фосфора 57,2 мкг/л, кремниевой кислоты 505 мкг/л. Однако он все же заметно уступает значениям, характерным для среднемноголетних условий периода 1952—1981 гг.

0,06. Значительное снижение pH отмечается в районах предустьевого взморья Дона и Кубани. Из-за малых глубин моря и зимнего перемешивания водных масс изменения pH с глубиной невелики. Отмечается или полная однородность значений pH по всей толще воды, или незначительное уменьшение от поверхности ко дну (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Основные статистические характеристики средних значений pH в районах Азовского моря зимой за 1960—1981 гг.

| Горизонт         | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район III</b> |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 13           | 8,42             | 0,00      | 0,06                              | 0,76                    | 8,38—8,45                               |
| Промежуточный    | 19           | 8,41             | 0,00      | 0,07                              | 0,83                    | 8,38—8,44                               |
| Придонный        | 10           | 8,41             | 0,00      | 0,03                              | 0,38                    | 8,39—8,43                               |
| <b>Район IV</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 9            | 8,40             | 0,00      | 0,01                              | 0,13                    | 8,39—8,41                               |
| Промежуточный    | 9            | 8,39             | 0,00      | 0,03                              | 0,31                    | 8,37—8,41                               |
| Придонный        | 8            | 8,40             | 0,00      | 0,04                              | 0,54                    | 8,37—8,43                               |
| <b>Район V</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 35           | 8,41             | 0,01      | 0,09                              | 1,05                    | 8,38—8,44                               |
| Промежуточный    | 66           | 8,42             | 0,01      | 0,11                              | 1,26                    | 8,39—8,45                               |
| Придонный        | 34           | 8,38             | 0,01      | 0,11                              | 1,37                    | 8,34—8,42                               |
| <b>Район VI</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 5            | 8,37             | 0,01      | 0,08                              | —                       | 8,29—8,45                               |
| Промежуточный    | 8            | 8,35             | 0,00      | 0,08                              | —                       | 8,29—8,41                               |
| Придонный        | 5            | 8,35             | 0,00      | 0,07                              | —                       | 8,28—8,42                               |
| <b>Район IX</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный    | 7            | 8,34             | 0,01      | 0,12                              | 1,47                    | 8,24—8,44                               |
| Придонный        | 7            | 8,35             | 0,02      | 0,13                              | 1,57                    | 8,24—8,46                               |



Наибольшей изменчивости подвержены значения pH в водах Таганрогского залива и открытой части моря, где среднеквадратические отклонения превышали 0,1.

Распределение pH для поверхностного и промежуточного горизонтов района V практически совпадает и оказывается близким к нормальному. Наибольшее число значений pH укладывается в диапазоне 8,40—8,50. В придонном слое число экстремальных значений pH (снижение pH

до 8,28—8,18 (табл. 5.2) и повышение до 8,73—8,83) не превышало 3 %.

Весна. Весной отмечается весьма существенное повышение pH лишь в Таганрогском заливе по сравнению со значением зимой. Наибольшей изменчивостью значений pH ( $C_v$  %,  $\sigma$ ) характеризуются также воды Таганрогского залива (табл. 5.3). По данным 1982—1985 гг., в простран-

Таблица 5.4

Основные статистические характеристики средних значений pH в районах Азовского моря весной в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный периоды (1977—1981 гг.)

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|

Район V

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 56 | 8,36 | 0,01 | 0,11 | 1,30 | 8,33—8,39 |
| Промежуточный | 66 | 8,42 | 0,01 | 0,11 | 1,36 | 8,39—8,45 |
| Придонный     | 54 | 8,34 | 0,01 | 0,11 | 1,37 | 8,31—8,37 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 30 | 8,34 | 0,01 | 0,11 | 1,34 | 8,30—8,38 |
| Промежуточный | 25 | 8,37 | 0,01 | 0,11 | 1,34 | 8,33—8,41 |
| Придонный     | 28 | 8,31 | 0,01 | 0,12 | 1,40 | 8,26—8,36 |

Район VI

1972—1976 гг.

|               |   |      |      |      |      |           |
|---------------|---|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 8 | 8,27 | 0,01 | 0,10 | 1,28 | 8,19—8,35 |
| Промежуточный | 7 | 8,41 | 0,01 | 0,11 | 1,10 | 8,39—8,43 |
| Придонный     | 8 | 8,33 | 0,01 | 0,08 | 0,99 | 8,27—8,39 |

1977—1981 гг.

|               |   |      |      |      |      |           |
|---------------|---|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 6 | 8,32 | 0,01 | 0,08 | 0,94 | 8,25—8,39 |
| Промежуточный | 6 | 8,31 | 0,00 | 0,07 | 0,82 | 8,25—8,37 |
| Придонный     | 6 | 8,27 | 0,01 | 0,08 | 1,02 | 8,20—8,34 |

Район VII

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 15 | 8,36 | 0,02 | 0,14 | 1,67 | 8,28—8,43 |
| Промежуточный | 9  | 8,38 | 0,02 | 0,16 | 1,93 | 8,27—8,49 |
| Придонный     | 14 | 8,36 | 0,02 | 0,15 | 1,87 | 8,34—8,40 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 16 | 8,50 | 0,04 | 0,21 | 2,45 | 8,39—8,61 |
| Промежуточный | 13 | 8,52 | 0,03 | 0,16 | 1,97 | 8,43—8,61 |
| Придонный     | 17 | 8,39 | 0,02 | 0,14 | 1,69 | 8,32—8,46 |

Район VIII

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 12 | 8,53 | 0,04 | 0,20 | 2,33 | 8,41—8,65 |
| Промежуточный | 6  | 8,60 | 0,03 | 0,17 | 1,95 | 8,45—8,75 |
| Придонный     | 12 | 8,49 | 0,03 | 0,18 | 2,07 | 8,38—8,60 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 13 | 8,58 | 0,01 | 0,11 | 1,29 | 8,52—8,64 |
| Придонный     | 13 | 8,54 | 0,02 | 0,15 | 1,72 | 8,45—8,63 |

Район IX

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 8,61 | 0,02 | 0,16 | 1,83 | 8,53—8,69 |
| Придонный     | 17 | 8,59 | 0,02 | 0,15 | 1,70 | 8,51—8,67 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 11 | 8,61 | 0,04 | 0,21 | 2,49 | 8,48—8,74 |
| Промежуточный | 6  | 8,60 | 0,03 | 0,17 | 2,03 | 8,45—8,75 |
| Придонный     | 11 | 8,54 | 0,04 | 0,20 | 2,37 | 8,41—8,67 |

Таблица 5.2

Повторяемость (%) распределения pH в районе V Азовского моря зимой

| Горизонт      | pH        |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 8,16—8,28 | 8,29—8,39 | 8,40—8,50 | 8,51—8,61 | 8,62—8,72 | 8,73—8,83 |
| Поверхностный |           | 11        | 52        | 28        | 6         | 3         |
| Промежуточный |           | 15        | 47        | 24        | 8         | 6         |
| Придонный     | 3         | 29        | 38        | 18        | 9         | 3         |

Таблица 5.3

Основные статистические характеристики средних значений pH в районах Азовского моря весной за период 1960—1981 гг.

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|

Район I

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 8,43 | 0,04 | 0,19 | 2,36 | 8,33—8,52 |
| Промежуточный | 11 | 8,47 | 0,02 | 0,12 | 1,48 | 8,40—8,54 |
| Придонный     | 12 | 8,39 | 0,02 | 0,14 | 1,62 | 8,31—8,47 |

Район II

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 31 | 8,35 | 0,01 | 0,12 | 1,50 | 8,31—8,39 |
| Промежуточный | 28 | 8,34 | 0,02 | 0,12 | 1,49 | 8,29—8,38 |
| Придонный     | 27 | 8,33 | 0,02 | 0,14 | 1,66 | 8,28—8,38 |

Район III

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 16 | 8,40 | 0,02 | 0,16 | 1,85 | 8,32—8,48 |
| Придонный     | 21 | 8,41 | 0,02 | 0,14 | 1,71 | 8,35—8,47 |

Район IV

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 8,42 | 0,01 | 0,13 | 1,50 | 8,35—8,48 |
| Промежуточный | 18 | 8,45 | 0,02 | 0,12 | 1,46 | 8,39—8,51 |
| Придонный     | 15 | 8,43 | 0,02 | 0,13 | 1,57 | 8,36—8,50 |

Район V

|               |     |      |      |      |      |           |
|---------------|-----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 168 | 8,39 | 0,02 | 0,15 | 1,83 | 8,37—8,41 |
| Придонный     | 163 | 8,38 | 0,02 | 0,16 | 1,88 | 8,35—8,40 |

Район VI

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 27 | 8,37 | 0,08 | 0,28 | 3,38 | 8,26—8,48 |
| Придонный     | 27 | 8,33 | 0,03 | 0,16 | 1,92 | 8,27—8,39 |

Район VII

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 40 | 8,45 | 0,04 | 0,21 | 2,53 | 8,38—8,52 |
| Промежуточный | 30 | 8,50 | 0,04 | 0,19 | 2,20 | 8,43—8,57 |
| Придонный     | 38 | 8,42 | 0,03 | 0,18 | 2,09 | 8,36—8,48 |

Район VIII

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 25 | 8,60 | 0,04 | 0,19 | 2,20 | 8,52—8,68 |
| Промежуточный | 12 | 8,62 | 0,03 | 0,19 | 2,18 | 8,51—8,73 |
| Придонный     | 24 | 8,58 | 0,03 | 0,19 | 2,17 | 8,50—8,66 |

Район IX

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 36 | 8,55 | 0,04 | 0,19 | 2,22 | 8,49—8,61 |
| Придонный     | 38 | 8,53 | 0,03 | 0,18 | 2,06 | 8,47—8,59 |



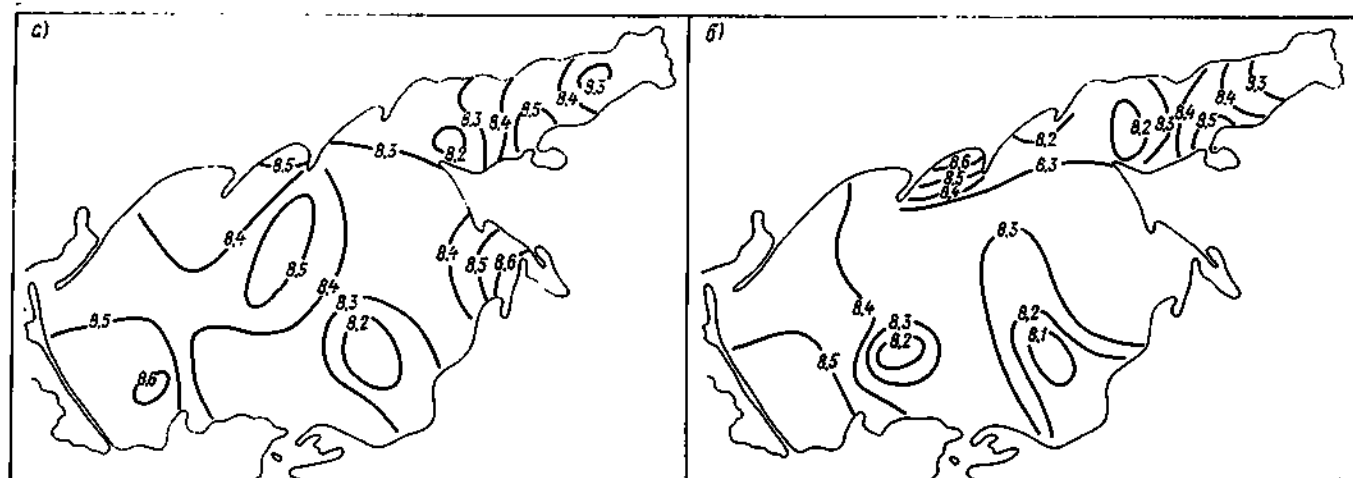


Рис. 5.1. Распределение pH в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря по данным наблюдений за 1982—1985 гг.

ственном распределении отмечается снижение pH в Таганрогском заливе и особенно в районах предустьевых взморий Дона и Кубани по сравнению с ее значениями в центральных районах моря (рис. 5.1). При этом распределение pH на поверхности и у дна оказывается практически одинаковым. Сравнение среднемноголетних значений pH, полученных за маловодный период, с аналогичными данными для многоводного периода по районам V и VI показало, что, как и в случае кислорода, отмечается снижение pH в многоводный период (табл. 5.4).

Распределение pH весной во всей водной толще моря оказывается весьма далеким от нормального распределения практически во всех районах моря, за исключением района II (предустьевое взморье Кубани), где оно довольно близко к нормальному распределению (табл. 5.5).

Значительной асимметрией вероятностного распределения pH характеризуются наиболее динамичные районы моря: III, VII и VIII. Район предпроливного пространства (район III) отличается от других районов также наличием нескольких вершин в кривой вероятностного распределения pH.

На высокие значения pH в водах Таганрогского залива весной указывалось и в предшествующих исследованиях [55]. Сопоставляя распределение фитопланктона весной с распределением pH в это же время, авторы отмечали, что район повышенных значений pH и содержания кислорода в Таганрогском заливе соответствует району наибольшего развития диатомовых водорослей. По их мнению, на повышение pH в этом районе также оказывает влияние сдвиг карбонатного равновесия, обусловленный процессами смешения морских и речных вод. С насыщением и перенасыщением морской воды карбонатом кальция возрастает и pH. Подвижное состояние карбонатно-кальциевого равновесия в смешанных водах может послужить причиной больших изменений значений pH. Кроме того, перенасыщение смешанных вод карбонатом кальция вызывается не только химическими процессами. Исследователями также отмечалось, что в Таганрогском заливе случаи локального перенасыщения вод карбонатом кальция могут быть

Таблица 5.5

Повторяемость (%) распределения pH в различных районах Азовского моря весной

| Горизонт          | pH        |           |           |           |           |           |           |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                   | 8,18—8,23 | 8,23—8,28 | 8,28—8,33 | 8,33—8,38 | 8,38—8,43 | 8,43—8,48 | 8,48—8,53 |
| <b>Район II</b>   |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 13        | 17        | 40        | 17        | 10        | 3         |           |
| Промежуточный     | 4         | 18        | 42        | 21        | 11        | 4         |           |
| Придонный         | 11        | 18        | 41        | 19        | 7         | 4         |           |
| <b>Район III</b>  |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 12        | 6         | 15        | 13        | 38        | 5         |           |
| Придонный         | 5         | 19        | 14        | 19        | 38        | 5         |           |
| <b>Район V</b>    |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 4         | 22        | 23        | 18        | 16        | 10        | 5         |
| Придонный         | 15        | 24        | 22        | 16        | 15        | 2         | 1         |
| <b>Район VII</b>  |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     | 8         | 30        | 20        | 18        | 12        | 12        | 5         |
| Промежуточный     | 10        | 27        | 17        | 15        | 13        | 10        | 6         |
| Придонный         | 8         | 37        | 16        | 13        | 10        | 7         | 6         |
| <b>Район VIII</b> |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     |           | 8         | 35        | 20        | 15        | 10        | 8         |
| Промежуточный     |           | 12        | 30        | 25        | 12        | 8         | 7         |
| Придонный         |           | 12        | 15        | 25        | 21        | 12        | 9         |
| <b>Район IX</b>   |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный     |           | 8         | 11        | 30        | 17        | 14        | 11        |
| Придонный         | 3         | 8         | 24        | 26        | 16        | 10        | 8         |

вызваны повышенной интенсивностью процессов фотосинтеза [54].

**Лето.** Так же как и весной, летом наиболее высокие значения pH отмечаются в водах Таганрогского залива по сравнению со значениями в других районах моря. Так, в открытой части моря в поверхностном слое pH изменяется в пределах 8,34—8,41, а в районах VIII и IX Таганрогского залива — 8,50—8,57 (табл. 5.6).

Летом более отчетливо, чем в другие сезоны, выявляется зависимость между содержанием кис-

Таблица 5.6

Основные статистические характеристики средних значений pH в районах Азовского моря летом за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 24           | 8,39             | 0,03      | 0,17                              | 2,02                    | 8,32—8,46                               |
| Промежуточный     | 19           | 8,35             | 0,03      | 0,16                              | 1,96                    | 8,27—8,42                               |
| Придонный         | 22           | 8,28             | 0,02      | 0,14                              | 1,70                    | 8,22—8,34                               |
| <b>Район II</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 44           | 8,34             | 0,03      | 0,19                              | 2,21                    | 8,28—8,40                               |
| Промежуточный     | 43           | 8,33             | 0,02      | 0,16                              | 1,90                    | 8,28—8,40                               |
| Придонный         | 42           | 8,13             | 0,01      | 0,19                              | 2,34                    | 8,07—8,19                               |
| <b>Район III</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 39           | 8,41             | 0,02      | 0,13                              | 1,59                    | 8,37—8,45                               |
| Промежуточный     | 44           | 8,41             | 0,03      | 0,17                              | 1,98                    | 8,36—8,46                               |
| Придонный         | 35           | 8,32             | 0,03      | 0,18                              | 2,24                    | 8,26—8,38                               |
| <b>Район IV</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 41           | 8,35             | 0,01      | 0,12                              | 1,39                    | 8,31—8,39                               |
| Придонный         | 41           | 8,32             | 0,02      | 0,15                              | 1,80                    | 8,27—8,37                               |
| <b>Район V</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 256          | 8,38             | 0,30      | 0,54                              | 6,48                    | 8,31—8,45                               |
| Промежуточный     | 315          | 8,40             | 0,02      | 0,14                              | 1,66                    | 8,38—8,42                               |
| Придонный         | 252          | 8,27             | 0,04      | 0,21                              | 2,52                    | 8,24—8,30                               |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 52           | 8,36             | 0,01      | 0,13                              | 1,58                    | 8,32—8,40                               |
| Промежуточный     | 58           | 8,37             | 0,02      | 0,12                              | 1,48                    | 8,34—8,40                               |
| Придонный         | 50           | 8,23             | 0,03      | 0,16                              | 2,00                    | 8,18—8,28                               |
| <b>Район VII</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 78           | 8,40             | 0,02      | 0,15                              | 1,84                    | 8,37—8,43                               |
| Промежуточный     | 42           | 8,39             | 0,02      | 0,14                              | 1,68                    | 8,35—8,43                               |
| Придонный         | 76           | 8,37             | 0,02      | 0,16                              | 1,88                    | 8,33—8,41                               |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 47           | 8,50             | 0,03      | 0,17                              | 1,95                    | 8,45—8,55                               |
| Промежуточный     | 25           | 8,46             | 0,02      | 0,16                              | 1,84                    | 8,39—8,52                               |
| Придонный         | 38           | 8,46             | 0,03      | 0,17                              | 2,05                    | 8,44—8,52                               |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 83           | 8,57             | 0,02      | 0,16                              | 1,86                    | 8,53—8,60                               |
| Промежуточный     | 19           | 8,58             | 0,02      | 0,16                              | 1,81                    | 8,50—8,65                               |
| Придонный         | 79           | 8,54             | 0,02      | 0,16                              | 1,88                    | 8,50—8,58                               |

лорода и значениями pH. Снижение содержания растворенного кислорода с глубиной, как правило, сопровождается падением pH. Различия между значениями pH в поверхностном и придонном слоях практически для всех районов моря составляют около 0,1, причем максимальное (0,2) различие было отмечено в районе II (предустьевое взморье р. Кубани).

Максимальная изменчивость pH летом характерна для поверхностных и придонных слоев района V, где среднее квадратическое отклонение pH составило соответственно 0,5 и 0,2, а коэффициент вариации колебался в пределах 2,5—6,5.

По данным наблюдений за 1982—1985 гг., в районах I и V различия pH по вертикали также составили около 0,2. При этом отмечалось и общее снижение pH по сравнению с данными, полученными за 1960—1981 гг. Локальное снижение pH в придонном горизонте летом достигало 7,9—8,0 и отличалось от pH в поверхностном горизонте более чем на 0,5 (рис. 5.2).

Сравнение средних значений pH, полученных в маловодный летний период, с аналогичными данными многоводного периода показало существенное снижение pH в придонном горизонте в многоводный период. Это особенно отчетливо прослеживается в районах II, III, V, где изменчивость pH в придонных горизонтах в зависимости от водности периодов колеблется в пределах 0,1—0,2 (табл. 5.7).

Характер распределения pH в районе V оказывается наиболее близким к нормальному распределению. Однако вершины кривых распределения pH в поверхностном и придонном горизонтах данного района не совпадают (табл. 5.8). В то же время распределение pH в таких динамичных районах моря, которыми являются районы предустьевого взморья Дона и Кубани, летом оказывается весьма далеким от нормального, за исключением распределения pH летом в поверхностном горизонте района VIII.

Осень. Осень отличается сравнительно равномерным распределением pH по всей акватории открытой части моря и в водной толще.

В Таганрогском заливе значения pH воды несколько повышены по сравнению с таковыми в остальных районах моря. По сравнению с летом, как правило, наблюдается некоторое снижение pH

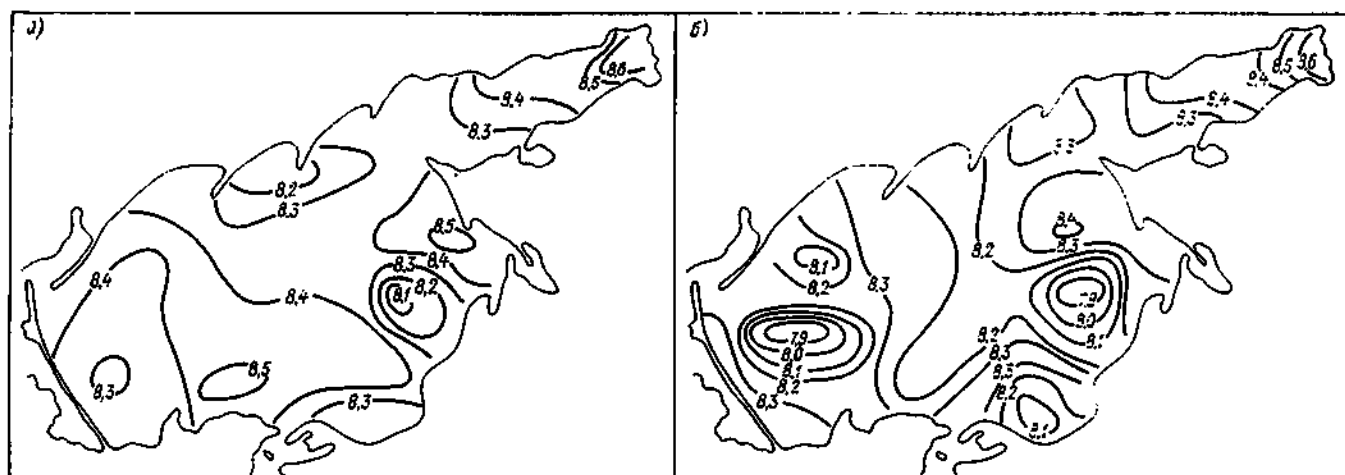


Рис. 5.2. Распределение pH в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря летом по данным за 1982—1985 гг.

Таблица 5.7

Основные статистические характеристики средних значений pH в районах Азовского моря летом в маловодный (1972—1976 гг.) и многоводный (1977—1981 гг.) периоды

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

## Район II

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 24 | 8,27 | 0,03 | 0,17 | 2,08 | 8,20—8,34 |
| Промежуточный | 23 | 8,27 | 0,03 | 0,18 | 2,17 | 8,19—8,35 |
| Придонный     | 23 | 8,15 | 0,05 | 0,22 | 2,70 | 8,06—8,24 |

1977—1981 гг.

|               |   |      |      |      |      |           |
|---------------|---|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 8 | 8,30 | 0,03 | 0,16 | 1,97 | 8,18—8,42 |
| Промежуточный | 9 | 8,36 | 0,00 | 0,05 | 0,60 | 8,32—8,39 |
| Придонный     | 8 | 8,06 | 0,00 | 0,07 | 0,88 | 8,01—8,11 |

## Район III

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 12 | 8,47 | 0,02 | 0,14 | 1,76 | 8,39—8,55 |
| Промежуточный | 13 | 8,49 | 0,01 | 0,12 | 1,45 | 8,42—8,56 |
| Придонный     | 12 | 8,38 | 0,06 | 0,24 | 2,86 | 8,23—8,52 |

1977—1981 гг.

|               |   |      |      |      |      |           |
|---------------|---|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 8 | 8,30 | 0,01 | 0,11 | 1,33 | 8,22—8,38 |
| Промежуточный | 8 | 8,22 | 0,03 | 0,17 | 2,03 | 8,19—8,25 |
| Придонный     | 8 | 8,19 | 0,01 | 0,11 | 1,34 | 8,10—8,28 |

## Район IV

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 17 | 8,32 | 0,01 | 0,09 | 1,04 | 8,27—8,36 |
| Промежуточный | 17 | 8,34 | 0,01 | 0,09 | 1,09 | 8,29—8,38 |
| Придонный     | 17 | 8,30 | 0,02 | 0,13 | 1,62 | 8,23—8,36 |

1977—1981 гг.

|               |   |      |      |      |      |           |
|---------------|---|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 8 | 8,35 | 0,01 | 0,10 | 1,65 | 8,27—8,43 |
| Промежуточный | 7 | 8,38 | 0,01 | 0,08 | 1,81 | 8,31—8,44 |
| Придонный     | 8 | 8,31 | 0,02 | 0,13 | 1,53 | 8,21—8,41 |

## Район V

1972—1976 гг.

|               |     |      |      |      |      |           |
|---------------|-----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 115 | 8,38 | 0,02 | 0,15 | 1,78 | 8,35—8,41 |
| Промежуточный | 125 | 8,36 | 0,02 | 0,14 | 1,74 | 8,33—8,38 |
| Придонный     | 110 | 8,24 | 0,05 | 0,22 | 2,72 | 8,20—8,28 |

| Горизонт | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
|----------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 29 | 8,38 | 0,01 | 0,11 | 1,32 | 8,34—8,42 |
| Промежуточный | 29 | 8,37 | 0,01 | 0,12 | 1,45 | 8,32—8,41 |
| Придонный     | 28 | 8,18 | 0,02 | 0,15 | 1,89 | 8,12—8,24 |

## Район VI

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 23 | 8,35 | 0,02 | 0,13 | 1,57 | 8,29—8,40 |
| Промежуточный | 22 | 8,34 | 0,01 | 0,09 | 1,05 | 8,30—8,38 |
| Придонный     | 22 | 8,20 | 0,02 | 0,16 | 1,06 | 8,13—8,27 |

1977—1981 гг.

|               |   |      |      |      |      |           |
|---------------|---|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 8 | 8,29 | 0,01 | 0,09 | 1,02 | 8,22—8,36 |
| Промежуточный | 7 | 8,26 | 0,00 | 0,08 | 0,93 | 8,19—8,32 |
| Придонный     | 8 | 8,20 | 0,03 | 0,17 | 1,08 | 8,07—8,33 |

## Район VII

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 33 | 8,35 | 0,01 | 0,12 | 1,38 | 8,31—8,39 |
| Промежуточный | 21 | 8,34 | 0,01 | 0,11 | 1,28 | 8,29—8,40 |
| Придонный     | 33 | 8,34 | 0,01 | 0,11 | 1,31 | 8,30—8,38 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 24 | 8,42 | 0,03 | 0,16 | 1,91 | 8,35—8,49 |
| Промежуточный | 10 | 8,44 | 0,02 | 0,14 | 1,65 | 8,35—8,53 |
| Придонный     | 24 | 8,41 | 0,03 | 0,16 | 1,91 | 8,34—8,48 |

## Район VIII

1972—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 25 | 8,46 | 0,02 | 0,14 | 1,67 | 8,40—8,52 |
| Промежуточный | 13 | 8,38 | 0,01 | 0,11 | 1,31 | 8,32—8,44 |
| Придонный     | 23 | 8,43 | 0,02 | 0,16 | 1,89 | 8,36—8,50 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 19 | 8,50 | 0,01 | 0,13 | 1,53 | 8,44—8,56 |
| Придонный     | 18 | 8,49 | 0,02 | 0,15 | 1,87 | 8,42—8,56 |

## Район IX

1977—1976 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 41 | 8,59 | 0,02 | 0,14 | 1,70 | 8,55—8,63 |
| Придонный     | 41 | 8,55 | 0,02 | 0,15 | 1,81 | 8,50—8,60 |

1977—1981 гг.

|               |    |      |      |      |      |           |
|---------------|----|------|------|------|------|-----------|
| Поверхностный | 12 | 8,58 | 0,01 | 0,12 | 1,37 | 8,51—8,65 |
| Промежуточный | 8  | 8,65 | 0,01 | 0,10 | 1,22 | 8,57—8,73 |
| Придонный     | 11 | 8,61 | 0,02 | 0,12 | 1,45 | 8,59—8,69 |

Таблица 5.8

Повторяемость (%) распределения pH в различных районах Азовского моря летом

| Горизонт | pH        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          | 7,85—7,95 | 7,96—8,06 | 8,07—8,17 | 8,18—8,28 | 8,29—8,39 | 8,40—8,50 | 8,51—8,61 | 8,62—8,72 | 8,73—8,83 | 8,84—8,94 | 8,95—9,05 |

## Район II

|               |   |   |    |    |    |    |    |   |   |  |  |
|---------------|---|---|----|----|----|----|----|---|---|--|--|
| Поверхностный |   |   | 11 | 16 | 18 | 28 | 14 | 9 | 4 |  |  |
| Промежуточный |   |   | 14 | 19 | 23 | 21 | 16 | 7 |   |  |  |
| Придонный     | 2 | 7 | 17 | 29 | 17 | 14 | 12 | 2 |   |  |  |

## Район III

|               |  |   |   |    |    |    |    |    |   |   |  |
|---------------|--|---|---|----|----|----|----|----|---|---|--|
| Поверхностный |  |   |   |    | 28 | 34 | 18 | 16 | 2 | 2 |  |
| Придонный     |  | 3 | 6 | 11 | 29 | 29 | 11 | 11 |   |   |  |

| Горизонт      | pH        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 7,85—7,95 | 7,96—8,06 | 8,07—8,17 | 8,18—8,28 | 8,29—8,39 | 8,40—8,50 | 8,51—8,61 | 8,62—8,72 | 8,73—8,83 | 8,84—8,94 | 8,95—9,05 |
| Район V       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный |           |           | 3         | 6         | 11        | 27        | 31        | 16        | 5         | 1         |           |
| Промежуточный |           | 1         | 2         | 3         | 11        | 26        | 33        | 17        | 4         | 2         | 1         |
| Придонный     | 2         | 5         | 8         | 13        | 21        | 19        | 18        | 11        | 3         |           |           |
| Район VII     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный |           |           | 4         | 10        | 13        | 31        | 18        | 15        | 5         | 4         |           |
| Промежуточный |           |           |           | 16        | 19        | 26        | 17        | 12        | 10        |           |           |
| Придонный     |           |           | 9         | 17        | 14        | 28        | 16        | 12        | 3         | 1         |           |
| Район VIII    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный |           |           |           | 6         | 6         | 13        | 28        | 26        | 15        | 4         | 2         |
| Промежуточный |           |           |           | 8         | 16        | 32        | 16        | 16        | 10        | 2         |           |
| Придонный     |           |           |           | 8         | 16        | 16        | 31        | 16        | 10        | 3         |           |
| Район IX      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный |           |           |           | 4         | 5         | 18        | 27        | 19        | 18        | 7         | 2         |
| Промежуточный |           |           |           |           | 6         | 32        | 20        | 16        | 15        | 11        |           |
| Придонный     |           |           |           |           | 9         | 11        | 22        | 20        | 19        | 17        | 2         |

Таблица 5.9

Статистические характеристики средних значений pH в различных районах Азовского моря осенью за 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район I       |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 15           | 8,30             | 0,00      | 0,07                              | 0,80                    | 8,26—8,34                                 |
| Промежуточный | 11           | 8,31             | 0,01      | 0,09                              | 1,11                    | 8,25—8,37                                 |
| Придонный     | 11           | 8,34             | 0,01      | 0,09                              | 1,04                    | 8,28—8,40                                 |
| Район II      |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 33           | 8,33             | 0,01      | 0,11                              | 1,35                    | 8,22—8,37                                 |
| Промежуточный | 21           | 8,37             | 0,02      | 0,14                              | 1,70                    | 8,31—8,43                                 |
| Придонный     | 31           | 8,32             | 0,01      | 0,12                              | 1,44                    | 8,23—8,36                                 |
| Район III     |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 35           | 8,36             | 0,02      | 0,14                              | 1,62                    | 8,31—8,41                                 |
| Промежуточный | 35           | 8,35             | 0,01      | 0,10                              | 1,23                    | 8,32—8,38                                 |
| Придонный     | 35           | 8,33             | 0,01      | 0,10                              | 1,17                    | 8,30—8,36                                 |
| Район IV      |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 15           | 8,35             | 0,01      | 0,13                              | 1,56                    | 8,28—8,42                                 |
| Промежуточный | 17           | 8,35             | 0,01      | 0,11                              | 1,36                    | 8,29—8,40                                 |
| Придонный     | 13           | 8,34             | 0,02      | 0,13                              | 1,57                    | 8,26—8,41                                 |
| Район V       |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 151          | 8,35             | 0,01      | 0,12                              | 1,44                    | 8,33—8,37                                 |
| Промежуточный | 192          | 8,36             | 0,01      | 0,11                              | 1,28                    | 8,34—8,38                                 |
| Придонный     | 144          | 8,34             | 0,01      | 0,11                              | 1,37                    | 8,32—8,36                                 |
| Район VI      |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 27           | 8,32             | 0,00      | 0,08                              | 1,03                    | 8,29—8,35                                 |
| Промежуточный | 31           | 8,34             | 0,01      | 0,08                              | 0,98                    | 8,31—8,37                                 |
| Придонный     | 28           | 8,31             | 0,01      | 0,09                              | 1,07                    | 8,27—8,34                                 |

| Горизонт      | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta = 0,95$ |
|---------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Район VII     |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 44           | 8,45             | 0,02      | 0,15                              | 1,81                    | 8,40—8,50                                 |
| Промежуточный | 32           | 8,43             | 0,02      | 0,15                              | 1,78                    | 8,38—8,48                                 |
| Придонный     | 38           | 8,44             | 0,02      | 0,14                              | 1,73                    | 8,39—8,49                                 |
| Район VIII    |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 25           | 8,45             | 0,02      | 0,14                              | 1,66                    | 8,39—8,51                                 |
| Промежуточный | 10           | 8,46             | 0,02      | 0,14                              | 1,60                    | 8,37—8,55                                 |
| Придонный     | 21           | 8,44             | 0,02      | 0,13                              | 1,55                    | 8,39—8,49                                 |
| Район IX      |              |                  |           |                                   |                         |                                           |
| Поверхностный | 37           | 8,50             | 0,04      | 0,19                              | 2,28                    | 8,44—8,56                                 |
| Промежуточный | 10           | 8,56             | 0,03      | 0,18                              | 2,05                    | 8,44—8,68                                 |
| Придонный     | 36           | 8,51             | 0,03      | 0,18                              | 2,10                    | 8,45—8,57                                 |

в поверхностных и промежуточных слоях моря и его значительное повышение в придонных горизонтах. Это, наряду с повышением содержания кислорода, свидетельствует о снижении интенсивности окислительных процессов моря осенью (табл. 5.9). Практически для всех районов моря, но особенно для района V, характерны более низкие средние квадратические отклонения и коэффициенты вариации по сравнению с аналогичными характеристиками, рассчитанными для лета.

Средние значения pH осенью за 1982—1985 гг. снизились по сравнению со средними значениями pH за 1960—1982 гг. на 0,1—0,2 почти во всех районах моря. Распределение pH на поверхности и у дна практически совпадает (рис. 5.3). Различия в распределении pH в зависимости от водности выделенных периодов осенью обнаружены не были.

В районах устьевых взморий Дона и Кубани, а также в предпроливном районе осенью распределение значений pH не подчиняется закону нор-

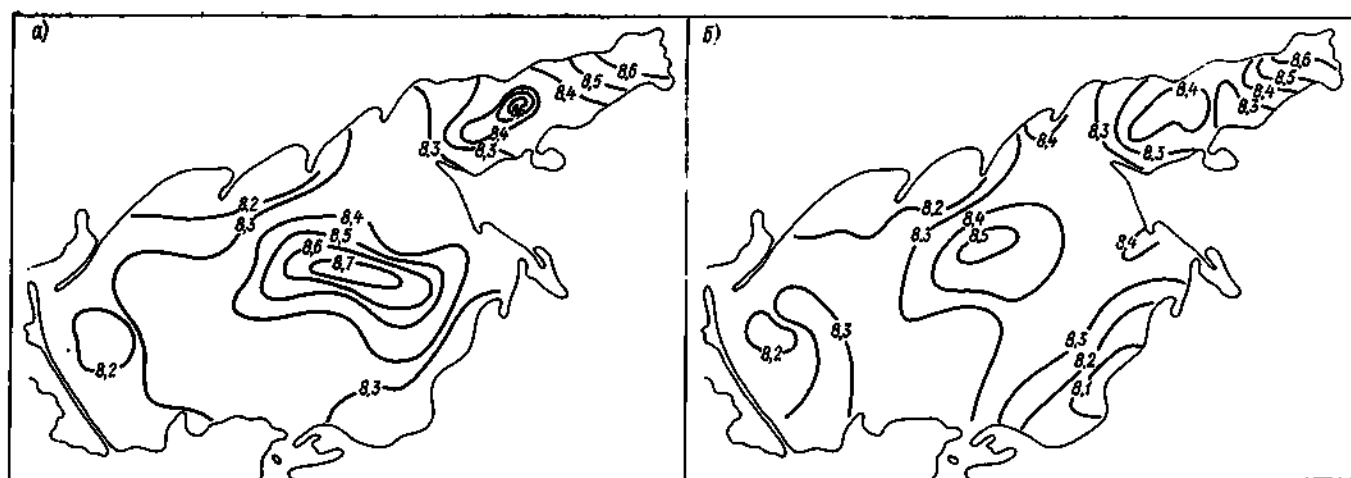


Рис. 5.3. Распределение pH в поверхностном (а) и придонном (б) слоях моря осенью по данным наблюдений за 1982--1985 гг.

Таблица 5.10

Повторяемость (%) распределения pH в различных районах Азовского моря осенью

| Горизонт      | pH        |           |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 8,18—8,28 | 8,29—8,39 | 8,40—8,50 | 8,51—8,61 | 8,62—8,72 | 8,73—8,83 | 8,84—8,94 |
| Район II      |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 11        | 50        | 18        | 12        | 9         |           |           |
| Промежуточный | 10        | 38        | 33        | 14        | 5         |           |           |
| Придонный     | 32        | 39        | 16        | 10        | 3         |           |           |
| Район III     |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 23        | 35        | 11        | 20        | 11        |           |           |
| Промежуточный | 26        | 28        | 23        | 23        |           |           |           |
| Придонный     | 26        | 31        | 26        | 17        |           |           |           |
| Район V       |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 6         | 33        | 35        | 13        | 10        | 2         | 1         |
| Промежуточный | 26        | 38        | 21        | 12        | 3         |           |           |
| Придонный     | 15        | 33        | 29        | 17        | 3         | 2         | 1         |
| Район VII     |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 14        | 18        | 29        | 14        | 14        | 11        |           |
| Промежуточный | 12        | 16        | 38        | 19        | 6         | 6         | 3         |
| Придонный     | 8         | 26        | 26        | 21        | 13        | 6         |           |
| Район VIII    |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 6         | 36        | 20        | 24        | 8         | 12        |           |
| Промежуточный | 5         | 25        | 30        | 10        | 20        | 10        |           |
| Придонный     | 5         | 24        | 29        | 21        | 17        | 4         |           |
| Район IX      |           |           |           |           |           |           |           |
| Поверхностный | 6         | 36        | 20        | 24        | 8         | 12        |           |
| Промежуточный | 5         | 25        | 30        | 10        | 20        | 10        |           |
| Придонный     | 5         | 24        | 29        | 21        | 17        | 4         |           |

мального распределения. Лишь в открытой части моря (район V) распределение значений pH было близко к нормальному в поверхностном горизонте (табл. 5.10).

## 5.2. Сезонные изменения щелочности

Под щелочностью (щелочным резервом) понимается содержание слабых кислот (угольной, кремниевой, борной и фосфорной), связанных с сильными основаниями, выраженное в эквиваленте угольной кислоты. Суммарное содержание солей

кремниевой, борной и фосфорной кислот не превышает в морской воде 0,1 % от содержания угольной кислоты, и поэтому практически щелочность определяется содержанием карбонатных ионов.

На режим щелочности оказывает влияние режим солености. В то же время изменения щелочности зависят от углекислотного равновесия. Кроме того, в суточном ходе щелочности наблюдаются те же изменения, которые характерны для таких элементов газового режима, как pH и кислород, и в связи с этим она иногда рассматривается как показатель фотосинтетических процессов, протекающих в море.

Таблица 5.11

Основные статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в районах Азовского моря зимой за 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район I       |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 8            | 2,772            | 0,03      | 0,17                              | 6,17                    | 2,643—2,901                             |
| Район III     |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 13           | 2,670            | 0,03      | 0,17                              | 6,37                    | 2,571—2,768                             |
| Промежуточный | 14           | 2,710            | 0,03      | 0,17                              | 6,47                    | 2,616—2,804                             |
| Придонный     | 13           | 2,842            | 0,02      | 0,13                              | 4,62                    | 2,767—2,917                             |
| Район IV      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 9            | 2,636            | 0,02      | 0,15                              | 5,87                    | 2,530—2,742                             |
| Промежуточный | 15           | 2,670            | 0,03      | 0,17                              | 6,47                    | 2,579—2,761                             |
| Придонный     | 8            | 2,587            | 0,04      | 0,20                              | 7,10                    | 2,436—2,738                             |
| Район V       |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 50           | 2,631            | 0,03      | 0,17                              | 6,58                    | 2,582—2,679                             |
| Промежуточный | 99           | 2,650            | 0,04      | 0,19                              | 7,06                    | 2,612—2,689                             |
| Придонный     | 48           | 2,657            | 0,03      | 0,17                              | 6,45                    | 2,608—2,706                             |
| Район VI      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 10           | 2,655            | 0,02      | 0,14                              | 5,13                    | 2,562—2,748                             |
| Промежуточный | 18           | 2,663            | 0,03      | 0,16                              | 6,14                    | 2,585—2,741                             |
| Придонный     | 6            | 2,581            | 0,01      | 0,08                              | 3,16                    | 2,570—2,652                             |
| Район IX      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 10           | 2,947            | 0,06      | 0,25                              | 8,57                    | 2,780—3,114                             |
| Промежуточный | 10           | 2,895            | 0,04      | 0,20                              | 6,87                    | 2,762—3,028                             |
| Придонный     | 7            | 2,968            | 0,01      | 0,10                              | 3,45                    | 2,886—3,050                             |

мерно распределяются в диапазоне 2,40—2,70 ммоль/л.

Весна. Весной отмечается незначительное снижение щелочности по всей акватории моря по сравнению с ее значением зимой. В открытой части моря в поверхностном горизонте наблюдалось однородное распределение щелочности весной. Наиболее существенные отличия в распределении щелочности в поверхностном горизонте были обнаружены в Таганрогском заливе, которые выразились в постепенном снижении щелочности по направлению к морю. Так, по данным 1960—1981 гг., в районе IX значение щелочности в поверхностном горизонте составило 2,77 ммоль/л, в районе VIII—2,57 ммоль/л, в районе VII оно снизилось до 2,46 ммоль/л. Повышенные значения щелочности весной были отмечены также в районе предустьевых взморья Кубани, где они изменялись от поверхности до дна в пределах 2,77—2,83 ммоль/л. Наименьшие значения щелочности в этот сезон наблюдались в открытых районах моря.

Практически во всех районах открытой части моря весной отмечается довольно равномерное распределение щелочности с глубиной. Исключение составляет район III, где различия между значениями щелочности в поверхностном и придонном

В устьевых районах, где происходит смешение различных по своему происхождению вод, одним из лучших показателей этого процесса является щелочность.

Таким образом, в климатическом плане щелочность вне районов опреснения материковыми водами меняется только с изменением солености вод. В опресняемых районах щелочность изменяется также под влиянием вод суши, богатых карбонатами [34, 40, 55].

В ряде случаев данные о щелочности служат также для определения агрессивных свойств морской воды.

Первые наблюдения за щелочностью воды Азовского моря производились А. П. Жуковым с апреля по ноябрь 1937 г. Следующие по времени наблюдения проводились АзЧерНИРО в мае 1950 г., апреле 1953 г., январе—феврале, апреле, июле и октябре 1955 г., апреле 1956 г. В 1958 г. ГМО ЧАМ и ГОИН провели экспедиции в Азовском море с определением щелочности в июне, июле и декабре, в 1959 г.—в феврале, марте, апреле, мае, июле и декабре, в 1959 г.—в феврале, марте, апреле, мае, июле, августе и сентябре. Данные наблюдений за щелочностью вод Азовского моря 1953—1959 гг. приведены в «Гидрометеорологическом справочнике Азовского моря» [15].

В последующие годы режим щелочности в водах Азовского моря довольно подробно изучался и было показано, что в Азовском море поверхностная вода перенасыщена карбонатом кальция. Воды устьевых взморья также оказываются перенасыщенными карбонатом кальция, что в свою очередь создает условия для его выпадения в осадок [54, 55].

Для написания данного раздела главы были использованы материалы наблюдений, полученные сетевыми подразделениями Госкомгидромета СССР в течение 1960—1981 гг.

Необходимо отметить, что в течение последнего десятилетия по ряду причин сократились или в некоторых районах моря вообще прекратились наблюдения за щелочностью вод. В связи с этим в нескольких районах моря режим щелочности оказался мало изученным.

Зима. Зимнее перемешивание, как правило, создает равномерное распределение щелочности в поверхностном слое моря и его толще. По сравнению с остальными районами моря исключение составляет район предустьевых взморья Дона (район IX), где отмечаются повышенные значения (более чем на 0,30 ммоль/л). Повышение щелочности с глубиной наблюдается в районе, прилегающем к Керченскому проливу; здесь она несколько увеличивается (0,20 ммоль/л) от поверхности ко дну, чему способствует проникновение черноморских вод (табл. 5.11).

Зимой распределение щелочности оказывается близким к нормальному лишь в поверхностном горизонте предпроливного района моря. Около 50 % значений щелочности этого района укладывается в диапазоне 2,70—2,80 ммоль/л (табл. 5.12). Значения щелочности в открытой части моря (район V) и в районе предустьевых взморья Дона (район IX) характеризуются распределением, весьма далеким от нормального, что выражается в асимметрии кривых распределения и в отсутствии явно выраженных пиков. Так, значения щелочности (до 70 %) в поверхностном слое района V равно-

Повторяемость (%) распределения щелочности в различных районах Азовского моря зимой

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2,201—2,300         | 2,301—2,400 | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 |
| Район III     |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 8           | 8           | 8           | 16          | 46          | 8           | 8           | 2           |
| Промежуточный |                     | 2           | 7           | 7           | 21          | 28          | 28          | 7           |             |
| Придонный     |                     |             |             |             | 15          | 23          | 31          | 23          | 8           |
| Район V       |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 2                   | 2           | 20          | 22          | 28          | 14          | 10          | 2           |             |
| Промежуточный | 2                   | 3           | 18          | 21          | 23          | 19          | 8           | 6           |             |
| Придонный     |                     |             | 6           | 16          | 17          | 31          | 14          | 8           | 8           |
| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |
|               | 2,601—2,700         | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 | 3,201—3,300 |             |             |
| Район IX      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 10                  | 10          | 10          | 10          | 30          | 20          | 10          | 10          |             |
| Промежуточный |                     | 10          | 10          | 20          | 50          | 10          |             |             |             |
| Придонный     |                     |             | 14          | 30          | 43          | 13          |             |             |             |

Таблица 5.13

Основные статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в различных районах Азовского моря весной за 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район I       |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 8            | 2,644            | 0,02      | 0,15                              | 5,62                    | 2,530—2,758                             |
| Промежуточный | 8            | 2,671            | 0,02      | 0,15                              | 5,68                    | 2,557—2,785                             |
| Придонный     | 5            | 2,647            | 0,03      | 0,18                              | 6,87                    | 2,767—3,827                             |
| Район II      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 8            | 2,772            | 0,02      | 0,17                              | 6,17                    | 2,643—2,901                             |
| Промежуточный | 12           | 2,796            | 0,01      | 0,11                              | 4,16                    | 2,730—2,862                             |
| Придонный     | 8            | 2,833            | 0,02      | 0,13                              | 4,45                    | 2,735—2,931                             |
| Район III     |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 21           | 2,583            | 0,01      | 0,09                              | 3,33                    | 2,543—2,623                             |
| Промежуточный | 20           | 2,653            | 0,02      | 0,16                              | 5,87                    | 2,580—2,726                             |
| Придонный     | 20           | 2,692            | 0,03      | 0,17                              | 6,26                    | 2,614—2,770                             |
| Район IV      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 12           | 2,661            | 0,01      | 0,11                              | 4,24                    | 2,595—2,727                             |
| Промежуточный | 15           | 2,649            | 0,00      | 0,10                              | 3,85                    | 2,596—2,702                             |
| Придонный     | 10           | 2,665            | 0,02      | 0,15                              | 5,68                    | 2,565—2,765                             |
| Район V       |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 112          | 2,630            | 0,03      | 0,16                              | 6,19                    | 2,600—2,660                             |
| Промежуточный | 154          | 2,682            | 0,03      | 0,17                              | 6,52                    | 2,655—2,709                             |
| Придонный     | 109          | 2,664            | 0,03      | 0,17                              | 6,49                    | 2,631—2,697                             |
| Район VI      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 23           | 2,742            | 0,01      | 0,11                              | 4,12                    | 2,695—2,789                             |
| Промежуточный | 31           | 2,735            | 0,01      | 0,12                              | 4,44                    | 2,691—2,779                             |
| Придонный     | 17           | 2,730            | 0,02      | 0,13                              | 4,74                    | 2,655—2,795                             |
| Район VII     |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 25           | 2,457            | 0,27      | 0,52                              | 21,08                   | 2,245—2,669                             |
| Промежуточный | 19           | 2,350            | 0,26      | 0,51                              | 21,78                   | 2,109—2,591                             |
| Придонный     | 23           | 2,600            | 0,21      | 0,46                              | 17,51                   | 2,404—2,796                             |
| Район VIII    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 17           | 2,573            | 0,25      | 0,50                              | 19,42                   | 2,323—2,823                             |
| Промежуточный | 14           | 2,508            | 0,16      | 0,40                              | 15,91                   | 2,286—2,730                             |
| Придонный     | 16           | 2,545            | 0,25      | 0,50                              | 19,84                   | 2,287—2,803                             |
| Район IX      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 28           | 2,768            | 0,24      | 0,29                              | 17,79                   | 2,657—2,879                             |
| Промежуточный | 16           | 2,929            | 0,07      | 0,26                              | 9,00                    | 2,795—3,063                             |
| Придонный     | 15           | 2,703            | 0,20      | 0,45                              | 16,69                   | 2,462—2,944                             |

горизонтах, по осредненным данным в разные периоды исследования, составили 0,11 ммоль/л (табл. 5.13). Повышение щелочности в этом районе у дна связано с проникновением черноморских вод.

В районах Таганрогского залива и предустьевых взморья Кубани весной увеличивается изменчивость щелочности: коэффициент вариации достигает 16—22 % в этих динамических районах моря, подверженных существенному влиянию донских и кубанских вод. На стыке различных по природе двух водных масс: хлоридно-натриевых и гидрокарбонат-

Таблица 5.14

Основные статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в различных районах Азовского моря весной в маловодный период (1972—1976 гг.)

| Горизонт      | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|---------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| Район II      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 5            | 2,867            | 0,02      | 0,15                              | 5,28                    | 2,717—3,017                             |
| Промежуточный | 9            | 2,855            | 0,00      | 0,06                              | 2,18                    | 2,813—2,897                             |
| Придонный     | 5            | 2,920            | 0,00      | 0,06                              | 2,25                    | 2,860—2,980                             |
| Район V       |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 34           | 2,830            | 0,01      | 0,12                              | 4,24                    | 2,788—2,872                             |
| Промежуточный | 63           | 2,839            | 0,01      | 0,11                              | 3,93                    | 2,811—2,867                             |
| Придонный     | 31           | 2,872            | 0,01      | 0,11                              | 2,89                    | 2,832—2,919                             |
| Район VI      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 5            | 2,854            | 0,00      | 0,03                              | 1,01                    | 2,824—2,884                             |
| Промежуточный | 8            | 2,869            | 0,00      | 0,01                              | 1,38                    | 2,839—2,899                             |
| Придонный     | 5            | 2,876            | 0,00      | 0,05                              | 1,61                    | 2,826—2,926                             |
| Район VIII    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 11           | 2,261            | 0,15      | 0,38                              | 16,92                   | 2,021—2,501                             |
| Придонный     | 11           | 2,356            | 0,16      | 0,40                              | 16,80                   | 2,103—2,609                             |
| Район IX      |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный | 13           | 2,330            | 0,14      | 0,37                              | 16,05                   | 2,115—2,544                             |
| Промежуточный | 11           | 2,243            | 0,11      | 0,34                              | 15,11                   | 2,028—2,458                             |
| Придонный     | 11           | 2,260            | 0,16      | 0,40                              | 17,59                   | 2,007—2,513                             |

ных — происходит нарушение карбонатного равновесия, что влияет на изменение общей щелочности.

В маловодный период резко меняется распределение щелочности по всей акватории моря: в открытых районах моря значения щелочности возрастают примерно на 0,20 ммоль/л, в Таганрогском заливе значения щелочности в течение 1972—1976 гг. снижаются на 0,30—0,50 ммоль/л по сравнению со средними данными за 1960—1981 гг. Повышение щелочности в открытых районах моря

в маловодный период связано с ростом солености. Снижение щелочности в водах Таганрогского залива, по-видимому, обусловлено ослаблением влияния речных вод (табл. 5.14). Таким образом, колебания значений щелочности в различных районах моря в один и тот же сезон могут быть вызваны различными причинами.

Весной распределение щелочности в различных районах моря оказывается далеким от нормального для всех слоев моря (табл. 5.15, 5.16). Исключение

Таблица 5.15

Повторяемость (%) распределения щелочности в различных районах Азовского моря весной

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2,301—2,400         | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 |
| Район I       |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 12          | 38          | 26          | 12          | 12          |             |             |             |
| Промежуточный |                     | 12          | 36          | 16          | 12          | 12          | 12          |             |             |
| Придонный     |                     | 20          | 40          | 20          | 20          |             |             |             |             |
| Район II      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             | 1           | 50          | 25          | 12          | 12          |             |
| Промежуточный |                     |             | 8           | 10          | 16          | 50          | 16          |             |             |
| Придонный     |                     |             |             | 10          | 13          | 25          | 50          | 2           |             |
| Район III     |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 19          | 43          | 24          | 14          |             |             |             |             |
| Промежуточный |                     | 15          | 35          | 35          | 35          | 5           | 5           |             |             |
| Придонный     |                     | 10          | 40          | 25          | 15          | 5           | 5           |             |             |
| Район IV      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 8           | 25          | 42          | 17          | 8           |             |             |             |
| Промежуточный |                     |             | 26          | 52          | 13          | 6           | 3           |             |             |
| Придонный     |                     | 10          | 30          | 30          | 20          | 10          |             |             |             |
| Район V       |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 2                   | 11          | 39          | 22          | 10          | 7           | 6           | 3           |             |
| Промежуточный | 1                   | 10          | 27          | 25          | 12          | 10          | 8           | 6           | 1           |
| Придонный     |                     | 16          | 28          | 28          | 13          | 12          | 2           | 2           |             |
| Район VI      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             | 13          | 18          | 26          | 39          | 4           |             |             |
| Промежуточный |                     |             | 16          | 23          | 32          | 29          | 10          |             |             |
| Придонный     |                     |             | 19          | 23          | 23          | 23          | 12          |             |             |

Таблица 5.16

Повторяемость (%) распределения щелочности в водах Таганрогского залива весной

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 1,701—1,800         | 1,801—1,900 | 1,901—2,000 | 2,001—2,100 | 2,101—2,200 | 2,201—2,300 | 2,301—2,400 | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 |
| Район VII     |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 8                   | 8           | 16          | 16          | 16          | 12          | 8           | 8           | 4           | 4           |             |             |             |             |             |
| Промежуточный | 5                   | 10          | 21          | 16          | 10          | 10          | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 3           |             |             |             |
| Придонный     |                     |             |             |             |             | 7           | 9           | 22          | 22          | 17          | 13          | 10          |             |             |             |
| Район VIII    |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             | 2           | 3           | 3           | 3           | 4           | 5           | 10          | 12          | 18          | 12          | 5           | 5           |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 2           | 6           | 7           | 7           | 7           | 7           | 8           | 14          | 21          | 14          | 7           |             |
| Придонный     |                     |             |             |             | 6           | 6           | 6           | 12          | 12          | 12          | 19          | 19          | 6           | 2           |             |
| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|               | 2,301—2,400         | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 | 3,201—3,300 | 3,301—3,400 |             |             |             |             |
| Район IX      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 4                   | 5           | 5           | 5           | 9           | 11          | 11          | 14          | 25          | 7           | 4           |             |             |             |             |
| Промежуточный |                     |             | 6           | 6           | 12          | 12          | 12          | 19          | 6           | 6           |             |             |             |             |             |



составляет район предустьевого взморья Кубани, где вершины кривых распределения значений щелочности для поверхности, промежуточного и придонного горизонтов не совпадают.

Наиболее близко к нормальному распределению оказывается распределение значений щелочности в водах района V. Около 40 % значений щелочности в поверхностном слое укладывается в диапазоне значений 2,50—2,60 ммоль/л. При этом обращает на себя внимание асимметрия кривой распределения, где более 60 % значений щелочности оказывается в диапазоне 2,50—2,70 ммоль/л.

**Лето.** С наступлением лета в открытой части моря значения щелочности практически не изменяются. Исключение составляют районы Таганрогского залива, где летом наблюдается резкое повышение щелочности по сравнению с ее значением весной на 0,30—0,50 ммоль/л (табл. 5.17). В откры-

той части моря (район V), как и весной, происходит незначительное повышение щелочности от поверхности до дна, достигающее 0,03 ммоль/л; в предпроливном районе (район III) обнаружено однородное распределение в водной толще. В районах предустьевого взморья Кубани и Дона наблюдается некоторое увеличение щелочности с глубиной: на 0,02—0,04 ммоль/л.

По сравнению с весной летом в открытой части моря коэффициент вариации, характеризующий изменчивость щелочности, уменьшается примерно на 2 %; в Таганрогском заливе он снижается до 7—14 %.

В маловодный период (1972—1976 гг.) летом по сравнению с аналогичным сезоном периода 1960—1981 гг. отмечается возрастание щелочности во всей акватории и водной толще моря на 0,10—0,30 ммоль/л. Исключение составляют районы Таганрогского залива, где щелочность снижается на 0,10 ммоль/л в поверхностном слое и на 0,30—0,40 ммоль/л — в придонном (табл. 5.18).

Летом распределение щелочности приближается к нормальному в поверхностном слое района III и

Таблица 5.17  
Статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в различных районах Азовского моря летом за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 10           | 2,730            | 0,06      | 0,24                              | 8,98                    | 2,570—2,826                             |
| Промежуточный     | 10           | 2,765            | 0,07      | 0,26                              | 9,49                    | 2,592—2,938                             |
| Придонный         | 8            | 2,684            | 0,04      | 0,21                              | 7,78                    | 2,525—2,843                             |
| <b>Район II</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 18           | 2,738            | 0,02      | 0,15                              | 5,49                    | 2,665—2,811                             |
| Промежуточный     | 30           | 2,768            | 0,02      | 0,16                              | 5,78                    | 2,709—2,827                             |
| Придонный         | 16           | 2,755            | 0,02      | 0,16                              | 5,83                    | 2,675—2,835                             |
| <b>Район III</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 26           | 2,672            | 0,03      | 0,17                              | 6,44                    | 2,604—2,740                             |
| Промежуточный     | 30           | 2,677            | 0,08      | 0,14                              | 8,84                    | 2,588—2,766                             |
| Придонный         | 13           | 2,672            | 0,04      | 0,20                              | 7,57                    | 2,556—2,788                             |
| <b>Район IV</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 22           | 2,658            | 0,05      | 0,22                              | 8,42                    | 2,562—2,754                             |
| Промежуточный     | 33           | 2,666            | 0,05      | 0,22                              | 8,32                    | 2,588—2,744                             |
| Придонный         | 21           | 2,650            | 0,04      | 0,21                              | 7,97                    | 2,556—2,744                             |
| <b>Район V</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 177          | 2,658            | 0,04      | 0,21                              | 7,93                    | 2,626—2,690                             |
| Промежуточный     | 280          | 2,660            | 0,05      | 0,23                              | 8,53                    | 2,633—2,687                             |
| Придонный         | 179          | 2,683            | 0,05      | 0,22                              | 8,26                    | 2,650—2,716                             |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 31           | 2,633            | 0,07      | 0,26                              | 10,08                   | 2,538—2,728                             |
| Промежуточный     | 45           | 2,640            | 0,05      | 0,26                              | 9,67                    | 2,562—2,718                             |
| Придонный         | 29           | 2,668            | 0,06      | 0,23                              | 8,80                    | 2,581—2,755                             |
| <b>Район VII</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 30           | 2,826            | 0,14      | 0,38                              | 13,43                   | 2,685—2,967                             |
| Придонный         | 26           | 2,861            | 0,14      | 0,37                              | 12,95                   | 2,713—3,009                             |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 24           | 2,933            | 0,14      | 0,38                              | 12,93                   | 2,775—3,091                             |
| Промежуточный     | 21           | 2,879            | 0,16      | 0,41                              | 14,12                   | 2,696—3,062                             |
| Придонный         | 19           | 2,914            | 0,15      | 0,39                              | 13,36                   | 2,730—3,098                             |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 39           | 3,010            | 0,10      | 0,32                              | 10,86                   | 2,906—3,114                             |
| Промежуточный     | 24           | 2,961            | 0,12      | 0,34                              | 11,55                   | 2,809—3,093                             |
| Придонный         | 17           | 3,059            | 0,05      | 0,23                              | 7,61                    | 2,944—3,174                             |

Таблица 5.18  
Основные статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в районах Азовского моря летом в маловодный период (1972—1976 гг.)

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район II</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 12           | 2,827            | 0,01      | 0,08                              | 2,89                    | 2,779—2,875                             |
| Промежуточный     | 19           | 2,866            | 0,01      | 0,08                              | 2,98                    | 2,828—2,904                             |
| Придонный         | 9            | 2,873            | 0,01      | 0,08                              | 2,82                    | 2,817—2,929                             |
| <b>Район III</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 6            | 2,914            | 0,03      | 0,18                              | 6,34                    | 2,753—3,074                             |
| <b>Район IV</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 6            | 2,914            | 0,03      | 0,18                              | 6,34                    | 2,753—3,075                             |
| Промежуточный     | 8            | 2,950            | 0,02      | 0,15                              | 5,00                    | 2,789—3,064                             |
| Придонный         | 6            | 2,878            | 0,01      | 0,19                              | 6,71                    | 2,708—3,048                             |
| <b>Район V</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 60           | 2,833            | 0,02      | 0,13                              | 4,61                    | 2,799—2,867                             |
| Промежуточный     | 115          | 2,853            | 0,02      | 0,12                              | 4,32                    | 2,832—2,874                             |
| Придонный         | 59           | 2,861            | 0,02      | 0,13                              | 4,64                    | 2,827—2,895                             |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 9            | 2,830            | 0,03      | 0,18                              | 6,52                    | 2,703—2,957                             |
| Промежуточный     | 13           | 2,865            | 0,00      | 0,07                              | 2,33                    | 2,825—2,905                             |
| Придонный         | 9            | 2,901            | 0,00      | 0,06                              | 2,11                    | 2,859—2,943                             |
| <b>Район VII</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 11           | 2,709            | 0,17      | 0,41                              | 15,33                   | 2,450—2,968                             |
| Промежуточный     | 10           | 2,690            | 0,17      | 0,42                              | 15,46                   | 2,410—2,970                             |
| Придонный         | 9            | 2,888            | 0,08      | 0,29                              | 10,07                   | 2,683—3,093                             |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 9            | 2,785            | 0,16      | 0,40                              | 14,30                   | 2,502—3,068                             |
| Придонный         | 9            | 2,637            | 0,18      | 0,42                              | 16,15                   | 2,840—2,934                             |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 10           | 2,957            | 0,02      | 0,15                              | 5,17                    | 2,857—3,057                             |
| Промежуточный     | 7            | 2,917            | 0,02      | 0,14                              | 4,97                    | 2,803—3,031                             |
| Придонный         | 7            | 3,020            | 0,02      | 0,16                              | 5,38                    | 2,889—3,151                             |

промежуточном горизонте района V. Около 45 и 35 % значений щелочности укладывается в диапазонах 2,60—2,70 и 2,70—2,80 ммоль/л соответственно. Для всех других районов моря распределение

значений щелочности весьма далеко от нормального (табл. 5.19, 5.20).

Осень. По сравнению со щелочностью летом, осенью щелочность вод моря меняется незначи-

Таблица 5.19

Повторяемость (%) распределения щелочности в различных районах Азовского моря летом

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2,101—2,200         | 2,201—2,300 | 2,301—2,400 | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 |
| Район I       |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             | 10          | 10          | 10          | 20          | 20          | 10          | 10          | 10          |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 10          | 20          | 30          | 10          | 10          | 10          | 10          |             |
| Придонный     |                     |             |             | 12          | 25          | 25          | 25          | 13          |             |             |             |
| Район II      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             | 6           | 6           | 16          | 22          | 39          | 11          |             |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 10          | 10          | 11          | 13          | 43          | 13          |             |             |
| Придонный     |                     |             |             | 9           | 12          | 13          | 18          | 31          | 17          |             |             |
| Район III     |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 3           | 5           | 7           | 16          | 46          | 11          | 8           | 8           | 4           |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 7           | 10          | 30          | 23          | 13          | 3           | 3           | 3           |
| Придонный     |                     |             |             | 1           | 15          | 46          | 15          | 15          | 8           |             |             |
| Район IV      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 1           | 9           | 9           | 14          | 32          | 18          | 9           | 4           | 4           |             |
| Промежуточный |                     | 5           | 5           | 9           | 9           | 30          | 21          | 11          | 5           | 5           |             |
| Придонный     |                     | 3           | 5           | 14          | 10          | 38          | 20          | 10          |             |             |             |
| Район V       |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 4                   | 5           | 6           | 12          | 15          | 26          | 18          | 9           | 3           | 2           |             |
| Промежуточный | 2                   | 5           | 5           | 5           | 11          | 15          | 35          | 11          | 5           | 3           | 3           |
| Придонный     | 3                   | 6           | 7           | 7           | 10          | 17          | 19          | 16          | 10          | 3           | 2           |
| Район VI      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 3                   | 3           | 6           | 10          | 10          | 22          | 14          | 16          | 16          |             |             |
| Промежуточный | 2                   | 5           | 7           | 9           | 11          | 11          | 20          | 21          | 11          |             |             |
| Придонный     |                     | 3           | 7           | 14          | 14          | 14          | 14          | 24          | 10          |             |             |

Таблица 5.20

Повторяемость (%) распределения щелочности в водах Таганрогского залива летом

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2,101—2,200         | 2,201—2,300 | 2,301—2,400 | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 | 3,201—3,300 | 3,301—3,400 | 3,401—3,500 |
| Район VII     |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 4                   | 3           | 3           | 3           | 6           | 6           | 7           | 10          | 20          | 17          | 17          | 8           |             |             |
| Придонный     |                     | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 7           | 16          | 19          | 19          | 11          |             |             |
| Район VIII    |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             | 4           | 4           | 4           | 8           | 12          | 12          | 12          | 24          | 12          | 8           |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 5           | 5           | 5           | 10          | 14          | 10          | 10          | 19          | 12          | 10          |             |
| Придонный     |                     |             |             | 3           | 5           | 5           | 10          | 10          | 10          | 10          | 21          | 21          | 5           |             |
| Район IX      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             | 3           | 6           | 6           | 6           | 15          | 18          | 23          | 13          | 5           | 3           | 2           |
| Промежуточный |                     |             |             | 8           | 8           | 4           | 8           | 16          | 16          | 16          | 8           | 8           | 4           | 4           |
| Придонный     |                     |             |             |             |             |             | 6           | 12          | 17          | 18          | 35          | 6           | 6           |             |

тельно. Существенное (на 0,50 ммоль/л) снижение этого показателя отмечаеся лишь в водах Таганрогского залива. Распределение щелочности по акватории моря осенью характеризуется высокими значениями в предпроливном районе и в районе предустьевого взморья Кубани (табл. 5.21).

Таблица 5.21

Основные статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в различных районах Азовского моря осенью за 1960—1981 гг.

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район I</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 9            | 2,611            | 0,04      | 0,20                              | 7,53                    | 2,470—2,752                             |
| Промежуточный     | 10           | 2,593            | 0,05      | 0,21                              | 8,28                    | 2,453—2,733                             |
| Придонный         | 8            | 2,658            | 0,04      | 0,18                              | 7,13                    | 2,522—2,794                             |
| <b>Район II</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 19           | 2,767            | 0,03      | 0,18                              | 6,66                    | 2,682—2,852                             |
| Промежуточный     | 31           | 2,778            | 0,04      | 0,19                              | 6,75                    | 2,709—2,847                             |
| Придонный         | 19           | 2,927            | 0,04      | 0,19                              | 6,46                    | 2,837—3,017                             |
| <b>Район III</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 28           | 2,864            | 0,06      | 0,24                              | 8,21                    | 2,772—2,956                             |
| Промежуточный     | 37           | 2,787            | 0,05      | 0,23                              | 8,24                    | 2,710—2,864                             |
| <b>Район IV</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 19           | 2,601            | 0,05      | 0,23                              | 8,70                    | 2,493—2,709                             |
| Промежуточный     | 15           | 2,670            | 0,03      | 0,17                              | 6,47                    | 2,579—2,761                             |
| Придонный         | 19           | 2,641            | 0,03      | 0,18                              | 6,87                    | 2,556—2,726                             |
| <b>Район V</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 182          | 2,631            | 0,05      | 0,22                              | 8,59                    | 2,598—2,664                             |
| Промежуточный     | 300          | 2,619            | 0,05      | 0,22                              | 8,54                    | 2,594—2,644                             |
| Придонный         | 179          | 2,640            | 0,05      | 0,22                              | 8,27                    | 2,607—2,673                             |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 35           | 2,654            | 0,03      | 0,19                              | 7,03                    | 2,589—2,719                             |
| Промежуточный     | 52           | 2,686            | 0,04      | 0,20                              | 7,38                    | 2,630—2,742                             |
| Придонный         | 30           | 2,667            | 0,04      | 0,21                              | 7,82                    | 2,589—2,745                             |
| <b>Район VII</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 22           | 2,536            | 0,50      | 0,25                              | 19,61                   | 2,318—2,754                             |
| Придонный         | 18           | 2,497            | 0,22      | 0,47                              | 18,74                   | 2,269—2,725                             |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 20           | 2,605            | 0,24      | 0,49                              | 13,96                   | 2,380—2,830                             |
| Промежуточный     | 14           | 2,829            | 0,16      | 0,39                              | 13,39                   | 2,612—3,046                             |
| Придонный         | 16           | 2,492            | 0,26      | 0,51                              | 20,55                   | 2,228—2,756                             |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 34           | 2,591            | 0,25      | 0,50                              | 19,27                   | 2,420—2,768                             |
| Промежуточный     | 19           | 2,614            | 0,19      | 0,43                              | 16,59                   | 2,411—2,817                             |
| Придонный         | 19           | 2,616            | 0,23      | 0,48                              | 18,42                   | 2,390—2,842                             |

Благодаря усиливающемуся в это время года волнению и интенсивному перемешиванию отмечается практически однородное распределение щелочности по всей водной толще. Исключение составляет

район предустьевого взморья Кубани, где различия между значениями щелочности в поверхностном и придонном слоях составили 0,15 ммоль/л.

Коэффициент вариации, характеризующий изменчивость щелочности в море осенью, колеблется в пределах 6—8 %. Максимальная (до 20 %) изменчивость щелочности имеет место в районах Таганрогского залива.

В условиях маловодных лет почти во всех районах моря щелочность возрастает на 0,10—0,20 ммоль/л, и только в районах Таганрогского залива она резко снижается на 0,50—0,65 ммоль/л по сравнению с данными, полученными за 1960—1981 гг. (табл. 5.22).

Таблица 5.22

Основные статистические характеристики средних значений щелочности (ммоль/л) в районах Азовского моря осенью в маловодный период (1972—1976 гг.)

| Горизонт          | Число данных | Среднее значение | Дисперсия | Среднее квадратическое отклонение | Коэффициент вариации, % | Доверительный интервал при $\beta=0,95$ |
|-------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Район II</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 9            | 2,858            | 0,02      | 0,15                              | 5,11                    | 2,752—2,964                             |
| Промежуточный     | 10           | 2,885            | 0,02      | 0,14                              | 5,18                    | 2,792—2,978                             |
| Придонный         | 7            | 2,858            | 0,01      | 0,11                              | 4,18                    | 2,768—2,948                             |
| <b>Район IV</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 6            | 2,785            | 0,01      | 0,10                              | 3,77                    | 2,696—2,874                             |
| Промежуточный     | 9            | 2,793            | 0,01      | 0,10                              | 3,56                    | 2,722—2,864                             |
| Придонный         | 6            | 2,793            | 0,01      | 0,10                              | 3,56                    | 2,704—2,882                             |
| <b>Район V</b>    |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 56           | 2,775            | 0,01      | 0,11                              | 4,02                    | 2,746—2,805                             |
| Промежуточный     | 93           | 2,796            | 0,01      | 0,11                              | 3,99                    | 2,773—2,819                             |
| Придонный         | 55           | 2,806            | 0,01      | 0,10                              | 3,75                    | 2,779—2,833                             |
| <b>Район VI</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 11           | 2,779            | 0,01      | 0,11                              | 3,91                    | 2,709—2,819                             |
| Промежуточный     | 18           | 2,783            | 0,01      | 0,11                              | 3,98                    | 2,730—2,831                             |
| Придонный         | 11           | 2,814            | 0,01      | 0,12                              | 4,17                    | 2,738—2,890                             |
| <b>Район VII</b>  |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 12           | 1,991            | 0,01      | 0,11                              | 5,61                    | 1,925—2,057                             |
| Придонный         | 6            | 1,965            | 0,02      | 0,13                              | 6,79                    | 1,849—2,081                             |
| <b>Район VIII</b> |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 8            | 2,031            | 0,01      | 0,11                              | 5,61                    | 1,948—2,114                             |
| Придонный         | 8            | 1,999            | 0,01      | 0,08                              | 4,26                    | 1,938—2,060                             |
| <b>Район IX</b>   |              |                  |           |                                   |                         |                                         |
| Поверхностный     | 12           | 2,004            | 0,00      | 0,07                              | 3,39                    | 1,962—2,046                             |
| Промежуточный     | 7            | 2,008            | 0,00      | 0,07                              | 3,60                    | 1,951—2,065                             |
| Придонный         | 6            | 1,973            | 0,00      | 0,06                              | 3,10                    | 1,919—2,026                             |

Распределение щелочности осенью оказывается весьма далеким от нормального во всех районах моря (табл. 5.23, 5.24).

Анализ сезонного хода щелочности показал: район V — диапазон сезонных колебаний ее значений в толще вод составил 2,63—2,67 ммоль/л, т. е.

Таблица 5.23

Повторяемость (%) распределения щелочности в различных районах Азовского моря осенью

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2,001—2,100         | 2,101—2,200 | 2,201—2,300 | 2,301—2,400 | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 | 3,201—3,300 |
| Район II      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             | 1           | 11          | 22          | 33          | 22          | 11          |             |             |             |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 10          | 10          | 10          | 30          | 20          | 10          |             |             |             |             |
| Придонный     |                     |             |             | 12          | 12          | 4           | 24          | 24          | 24          |             |             |             |             |
| Район II      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             |             |             | 5           | 10          | 21          | 21          | 26          | 10          | 7           |             |
| Промежуточный |                     |             |             |             |             | 6           | 13          | 16          | 26          | 29          | 7           | 3           |             |
| Придонный     |                     |             |             |             |             | 8           | 10          | 10          | 10          | 31          | 21          | 10          |             |
| Район III     |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             |             |             | 4           | 7           | 7           | 11          | 18          | 29          | 12          | 8           | 4           |
| Промежуточный |                     |             |             |             | 5           | 11          | 12          | 12          | 16          | 27          | 14          | 3           |             |
| Придонный     |                     |             |             |             |             | 10          | 10          | 10          | 10          | 30          | 20          | 10          |             |
| Район IV      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     |             | 5           | 5           | 10          | 16          | 16          | 16          | 26          | 5           |             |             |             |
| Промежуточный |                     |             |             | 5           | 7           | 14          | 7           | 20          | 31          | 6           |             |             |             |
| Придонный     |                     |             |             | 16          | 10          | 10          | 31          | 26          | 5           |             |             |             |             |
| Район V       |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный | 2                   | 3           | 4           | 6           | 14          | 15          | 19          | 16          | 11          | 8           | 2           |             |             |
| Промежуточный | 2                   | 3           | 4           | 7           | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 7           | 2           |             |             |
| Придонный     | 2                   | 2           | 4           | 4           | 14          | 15          | 16          | 16          | 20          | 5           | 2           |             |             |
| Район VI      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Поверхностный |                     | 3           | 3           | 6           | 8           | 9           | 28          | 23          | 14          | 6           |             |             |             |
| Промежуточный |                     |             | 2           | 6           | 8           | 7           | 21          | 29          | 17          | 8           | 2           |             |             |
| Придонный     |                     |             | 3           | 6           | 8           | 9           | 20          | 27          | 17          | 7           | 3           |             |             |

Таблица 5.24

Повторяемость (%) распределения щелочности в водах Таганрогского залива осенью

| Горизонт      | Щелочность, ммоль/л |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |   |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
|               | 2,101—2,200         | 2,201—2,300 | 2,301—2,400 | 2,401—2,500 | 2,501—2,600 | 2,601—2,700 | 2,701—2,800 | 2,801—2,900 | 2,901—3,000 | 3,001—3,100 | 3,101—3,200 |   |
| Район VIII    |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |   |
| Поверхностный | 5                   | 6           | 7           | 9           | 10          | 10          | 18          | 20          | 5           |             |             |   |
| Промежуточный | 4                   | 4           | 5           | 6           | 7           | 9           | 10          | 14          | 28          | 8           |             | 5 |
| Придонный     | 4                   | 5           | 5           | 6           | 7           | 8           | 10          | 16          | 19          | 12          |             | 8 |
| Район IX      |                     |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |   |
| Поверхностный | 2                   | 2           | 3           | 4           | 12          | 14          | 18          | 12          | 12          | 12          |             | 9 |
| Промежуточный | 2                   | 9           | 10          | 10          | 10          | 10          | 13          | 10          | 10          | 10          |             | 6 |
| Придонный     | 2                   | 5           | 5           | 7           | 9           | 10          | 20          | 15          | 12          | 10          |             | 5 |

предель колебаний оказываются незначительными по сравнению с тем, что имеет место в остальных районах моря.

Район I — диапазон колебаний средних значений щелочности в течение года составил 2,61—2,72 ммоль/л; максимальные значения отмечаются летом, минимальные — осенью.

Район II (предустьевое взморье Кубани) — диапазон колебаний щелочности составил 2,75—2,82 ммоль/л; максимальные значения были отмечены осенью, минимальные — летом.

Район III (предприливной район моря) — диапа-

зон изменения щелочности колеблется в пределах 2,65—2,82 ммоль/л; минимальные значения обнаруживаются весной, максимальные — осенью.

Район IV — диапазон изменения щелочности небольшой и составляет 2,63—2,67 ммоль/л.

Район VI — диапазон изменения щелочности составил 2,62—2,72 ммоль/л, максимальные значения отмечаются летом, минимальные — осенью и зимой.

Таким образом, наибольшие сезонные колебания щелочности имели место в районе, находящемся под влиянием водообмена Азовского и Черного морей.

В Таганрогском заливе обнаруживаются наиболее существенные колебания щелочности по сезонам.

Район VII — диапазон изменения щелочности равен 2,45—2,85 ммоль/л; максимальные значения отмечаются летом, минимальные — весной.

Район VIII — диапазон изменения щелочности

составил 2,55—2,92 ммоль/л; максимальные значения также были обнаружены летом, минимальные — весной.

Район IX — диапазон изменения щелочности колебался в пределах 2,60—3,08 ммоль/л; максимальные значения отмечаются летом, минимальные — осенью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Азовское море является своеобразным солонатоводным бассейном, подверженным влиянию различных факторов. С одной стороны, это мощный приток пресных вод, вносимых крупными реками Доном и Кубанью: в общей сложности все реки, впадающие в Азовское море, ежегодно приносят около 1/8 части объема моря; с другой — оно подвержено влиянию более соленых вод Черного моря.

Благодаря мелководности моря его гидролого-гидрохимический режим оказывается крайне неустойчивым и резко меняется под влиянием ветрового перемешивания.

Азовское море относится к высоко продуктивным морям, что обусловлено хорошей прогреваемостью всех слоев моря в теплое время года и значительным перемешиванием. Это обеспечивает хороший обмен веществом вода → дно → вода и вода → воздух → вода, а следовательно, быструю оборачиваемость биогенных элементов в самом море.

В настоящее время задачи изучения гидрохимии Азовского моря непосредственно связаны с народнохозяйственными проблемами. При их решении одно из центральных мест занимает исследование гидрохимических условий, во многом определяющих продуктивность моря.

Особую актуальность эти исследования приобрели в последние два-три десятилетия в связи с водохозяйственными мероприятиями в бассейне Азовского моря, существенно повлиявшими на его режим. Зарегулирование стока Дона и Кубани вызвало существенную трансформацию гидрохимического режима Азовского моря.

**Солевой состав.** Воды открытой части моря характеризуется относительным постоянством солевого состава. Основной ионный состав вод открытой части моря отличается от солевого состава океана относительной бедностью ионов хлора и натрия и повышенным содержанием преобладающих компонентов вод суши — кальция, карбонатами и сульфатами.

Основные закономерности в формировании солевого состава вод Азовского моря были установлены ранее. В течение последнего десятилетия в ГОИН были получены результаты по исследованию дальнейшей метаморфизации солевого состава вод Азовского моря в связи с изменениями, имеющими место в его водном и солевом балансах.

Под влиянием антропогенных факторов на фоне общего повышения суммарного содержания минеральных солей в водах рек Дона и Кубани, питающих Азовское море, увеличилось вдвое относительное содержание сульфатов, хлоридов и щелочных металлов в речных водах.

В течение трех последних десятилетий содержание сульфатов возросло более чем на 43 % в Таганрогском заливе, на 14 % — в открытой части моря;

отношение суммы солей к хлорности возросло с 1,8522 до 1,8630, что в свою очередь свидетельствует не только об изменении соотношений компонентов солевого состава, но и об увеличении общей минерализации вод моря. Исследования солевого состава вод Азовского моря позволили получить новые уравнения связи между компонентами солевого состава и минерализацией вод Азовского моря.

**Растворенный кислород.** Исследование закономерностей формирования растворенного кислорода и распределение его концентраций по акватории Азовского моря позволило сделать следующие выводы.

— Весной и осенью концентрация кислорода, как правило, близка к равновесной и ее распределение по вертикали оказывается довольно равномерным вследствие того, что в формировании режима кислорода в эти периоды года доминирующую роль играют гидрометеорологические факторы.

Летом в условиях плотной стратификации, потребление кислорода поверхностным слоем донных отложений обуславливает его значительное снижение в придонных горизонтах (в отдельных районах до 60 %). В период повышения ветровой активности распределение содержания кислорода в поверхностных и придонных горизонтах относительно равномерное и колеблется в диапазоне 99—82 %. На примере района V представлена модель годового хода кислорода (рис. 3.1).

— Ведущими факторами формирования кислородного режима в поверхностных водах являются

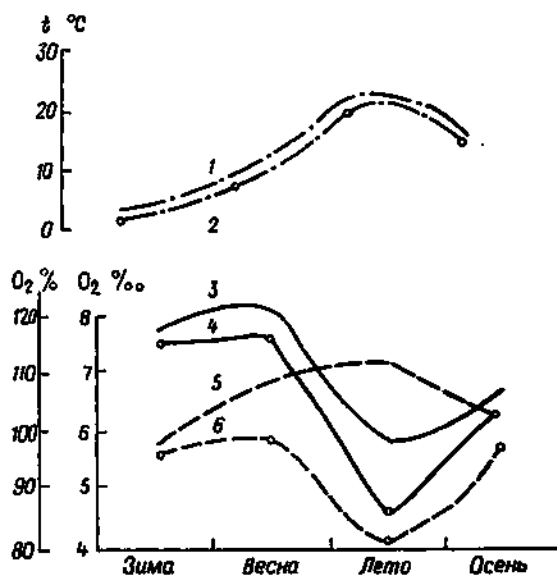


Рис. 3.1. Сезонный ход температуры  $t$  поверхностного (1) и придонного (2) слоев, а также абсолютного (3, 4) и относительного (5, 6) содержания кислорода  $O_2$  в поверхностном (3, 5) и придонном (4, 6) слоях в районе V Азовского моря.

главным образом продукционные процессы, в придонных — биохимическое потребление кислорода донными отложениями.

— На основе статистического анализа более чем 20-летнего ряда наблюдений за содержанием кислорода в девяти районах Азовского моря был уточнен режим содержания кислорода в море и показано, что значения средних квадратических отклонений имеют явно выраженный сезонный ход в различных районах моря. Максимальные значения средних квадратических отклонений, как правило, для всех районов моря обнаружены летом. Минимальные значения средних квадратических отклонений отмечены зимой и практически не изменяются в отдельных районах моря с глубиной (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Среднее квадратическое отклонение (%) относительного содержания кислорода в районах Азовского моря по сезонам за 1960—1981 гг.

| Горизонт      | Район |    |     |    |    |    |     |      |    |
|---------------|-------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|
|               | I     | II | III | IV | V  | VI | VII | VIII | IX |
| <b>Зима</b>   |       |    |     |    |    |    |     |      |    |
| Поверхностный | 8     | 4  | 5   | —  | 5  | 6  | —   | —    | —  |
| Промежуточный | 6     | 3  | 7   | —  | 5  | 5  | —   | —    | —  |
| Придонный     | —     | 3  | 7   | —  | 5  | 5  | —   | —    | —  |
| <b>Весна</b>  |       |    |     |    |    |    |     |      |    |
| Поверхностный | 13    | 9  | 10  | 16 | 13 | 21 | 16  | 14   | 21 |
| Промежуточный | 14    | 7  | 14  | 19 | 18 | 16 | 16  | 19   | 28 |
| Придонный     | 9     | 39 | 11  | 18 | 21 | 11 | 18  | 17   | 27 |
| <b>Лето</b>   |       |    |     |    |    |    |     |      |    |
| Поверхностный | 26    | 17 | 23  | 13 | 19 | 18 | 18  | 16   | 18 |
| Промежуточный | 20    | 19 | 20  | 15 | 22 | 20 | 19  | 14   | 14 |
| Придонный     | 19    | 36 | 20  | 14 | 28 | 20 | 20  | 18   | 17 |
| <b>Осень</b>  |       |    |     |    |    |    |     |      |    |
| Поверхностный | 14    | 12 | 11  | 9  | 11 | 11 | 16  | 13   | 16 |
| Промежуточный | 7     | 16 | 12  | 13 | 11 | 11 | 15  | 12   | 18 |
| Придонный     | 10    | 19 | 12  | 13 | 12 | 13 | 14  | 12   | 14 |

— Изучение элементов баланса растворенного кислорода позволило показать, что летом органическое вещество донных отложений в процессе своего окисления используют более 30 % общего расхода кислорода в водоеме и тем самым оказывает решающее влияние на возникновение дефицита кислорода в придонных водах.

В динамике содержания кислорода можно выделить следующие периоды.

Период 1952—1956 гг., соответствующий становлению режима моря после зарегулирования стока р. Дон, характеризуется повышением солености в среднем до 12,1‰ и положительной аномалией скорости ветра над акваторией моря. В этот период отмечается лишь эпизодическое возникновение зон дефицита кислорода\*.

Период 1957—1971 гг. отличается повышенной водностью рек, стабилизацией солености моря до уровня 11,2‰, повышением температурного фона и ослаблением ветровой активности над акваторией моря. Начиная с 1960 г. формирование анаэробных или близких к ним ситуаций отмечается практиче-

ски ежегодно. Средняя площадь с содержанием кислорода, равным 60 % насыщения, за период 1960—1971 гг. составила около 11,0 тыс. км<sup>2</sup>.

Период 1972—1976 гг. характеризуется устойчивым маловодьем, повышением солености моря до 13,9‰ (1976 г.), увеличением скорости ветра и сокращением площадей с дефицитом кислорода в среднем до 5,1 тыс. км<sup>2</sup>.

Период 1977—1982 гг. отличается повышенной увлажненностью бассейна Азовского моря (суммарный сток рек Дона и Кубани составлял 33,2—48,9 км<sup>3</sup>), неуклонным уменьшением солености до 13,77‰ (1977 г.) и 10,9‰ (1982 г.). При этом средняя площадь, занятая водами с содержанием кислорода около 60 % насыщения возросла до 8,7 тыс. км<sup>2</sup> при диапазоне изменений 0—16,2 тыс. км<sup>2</sup>.

В результате рассмотрения многолетней динамики содержания хлорофилла и каротиноидов в донных отложениях во взаимосвязи с концентрацией кислорода в придонных водах летом (1970—1982 г.) выявлено, что отношение концентрации хлорофилла к концентрации каротиноидов может быть использовано в качестве критерия оптимальности кислородного режима в придонных водах моря.

Обнаружение сероводорода в водах Темрюкского залива в июле 1987 г. показало, что в Азовском море существуют необходимые предпосылки, обуславливающие появление, хотя и кратковременное, сероводорода. Среди них были выделены следующие: значительное содержание органического вещества в воде и донных отложениях, высокая температура воды летом, определяющая большую скорость окисления органического вещества; стратификация вод, в результате которой ограничивается или прекращается приток кислорода в нижележащие слои моря.

**Биогенные вещества.** Объем поступления биогенных веществ с речными водами зависит от климатических и антропогенных факторов и представляет собой наиболее изменчивый элемент приходной части баланса. Безвозвратное изъятие речных вод, а также зарегулирование стока Дона и Кубани изменили скорости поступления биогенных веществ в Азовское море и трансформировали их качественный состав. После зарегулирования Дона в его водах резко возросло содержание азота, а содержание фосфора уменьшилось. Характерной тенденцией современной динамики биогенных веществ в водах рек, питающих Азовское море, является также снижение содержания общего фосфора и рост содержания азота. При этом трансформация биогенного стока рек характеризуется не только его сокращением, но и весьма резким нарушением его внутренней структуры, что выражается в изменении соотношений в нем азота и фосфора.

В многолетней динамике концентраций минеральных и органических форм фосфора и азота в течение 1952—1986 гг. в водах Азовского моря были выделены шесть периодов, характеризующихся различиями климатообусловленных факторов, колебаниями водного стока, изменениями кислородного режима в придонных горизонтах моря в ту или иную сторону.

Биологическая продуктивность Азовского моря зависит не только от баланса биогенных соединений, но и от скорости их внутреннего круговорота.

\* Режим кислорода до 1960 г. подробно исследовался в работах [9, 55] и поэтому в данной работе не рассматривался.

Для поддержания высокой продукции органического вещества скорость оборачиваемости биогенных веществ оказывается фактором, более важным, чем концентрация этих веществ в морской среде. В данной работе представлена динамика оборачиваемости соединений азота и фосфора в Азовском море в течение 1952—1980 гг.

Пространственное распределение и сезонная динамика фосфорсодержащих соединений в Таганрогском заливе и в собственно море формируются под воздействием речного стока, продукционных процессов и процессов седиментации. Сезонный ход концентрации фосфатов в Таганрогском заливе не подчиняется определенной закономерности. В районе V моря максимальное содержание фосфатов отмечается в осенне-зимнее время.

Вертикальные градиенты концентраций фосфатов наиболее характерны для лета. В отдельные годы, отличающиеся низким содержанием кислорода, вертикальные градиенты концентраций фосфатов достигают около 100 мкг/л. В периоды стагнации восстановительные условия, возникающие в контактной зоне, способствуют миграции в воду значительной части обменного фонда фосфора, находящегося в донных осадках.

Соединения фосфора в Азовском море находятся в основном в форме органических соединений. Относительное содержание минеральных форм фосфора составляет в среднем 12 % при колебаниях 6—40 %.

Внутригодовая динамика концентраций органического фосфора характеризуется равномерным распределением по сезонам как в Таганрогском заливе, так и в собственно море.

Источниками пополнения неорганическими формами азота в морских водах являются речной сток и атмосферные осадки, переход биогенных веществ из донных отложений при возникновении анаэробных ситуаций, биохимические процессы деструкции и хемосинтеза органического вещества. Уменьшение концентраций различных форм минерального азота обусловлено в основном их потреблением в процессах фото- и хемосинтеза.

Пространственное распределение минеральной триады азота в целом характеризуется локализацией максимальных концентраций ионов аммония, нитритов и нитратов в Таганрогском заливе, особенно в его устьевой части. По направлению к морю концентрация минеральных форм азота постепенно снижается. Максимальная концентрация ионов аммония отмечается в районах, в которых часто имеет место пониженное содержание кислорода; максимальные концентрации нитритов и нитратов — в районах, подверженных органическому загрязнению. Благодаря развитию фитопланктона в теплый период года потребление минеральных форм азота весьма существенно возрастает, и содержание нитритов иногда снижается до количеств, лимитирующих развитие жизни в море.

Пространственное распределение органического азота характеризуется незначительными вариациями его концентраций по акватории Таганрогского залива и собственно моря, хотя максимум концентраций отмечается в Таганрогском заливе.

Внутригодовой ход содержания органического азота в Таганрогском заливе отличается незначительным максимумом летом, в собственно море

в сезонном аспекте наблюдается постепенное увеличение концентрации органического азота от весны к осени.

Фактором, определяющим пространственное распределение кремниевой кислоты, является ее поступление с речными водами.

Закономерности сезонной динамики кремниевой кислоты определяются сезонным развитием диатомовых водорослей, которые являются главными потребителями кремниевой кислоты в Азовском море.

Увеличение концентрации кремниевой кислоты наблюдается летом, когда скорость процессов регенерации кремния превышает его потребление. Весной и осенью отмечены минимальные концентрации в связи с ее интенсивным потреблением на процессы продуцирования диатомовых водорослей. В межгодовой динамике наметилась тенденция к некоторому снижению концентраций кремниевой кислоты в водах собственно моря.

Анализ и моделирование влияния гидрометеорологических условий на содержание биогенных веществ в море позволили получить статистические модели влияния ветра, термического режима, солености, речного стока на многолетнюю динамику биогенных веществ. Было показано, что речной сток, который включен в качестве предиктора в статистические модели, составляя в современных условиях десятую часть объема Азовского моря, во взаимодействии с температурой и ветром формирует его физико-химический облик в течение 4—6 лет. Содержание азота, кремниевой кислоты, фосфора находится в прямой зависимости от стока рек за рассматриваемый период и соответственно за 3, 2—5 и 5—9 предшествующих лет. Увеличению содержания азота способствуют повышенный температурный фон и пониженная ветровая активность. Концентрации фосфора и кремниевой кислоты возрастают в случае повышения температурного фона и увеличения скорости ветра. Наиболее существенное влияние на рост первичного продуцирования оказывает повышение стока рек, а также, хотя и в меньшей степени, повышенный температурный фон и увеличенная скорость ветра.

Для многолетних колебаний температуры вод Азовского моря и ветровой активности над его акваторией, которые с известным приближением можно считать только следствием аналогичных флуктуаций климата, характерен в первом случае положительный тренд, а во втором — отрицательный. В то же время многолетние колебания ключевого для экосистемы бассейна Азовского моря фактора — речного стока — находятся под влиянием не только циклонических колебаний климата, но и антропогенных факторов. Причем, хотя в целом отмечается тенденция возрастания, относительная и абсолютная степени воздействия последних также нестационарны во времени и пространстве, поскольку находятся под влиянием изменений климата. В отдельные периоды они усиливаются или ослабляются квазипериодическим характером флуктуаций природных факторов. Примером первого являются обусловленные резким ухудшением климатических условий формирования речного стока и значительным безвозвратным водопотреблением исключительно маловодные годы 1969—1976, к концу которых соленость Азовского моря достигла максимального для всего ряда



наблюдений значения — 13,8%. Примером второго могут служить последующие годы (1977—1982), в которые резко отрицательная аномальность в увлажненности бассейна Азовского моря сменилась на положительную. В итоге соленость Азовского моря понизилась до 10,9‰ и, таким образом, впервые после 1966 г. оказалась в пределах оптимальных для рыбного хозяйства.

Результатирующее воздействие климатических и антропогенных факторов в зарегулированных условиях привело к сокращению годового (на 18%) и особенно весеннего стока (на 24%), резкому уменьшению (до 10—15%) повторяемости благоприятного водного режима на донских и кубанских пойменных и русловых нерестилищах проходных и полупроходных рыб. Соленость Азовского моря повысилась к концу периода, т. е. тренд составил около 0,5—0,6‰. Увеличились ее горизонтальные и вертикальные градиенты, уменьшилась интенсивность вертикального обмена энергией и веществом между водными массами за счет турбулентного и конвективного перемешивания. Возросла устойчивость водных масс. Для многолетних колебаний содержания в водной толще Азовского моря азота и отношения N:P характерны положительные тренды, а для аналогичных изменений концентрации фосфора, кремниевой кислоты и первичной продукции — отрицательные. Степень многолетней изменчивости солености, содержания азота и фосфора возросла, первичной продукции — уменьшилась.

**pH и щелочность.** Пространственное распределение pH обусловлено особенностями режима карбонатно-кальциевого равновесия, особенностями циркуляции вод, вспышками жизнедеятельности планктона. В районах устьевых взморий Дона и Кубани по мере роста солености от реки к морю pH испытывает локальные повышения.

В сезонном ходе pH отмечается значительное снижение зимой в районах предустьевых взморий Дона и Кубани, повышение значений в этих районах весной и летом и незначительное снижение осенью. В открытой части моря отмечается довольно однородное распределение pH по сезонам в поверхностном слое. Существенным сезонным изменениям подвергается pH в придонных горизонтах моря, где летом значения pH весьма существенно снижаются за счет интенсификации окислительных процессов.

Долгопериодная изменчивость щелочности в районах опреснения материковыми водами обусловлена изменением солености вод. В опресняемых районах щелочность изменяется также и под влиянием вод суши, богатых карбонатами. Было показано, что в Азовском море поверхностная вода перенасыщена карбонатом кальция. Воды устьевого взморья также оказываются перенасыщенными карбонатом кальция, что в свою очередь создает условия для его выпадения в осадок.

Наиболее существенные колебания щелочности имеют место в Таганрогском заливе. При этом, как правило, максимальная щелочность обнаружена летом, минимальная — весной. Диапазон сезонных колебаний щелочности в собственном море не превышает 0,10 ммоль/л. Исключением является район водообмена, где сезонные колебания щелочности составили более 0,20 ммоль/л.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдакимова А. Я. Цветение воды, вызываемое синезелеными водорослями, и их роль в биологии Азовского моря. — В кн.: Экология и физиология синезеленых водорослей. М.—Л., 1965, с. 122—128.
2. Александрова З. В., Бронфман А. М. Обмен биогенными элементами в системе «вода—грунт» и его роль в формировании химических основ продуктивности Азовского моря. — Океанология, 1975, т. 15, вып. 1, с. 75—81.
3. Александрова З. В., Ромова М. Г. Особенности формирования содержания биогенных веществ в Азовском море. — В кн.: IV съезд Всесоюзного гидробиологического общества. Тезисы докладов. III ч. Киев: Наукова думка, 1981, с. 137—138.
4. Александрова З. В., Ромова М. Г. Методика прогнозирования летнего содержания кислорода в придонных водах Азовского моря. — В кн.: Географические аспекты изучения гидрологии и гидрохимии Азовского бассейна. Л., 1981, с. 107—114.
5. Альтман Э. Н. Современный солевой баланс Азовского моря и его многолетняя изменчивость. — В кн.: Биология моря, 1972, вып. 27, с. 62—71.
6. Бакум Т. А., Затучная Б. М. Районирование Азовского моря на современном этапе. — В кн.: Химия и биология морей. М.: Гидрометеоиздат, 1987, с. 21—27.
7. Блинов Л. К. Некоторые задачи гидрохимии морских устьевых областей. — Труды ГОИН, 1960, вып. 52, с. 5—26.
8. Бронфман А. М. Современные изменения нонно-солевого и биогенного стока в Азовское море. — Водные ресурсы, 1978, № 3, с. 48—66.
9. Бронфман А. М., Дубинина В. Г., Макарова Г. Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. — М.: Пищевая промышленность, 1979, — 288 с.
10. Бронфман А. М. и др. Статистическая структура океанологических и биологических параметров экосистемы Азовского моря. — Ростов-на-Дону, 1979. — 160 с.
11. Бронфман А. М., Хлебников Е. П. Азовское море. Основы реконструкции. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 270 с.
12. Буторин Н. В., Былинкина А. А., Зимникова Н. А., Трифонова Н. А. Абнотические факторы круговорота вещества в волжских водохранилищах. — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984, с. 37—48.
13. Виноградова Е. Г. Гидрохимический режим Азовского моря в 1951—1953 гг. — Труды ВНИРО, 1955, т. 31, вып. 1, с. 62—79.
14. Воронков П. П., Свитанев А. И. Опыт расчета возможной солености Азовского моря в связи с предстоящим изменением его режима. — Труды ИИУ ГУМС, 1941, сер. 5, вып. 2, с. 14—29.
15. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. — Л.: Гидрометеоиздат, 1962. — 853 с.
16. Горшкова Т. И. Органическое вещество осадков Азовского моря и Таганрогского залива. — Труды ВНИРО, 1955, т. 31, вып. 1, с. 95—123.
17. Дацко В. Г. Фосфаты в грунтах Азовского моря. — ДАН СССР, 1948, т. 59, вып. 2, с. 931—934.
18. Дацко В. Г. О причинах замора рыб в Азовском море. — Труды АзЧерНИРО, 1951, вып. 15, с. 191—199.
19. Дацко В. Г. О содержании органического вещества в воде Азовского моря до зарегулирования стока р. Дон. — Гидрохимические материалы, 1955, т. 23, с. 3—11.
20. Дацко В. Г. Гидрохимические условия в Азовском море при заморных явлениях. — Гидрохимические материалы, 1955, т. 25, с. 28—41.
21. Дацко В. Г., Семсенов А. Д. Наблюдения над кислородным режимом Азовского моря в 1956 г. и содержанием биогенных элементов в 1955—1956 гг. — Гидрохимические материалы, 1959, т. 29, с. 102—118.
22. Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. — М., АН СССР, 1959. — 267 с.
23. Дроздова В. М., Петренчук О. П., Селезнева Е. С., Свистов П. Ф. Химический состав атмосферных осадков на ЕТС. — Л.: Гидрометеоиздат, 1964. — 209 с.
24. Друмева Л. Б. Определение хлорности по электропроводности в водах Азовского и Аральского морей. — Водные ресурсы, 1983, № 2, с. 112—115.
25. Друмева Л. Б., Цыцарин А. Г. Современный солевой состав вод Азовского и Аральского морей. — Метеорология и гидрология, 1984, № 3, с. 112—115.



26. Друмева Л. Б. Определение электропроводности и расчет солености распресненных вод. Методические указания по химическому анализу распресненных вод морских устьевых областей рек и энкоинентальных морей.— М.: Гидрометеониздат, 1984.
27. Жукова А. Н., Федосов М. В. Значение микроорганизмов верхнего слоя донных отложений мелководного моря и трансформация органического вещества.— *Океанология*, 1961, т. 1, вып. 3, с. 450—456.
28. Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Азовском море.— *Труды Азово-Черноморской научно-промышленной экспедиции*, 1932, вып. 5, с. 3—37.
29. Кузнецов С. И., Саралов А. И., Назина Т. Н. Микробиологические процессы круговорота углерода и азота в озерах.— М.: Наука, 1985.— 213 с.
30. Макарова Г. Д. Кислородный режим Азовского моря и условия его формирования в период зарегулированного стока р. Дон.— В кн.: *Химические ресурсы морей и океанов*. М., 1970, с. 109—115.
31. Макарова Г. Д., Спичак М. К. Основные черты современного гидрологического и гидрохимического режима Азовского моря.— В кн.: *Исследования по теоретической и прикладной химии*. М., 1972, с. 57—64.
32. Мусина А. А., Микей Н. И. Соотношение между соленостью и хлором для Азовского моря.— *Гидрохимические материалы*, 1955, т. 23, с. 19—30.
33. Овсянников А. Н., Иванов Г. С. Сезонная и многолетняя изменчивость морских гидрологических элементов по наблюдениям вековой сети.— *Труды ГОИН*, 1978, вып. 137, с. 4—16.
34. Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря.— Л.: Гидрометеониздат, 1966.— 342 с.
35. Пицк Г. П. О фитопланктоне Азовского моря.— *Труды АзЧерНИРО*, 1951, вып. 15, с. 313—330.
36. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7.— Л.: Гидрометеониздат, 1973.— 459 с.
37. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8.— Л.: Гидрометеониздат, 1973.— 447 с.
38. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши/Под ред. А. Д. Семенова.— Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 540 с.
39. Руководство по методам химического анализа морских вод.— Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 170 с.
40. Симонов А. И. Гидрология и гидрохимия устьевых взморья.— М.: Гидрометеониздат, 1969.— 230 с.
41. Скопинцев Б. А., Воробьева Р. В., Штукковская Л. А. Определение кальция и суммы кальция и магния в морской воде комплексометрическим методом.— *Гидрохимические материалы*, 1957, т. 27, с. 146—151.
42. Скопинцев Б. А. Формирование современного химического состава вод Черного моря.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 336 с.
43. Смолякова М. В., Шлыгин И. А. Современный и восстановленный водный баланс и соленость Азовского моря.— *Труды ГОИН*, 1980, вып. 159, с. 104—118.
44. Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей СССР.— *Труды ГОИН*, 1972, вып. 108.— 236 с.
45. Сопач Э. Д. Электропроводность как метод определения солености морских вод.— М.: Гидрометеониздат, 1958.— 139 с.
46. Спичак М. К., Шеломов И. К. О причинах колебаний первичной продукции Азовского моря.— В кн.: *Первичная продукция водоемов*. Минск, 1961, с. 67—71.
47. Спичак М. К. Современный и будущий режим и продуктивность Азовского моря. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. географ. наук.— Ростов-на-Дону, 1964.— 20 с.
48. Сурков Ф. А. и др. Моделирование абиотических факторов экосистемы Азовского моря.— *Изв. Сев. Кав. науч. центра высшей школы, естественные науки*, 1977, № 2, с. 21—50.
49. Федосов М. В. Интенсивность осадкообразования в Азовском море.— *ДАН СССР*, 1952, т. 34, № 3, с. 551—555.
50. Федосов М. В. Соотношение между соленостью и хлорностью в воде Таганрогского залива и возможные его изменения.— *Труды ГОИН*, 1953, вып. 16, с. 10—15.
51. Федосов М. В., Виноградова Е. Г. Основные черты гидрохимического режима Азовского моря.— *Труды ВНИРО*, 1955, т. 31, вып. 1, с. 9—35.
52. Федосов М. В. Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее в связи с гидростроительством на реках.— *Труды ВНИРО*, 1955, т. 31, вып. 1, с. 35—62.
53. Федосов М. В. Причины возникновения дефицита кислорода в Азовском море.— *Труды ВНИРО*, 1955, т. 31, с. 80—95.
54. Цурикова А. П. Карбонатно-кальциевое равновесие и углекислота в Азовском море.— *Труды ГОИН*, 1962, вып. 68, с. 118—136.
55. Цурикова А. П., Шульгина Е. Ф. Гидрохимия Азовского моря.— Л.: Гидрометеониздат, 1964.— 258 с.
56. Черноусов С. Я., Артюхин Ю. В. Основные черты осадконакопления во внутриконтинентальных водоемах аридной зоны (на примере оз. Балхаш и Азовского моря).— В кн.: *Лавинная седиментация в океане*. Ростов-на-Дону, 1981, с. 162—170.
57. Шеломов И. К., Федосов М. В. О круговороте органического вещества в водосмах.— *Труды АзНИИРХ*, 1961, вып. 4, с. 190—201.
58. Шеломов И. К., Алдакимова А. Я. О продуцировании органического вещества в Азовском море в 1960 г.— *Труды АзНИИРХ*, 1963, вып. 6, с. 33—42.
59. Шлыгин И. А. Изменения солености вод Азовского моря под влиянием естественных и антропогенных факторов. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук.— М., 1976.— 16 с.
60. Mortimer C. H. Underwater Soils. A review of lake Sediments.— *J. Soil.*, 1949, p. 63—73.
61. Pomroy L. R. Residence time of dissolved phosphate in natural waters.— *Science*, 1960, v. 131, p. 47—59.

# ЧАСТЬ III. ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость рационального использования промысловых объектов Азовского моря в первую очередь требует от исследователей уточнения пространственно-временного распределения прямых и косвенных абиотических факторов как наиболее важных для формирования биопродуктивности моря. В связи с этим коллективом ученых АзНИИРХ уточнялись причинно-следственные и структурные связи в абиотической части экосистемы бассейна Азовского моря, а также выявлялись тенденции и периодичность в многолетней динамике элементов гидрометеорологического и гидрохимического режимов. Была произведена глубокая оценка линейных трендов в многолетних колебаниях речного стока, температуры и солености воды, скорости ветра, устойчивости вод, биогенных веществ и первичной продукции органического вещества. Особое внимание было обращено на оценку

влияния океанографических факторов на первичную продукцию органического вещества, пространственную, сезонную и многолетнюю динамику планктонных и донных сообществ гидробионтов, проходных, полупроходных и массовых морских рыб Азовского моря.

Фундаментальное изучение функционирования отдельных популяций промысловых объектов позволило накопить и систематизировать обширные материалы по динамике их численности, а также уточнить особенности их распределения, обусловленные колебаниями абиотических, биотических, антропогенных факторов среды обитания. На базе проводимых исследований в этом направлении стало возможным дать конкретные предложения по оптимизации гидролого-гидрохимического режима Азовского моря с учетом определенных запросов и требований рыбного хозяйства.

## 1. РОЛЬ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ, ПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ И ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ГИДРОБИОНТОВ АЗОВСКОГО МОРЯ

### 1.1. Первичная продукция органического вещества

Первичная продукция органического вещества определяет уровень развития всех последующих звеньев трофической цепи Азовского моря вплоть до его конечного звена — рыбопродуктивности. При определении валовой первичной продукции была использована расчетная формула В. Г. Дацко [22]:

$$ПП = (\Delta O_2)_{\max} K_1 K_2 K_3 V n,$$

где  $(\Delta O_2)_{\max}$  — разность между средней максимальной (с 15 до 21 ч) и средней минимальной (с 3 до 9 ч) концентрациями кислорода;  $K_1$  — коэффициент, выражающий соотношение между суточным продуцированием кислорода и его содержанием;  $K_2$  — среднее приращение содержания органического углерода на 1 мл растворенного кислорода, равное 0,4 мг;  $K_3$  — коэффициент пересчета содержания углерода на содержание органического вещества, равный 2;  $V$  — объем фотического слоя, принятый для Таганрогского залива равным 25, 26 км<sup>3</sup> и собственно моря — 256 км<sup>3</sup>;  $n$  — число благоприятных для фотосинтеза дней со скоростью ветра, равной либо меньшей 5 м/с.

В связи с тем что весенние съемки моря, приуроченные к апрелю, не всегда совпадали с максимумом в развитии водорослей, для расчета валовой первичной продукции были использованы данные по изменению содержания кислорода за летние месяцы. При этом средняя продукция органического вещества, созданная за июль и август, принята равной 19,4 % от годовой.

В качестве исходных были взяты данные по оценке первичной продукции, выполненные

Г. Д. Макаровой (1952—1982 гг.) и З. В. Александровой (1982—1986 гг.) (табл. 1.1.).

Расчеты для периода 1952—1986 гг. показали, что в Азовском море синтезируется в среднем около 29,5 млн. т первичного органического вещества. При этом в Таганрогском заливе продуцируется в среднем 3,5 млн. т, а в собственно Азовском море 26,0 млн. т органического вещества ежегодно. Степень многолетней изменчивости синтеза органического вещества наиболее значительна в Таганрогском заливе ( $C_v = 0,72$ ). Здесь минимальные значения первичной продукции органического вещества составляют 0,8 млн. т (1973 г.), а максимальные — 13,0 млн. т (1963 г.). В собственно Азовском море и в целом по всему Азовскому морю уровень первичного продуцирования менее изменчив ( $C_v = 0,38$  и 0,37). Наибольшая интенсивность первичного продуцирования здесь наблюдалась в 1958 и 1963 гг. (соответственно 48,8 и 50,5 млн. т), а наименьшая (соответственно 10,3 и 13,0 млн. т) в 1972 г. (см. табл. 1.1.).

Исследования многолетних колебаний первичной продукции органического вещества с применением методов математической статистики показали, что наиболее существенное влияние на нее оказывает речной сток, а также температура и динамика вод.

Более ранними исследованиями [10, 11] не была установлена статистическая связь между первичной продукцией органического вещества Азовского моря и среднегодовой скоростью ветра над его акваторией. По данным И. К. Шеломова и А. Я. Алдакимовой [73], воздействие динамики вод Азовского моря на первичную продукцию органического вещества в нем противоречиво. Так, длительные штормы

Таблица 1.1

Валовая первичная продукция органического вещества  
(млн. т сухого вещества)

| Годы      | Таганрогский залив | Собственно Азовское море | Азовское море в целом |
|-----------|--------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1952      | 2,5                | 14,8                     | 17,3                  |
| 1953      | 5,7                | 16,0                     | 21,7                  |
| 1954      | 4,0                | 10,6                     | 14,6                  |
| 1955      | 4,8                | 25,0                     | 29,8                  |
| 1956      | 4,2                | 42,9                     | 47,1                  |
| 1957      | 3,2                | 33,4                     | 36,6                  |
| 1958      | 1,1                | 48,8                     | 49,9                  |
| 1959      | 3,3                | 44,3                     | 47,6                  |
| 1960      | 3,9                | 31,0                     | 34,9                  |
| 1961      | 2,1                | 24,3                     | 26,4                  |
| 1962      | 9,2                | 24,3                     | 33,5                  |
| 1963      | 13,0               | 37,5                     | 50,5                  |
| 1964      | 5,6                | 29,8                     | 35,4                  |
| 1965      | 2,7                | 19,7                     | 22,4                  |
| 1966      | 1,9                | 23,3                     | 25,2                  |
| 1967      | 2,5                | 33,2                     | 35,7                  |
| 1968      | 4,2                | 28,6                     | 32,8                  |
| 1969      | 2,8                | 14,6                     | 17,4                  |
| 1970      | 4,5                | 24,5                     | 29,0                  |
| 1971      | 1,5                | 23,1                     | 24,6                  |
| 1972      | 2,7                | 10,3                     | 13,0                  |
| 1973      | 0,8                | 20,0                     | 20,8                  |
| 1974      | 1,4                | 14,8                     | 16,2                  |
| 1975      | 1,2                | 25,9                     | 27,1                  |
| 1976      | 0,8                | 14,2                     | 15,0                  |
| 1977      | 2,1                | 33,8                     | 35,9                  |
| 1978      | 2,6                | 27,7                     | 30,3                  |
| 1979      | 2,3                | 28,1                     | 30,4                  |
| 1980      | 4,6                | 30,4                     | 35,0                  |
| 1981      | 3,8                | 24,7                     | 28,5                  |
| 1982      | 4,6                | 21,7                     | 26,3                  |
| 1983      | 2,2                | 19,0                     | 21,2                  |
| 1984      | 2,5                | 34,4                     | 36,9                  |
| 1985      | 2,4                | 24,7                     | 27,1                  |
| 1986      | 4,9                | 26,3                     | 31,3                  |
| 1952—1986 | 3,5                | 25,9                     | 29,4                  |
| 1952—1954 | 4,1                | 13,8                     | 17,9                  |
| 1955—1968 | 4,4                | 31,9                     | 36,3                  |
| 1969—1976 | 2,0                | 18,4                     | 20,4                  |
| 1977—1982 | 3,3                | 27,7                     | 31,0                  |
| 1983—1986 | 3,0                | 26,1                     | 29,1                  |
| 1977—1986 | 3,2                | 27,1                     | 30,3                  |

приводят к резкому увеличению мутности воды и массовой гибели фитопланктона. В то же время штормовые погоды, затрудняя фотосинтез, улучшают кислородный режим, повышают интенсивность минерализации органического вещества, создавая тем самым благоприятные условия для течения продукционных процессов в будущем. При этом, как было показано ранее, влияние ветровой активности на концентрацию растворенных в водной толще Азовского моря биогенных веществ, которые являются материальным источником продукционного процесса, также неоднозначно и неравноценно. В связи с этим количественная оценка влияния ветровой активности на первичную продукцию органического вещества в Азовском море не дала достаточно удовлетворительных результатов, хотя и оказалась более успешной, чем в предшествующих работах [10, 11]. Лишь для первичной продукции органического вещества в Таганрогском заливе характерна, приближающаяся к значимой, прямая корреляция со средней скоростью ветра над акваторией Азовского моря за календарный год ( $r = 0,35$ ), за годовой период

с сентября предшествующего года по август рассматриваемого ( $r = 0,43$ ) и за осенне-зимний период ( $r = 0,44$ ). Положительная корреляция с ветровой активностью осенью характерна для первичной продукции органического вещества всего Азовского моря ( $r = 0,30$ ). Все это позволяет предполагать наличие прямой зависимости годового первичного продуцирования в Азовском море от ветровой активности над его акваторией.

Статистический анализ показал неправомерность выводов авторов [10, 11], исследовавших подобным методом зависимость первичной продукции органического вещества от термического режима, о незначительности влияния последнего. Согласно исследованиям И. К. Шеломова, М. В. Федосова, А. Я. Алдакимовой, М. К. Спичака [66, 73, 74], термический режим относится к основным факторам, определяющим годовую первичную продукцию Азовского моря. Во время суровых зим, когда на Азовском море в течение длительного периода удерживается ледяной покров, вследствие недостатка энергии, вызванного почти полным прекращением притока солнечной радиации, фотосинтетическая деятельность фитопланктона не происходит. В результате процессы деструкции существенно превышают синтез, и годовая первичная продукция уменьшается. Зависимость первичной продукции от термического режима подтверждается наличием прямой корреляции между ними ( $r = 0,30-0,35$ ).

В более ранних работах [10, 11] указывалось на существенное и отрицательное воздействие солености на первичную продукцию органического вещества в Азовском море ( $r = -0,47$ ). Объяснялось это тем, что осолонение моря приводит к вытеснению высокопродуктивной пресноводной и солоноватоводной альгофлоры и замене ее галофильными видами, обладающими в большинстве случаев более медленной скоростью деления клеток. При анализе наблюдений за первичной продукцией в 1960—1981 гг. отрицательная связь ее с соленостью подтвердилась ( $r = -0,38 \pm 0,42$ ).

Авторы работ [10, 11], анализирувшие данные наблюдений за 1953—1973 гг., установили прямую и статистически значимую корреляцию ( $r = 0,64 \pm 0,08$ ) между годовыми значениями первичной продукции органического вещества в Азовском море и объем речного стока за календарный год. Статистический анализ данных за 1960—1981 гг. в целом подтвердил, приведенные выше результаты. Однако корреляция оказалась максимальной в случае использования речного стока за гидрологический год ( $r = 0,69 \pm 0,07$ ) (табл. 1.2). Об устойчивости рассматриваемой зависимости свидетельствует такой факт. Для рядов 1960—1973 гг. (период до зарегулирования стока р. Кубань Краснодарским водохранилищем), 1960—1974, 1960—1975, 1960—1976 гг., включающих в себя относительно многоводный (1960—1968 гг.) и исключительно маловодный (1969—1976, особенно 1972—1976 гг.) периоды, коэффициенты корреляции, значимость и вероятность статистической связи еще более высоки (соответственно  $r = 0,84, 0,84, 0,82, 0,83$ ). При дальнейшем удлинении ряда эта связь постепенно уменьшается, достигая минимума к концу исследованного ряда наблюдений ( $r = 0,69$ ). Зависимость первичного продуцирования органического вещества от речного стока в собственно Азовском море и Таганрогском заливе

Матрица взаимной корреляции параметров статистической модели формирования первичной продукции органического вещества Азовского моря. По данным за 1960—1981 гг.

| Параметр       | $ПП_t$ | $N_t^{общ}$ | $P_t^{общ}$ | $N_t^{мин}$ | $N_t^{орг}$ | $P_t^{мин}$ | $P_t^{орг}$ | $T_t^{VII}$ | $V_t^{IX-XI}$ | $V_t^{IX-II}$ | $Q_t^{X+K-IX}$ | $S_t$  | $S_{t-1}$ |
|----------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|----------------|--------|-----------|
| $ПП_t$         | 1      | 0,188       | 0,001       | 0,016       | 0,196       | -0,534      | 0,047       | 0,302       | 0,309         | 0,302         | 0,687          | -0,379 | -0,139    |
| $N_t^{общ}$    |        | 1           | -0,158      | 0,513       | 0,978       | 0,097       | -0,167      | 0,473       | -0,344        | -0,429        | 0,348          | -0,357 | -0,128    |
| $P_t^{общ}$    |        |             | 1           | -0,168      | -0,133      | 0,013       | 0,996       | -0,025      | 0,146         | 0,383         | -0,149         | -0,411 | -0,551    |
| $N_t^{мин}$    |        |             |             | 1           | 0,323       | 0,127       | -0,244      | 0,286       | -0,207        | -0,336        | 0,108          | -0,044 | 0,117     |
| $N_t^{орг}$    |        |             |             |             | 1           | 0,015       | -0,137      | 0,452       | -0,329        | -0,391        | 0,358          | -0,383 | -0,169    |
| $P_t^{мин}$    |        |             |             |             |             | 1           | 0,013       | 0,083       | -0,402        | -0,259        | -0,573         | 0,247  | 0,039     |
| $P_t^{орг}$    |        |             |             |             |             |             | 1           | -0,032      | 0,181         | 0,405         | -0,100         | -0,433 | -0,554    |
| $T_t^{VII}$    |        |             |             |             |             |             |             | 1           | -0,012        | -0,358        | 0,162          | -0,333 | -0,247    |
| $V_t^{IX-XI}$  |        |             |             |             |             |             |             |             | 1             | 0,781         | 0,041          | -0,062 | -0,196    |
| $V_t^{IX-II}$  |        |             |             |             |             |             |             |             |               | 1             | 0,073          | -0,162 | -0,289    |
| $Q_t^{X+K-IX}$ |        |             |             |             |             |             |             |             |               |               | 1              | -0,499 | -0,115    |
| $S_t$          |        |             |             |             |             |             |             |             |               |               |                | 1      | 0,883     |
| $S_{t-1}$      |        |             |             |             |             |             |             |             |               |               |                |        | 1         |

несколько ниже, чем в Азовском море в целом (соответственно  $r = 0,63$  и  $0,55$ ).

На основании полученных зависимостей выведен ряд уравнений, часть из которых для ряда наблюдений 1960—1981 гг. приведена в табл. 1.3.

В многолетних изменениях первичной продукции органического вещества в Азовском море прослеживается два периода с пониженными значе-

Таблица 1.3

Статистические модели первичной продукции органического вещества Азовского моря

| Уравнение регрессии                                                                          | Статистические характеристики уравнений |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|
|                                                                                              | $R$                                     | $S_y$ |
| $ПП_t^{A.M.} = 1,91T_t^{VII} + 4,56V_{t-1}^{IX-XI} + 0,63Q_t^{X-IX} - 59,3$                  | 0,77                                    | 6,0   |
| $ПП_t^{C.A.M.} = 1,07T_t^{VII} + 2,64V_{t-1}^{IX-XI} + 0,47Q_t^{X-IX} - 28,3$                | 0,68                                    | 5,5   |
| $ПП_t^{T.3} = 0,156ПП_{t-1} + 0,768T_t^{VII} + 1,751V_{t-1}^{IX-XI} + 0,13Q_t^{X-IX} - 27,8$ | 0,73                                    | 2,2   |

Примечание.  $ПП_t^{A.M.}$ ,  $ПП_t^{C.A.M.}$ ,  $ПП_t^{T.3}$  — первичная продукция органического вещества в Азовском море, соответственно Азовском море, Таганрогском заливе в текущем году, млн. т;  $T_t^{VII}$  — среднемесячная температура воды в Азовском море в июле, по данным гидрометеорологических станций Приморско-Ахтарск, Бердянск, Мысовое, °C;  $V_{t-1}^{IX-XI}$  — средняя скорость ветра над акваторией Азовского моря осенью предшествующего года, по данным гидрометеорологических станций Таганрог, Бердянск, Мысовое, Приморско-Ахтарск, м/с;  $Q_t^{X-IX}$  — суммарный сток Дона и Кубани с октября предшествующего года по сентябрь рассматриваемого, км³.

ниями (17,9 млн. т в 1952—1954 гг. и 20,4 млн. т в 1969—1976 гг.) и два с повышенными (36,2 млн. т в 1955—1968 гг. и 32,9 млн. т в 1977—1981 гг.), в основном совпадающие с соответствующими фазами в колебаниях речного стока. В последние годы вследствие исключительного многоводья интенсивность синтеза органического вещества приблизилась к уровню, характерному для естественных условий. В то же время в 1982 г. наметилась слабая тенденция ее снижения, связанная со сменой многоводной фазы на маловодную (см. табл. 1.1).

Оценка линейного тренда в многолетних (1953—1985 гг.) колебаниях первичной продукции органического вещества Азовского моря показала, что она ( $Y$ ) изменяется во времени ( $X$ ) по зависимости  $Y = 34,3 - 0,27 X$ . Суммарное уменьшение составило 8,6 млн. т (от 34,3 млн. в начале периода до 25,6 в его конце). Для ряда 1960—1985 гг. суммарный отрицательный тренд равен 5,3 млн. т (от 31,1 млн. т в начале периода до 25,7 млн. т в его конце).

## 1.2. Бактериопланктон и бактериобентос

**Бактериопланктон.** Первые представления о бактериальном населении водной толщи Азовского моря были получены в октябре 1937 г. [12]. Они дают возможность судить о численности бактериопланктона в период до регулирования речного стока. Численность микроорганизмов в тот период в воде собственно моря колебалась в пределах  $(150-250) \cdot 10^3$  мл<sup>-1</sup>. В первый период после регулирования стока р. Дона исследования бактериопланктона Азовского моря были выполнены в апреле—июле 1954 г. [28]. Согласно этим данным, численность бактерий в водной толще была равна

(40—153) · 10<sup>3</sup> мл<sup>-1</sup>. Отсутствие средних значений не позволяет с большой достоверностью говорить об изменениях численности бактериопланктона. Однако размах колебаний его численности свидетельствует о ее снижении в первый период после зарегулирования речного стока, что согласуется с теми изменениями, которые произошли в режиме моря.

Многолетние регулярные наблюдения за бактериопланктоном Азовского моря, выполненные в АЗНИИРХ в 1963—1986 гг., позволили выявить определенную периодичность в годовых колебаниях численности, тесно связанную с изменениями режима моря. В период 1963—1968 гг. численность бактерий в воде Таганрогского залива изменялась в пределах (1,9—9,9) · 10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup>, в собственно море — (1,1—5,9) · 10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup> (табл. 1.4). Содержание микроорганизмов в воде в этот период было самым высоким за весь ряд наблюдений, что соот-

Таблица 1.4  
Численность (10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup>) бактериопланктона в Азовском море

| Год                      | Апрель | Май  | Июнь | Июль | Август | Октябрь | Средняя |
|--------------------------|--------|------|------|------|--------|---------|---------|
| Таганрогский залив       |        |      |      |      |        |         |         |
| 1963                     | 3,6    | 2,9  | 4,0  | 5,0  | 6,5    | 3,5     | 4,2     |
| 1964                     | 2,8    | 2,0  | 2,5  | 3,1  | 3,0    | 2,5     | 2,7     |
| 1965                     | —      | —    | —    | 4,0  | —      | 2,7     | 3,3     |
| 1966                     | 6,2    | —    | —    | 4,9  | —      | 9,9     | 6,8     |
| 1967                     | 2,5    | —    | —    | 2,9  | —      | 3,5     | 3,0     |
| 1968                     | 2,4    | —    | —    | 1,9  | 4,6    | 3,4     | 3,0     |
| 1969                     | 3,7    | —    | —    | 3,6  | 2,3    | 1,9     | 2,9     |
| 1970                     | 1,9    | 1,5  | —    | 2,0  | 2,3    | 2,4     | 2,0     |
| 1971                     | 1,9    | 2,2  | 1,7  | 3,0  | 3,8    | 2,5     | 2,6     |
| 1972                     | 1,1    | 1,3  | 1,2  | 1,1  | 1,6    | 0,5     | 1,1     |
| 1973                     | 0,7    | —    | 0,2  | 1,3  | 0,8    | 0,6     | 0,7     |
| 1974                     | 1,1    | 0,6  | 0,8  | 0,7  | 0,7    | 0,3     | 0,7     |
| 1975                     | 0,5    | 0,5  | 1,0  | 1,0  | 1,1    | 0,7     | 0,8     |
| 1976                     | 0,5    | 1,2  | 1,0  | 0,9  | 1,1    | 0,5     | 0,9     |
| 1977                     | 0,3    | —    | —    | 1,5  | 1,8    | 0,3     | 1,0     |
| 1978                     | 1,1    | —    | —    | 0,7  | 2,9    | 0,6     | 1,3     |
| 1979                     | 0,6    | 0,65 | 0,65 | 0,7  | 1,9    | 1,2     | 1,1     |
| 1980                     | 1,6    | —    | —    | 0,8  | —      | 1,7     | 1,5     |
| 1981                     | 2,7    | —    | —    | 1,7  | 0,8    | 1,7     | 1,7     |
| 1982                     | 1,1    | —    | —    | 1,7  | 1,6    | 2,1     | 1,6     |
| 1983                     | 1,3    | —    | —    | 1,1  | —      | 1,2     | 1,2     |
| 1984                     | 0,6    | —    | —    | 1,3  | 1,5    | 0,8     | 1,0     |
| 1985                     | 0,6    | —    | —    | 0,7  | 1,4    | 1,1     | 1,0     |
| 1986                     | 0,7    | —    | —    | 1,9  | 1,2    | 0,4     | 1,0     |
| Собственно Азовское море |        |      |      |      |        |         |         |
| 1964                     | —      | —    | —    | —    | 1,5    | 1,1     | 1,3     |
| 1966                     | 3,6    | —    | —    | 2,9  | —      | 5,9     | 4,2     |
| 1967                     | 1,4    | —    | —    | 2,0  | —      | 2,3     | 1,9     |
| 1968                     | 1,7    | —    | —    | 1,4  | 2,0    | 2,3     | 1,9     |
| 1969                     | 2,8    | —    | —    | 3,5  | 1,5    | 1,7     | 2,4     |
| 1970                     | 1,4    | 1,2  | —    | 1,8  | 1,4    | 1,8     | 1,6     |
| 1971                     | 1,4    | 1,9  | 1,6  | 2,0  | 2,9    | 1,4     | 1,9     |
| 1972                     | 1,1    | 0,4  | 0,7  | 1,0  | 0,6    | 0,3     | 0,8     |
| 1973                     | 0,2    | —    | 0,3  | 1,0  | 0,9    | 0,3     | 0,6     |
| 1974                     | 0,9    | 0,5  | 0,7  | 0,9  | 0,5    | 0,2     | 0,6     |
| 1975                     | 0,5    | 0,3  | 0,6  | 1,1  | 1,0    | 0,5     | 0,7     |
| 1976                     | 0,4    | 0,9  | 0,5  | 0,9  | 1,2    | 0,4     | 0,7     |
| 1977                     | 0,4    | —    | —    | 1,6  | 1,0    | 0,5     | 0,9     |
| 1978                     | 1,1    | —    | —    | 1,0  | 5,1    | 1,4     | 2,1     |
| 1979                     | 1,0    | 0,7  | 0,5  | 0,3  | 2,3    | 0,7     | 1,1     |
| 1980                     | 1,3    | —    | —    | 1,1  | —      | 1,3     | 1,3     |
| 1981                     | 1,5    | —    | —    | 1,8  | 0,9    | 1,2     | 1,4     |
| 1982                     | 1,2    | —    | —    | 1,2  | 1,4    | 1,7     | 1,4     |
| 1983                     | 1,4    | —    | —    | 1,2  | —      | 0,8     | 1,1     |
| 1984                     | 0,5    | —    | —    | 1,0  | 1,3    | 0,6     | 0,8     |
| 1985                     | 0,5    | —    | —    | 1,0  | 1,3    | 0,8     | 0,9     |
| 1986                     | 1,1    | —    | —    | 1,3  | 0,8    | 0,4     | 0,9     |

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

ветствует высокой биологической продуктивности моря в эти годы [32].

В 1969—1976 гг. наблюдается значительное снижение численности бактериопланктона (от 0,2 · 10<sup>6</sup> до 3,8 · 10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup>) в Таганрогском заливе и от 0,2 · 10<sup>6</sup> до 3,5 · 10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup> в собственно море) (см. табл. 1.4). В среднем содержание бактерий в воде в эти годы снизилось в 2,7 раза в Таганрогском заливе и 2,3 раза в собственно море (табл. 1.5). Однако в первые годы этого периода (1969—1971)

Таблица 1.5  
Численность бактерий в воде и донных отложениях Азовского моря в различные периоды

| Район                                              | 1963—1968 | 1969—1976 | 1977—1982 | 1983—1986 |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Бактериопланктон, 10 <sup>6</sup> мл <sup>-1</sup> |           |           |           |           |
| Таганрогский залив                                 | 3,8       | 1,4       | 1,4       | 1,0       |
| Собственно море                                    | 2,3       | 1,0       | 1,4       | 0,9       |
| Бактериобентос, 10 <sup>9</sup> г <sup>-1</sup>    |           |           |           |           |
| Таганрогский залив                                 | 1,60      | 0,90      | 0,52      | 1,20      |
| Собственно море                                    | 2,05      | 1,08      | 0,52      | 1,10      |

численность бактериопланктона оставалась еще высокой. Значительное ее снижение началось с 1972 г. Синхронные исследования бактериального населения и гидрологических, гидрохимических характеристик и характеристик планктона позволили выяснить основные абиотические и биотические факторы, влияющие на численность бактерий в море. Имн являются соленость воды и биомасса фитопланктона. Поэтому, вероятно, в связи со значительным снижением биомассы фитопланктона и устойчивым осолонением моря в 1972—1976 гг. численность бактериопланктона была самой низкой за весь период наблюдений (0,2—1,6) · 10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup> в Таганрогском заливе и (0,2—1,1) · 10<sup>6</sup> мл<sup>-1</sup> в собственно море).

В последующие годы (1977—1982) наблюдалось устойчивое повышение численности бактериопланктона и в Таганрогском заливе, и в собственно море. В среднем за период в собственно море она возросла в 1,4 раза по сравнению с численностью в 1969—1976 гг. В Таганрогском заливе она осталась на том же уровне. Однако по сравнению с численностью в маловодный период (1972—1976 гг.) она увеличилась и в Таганрогском заливе (в 1,8 раза), а в собственно море — в два раза. Следовательно, распределение моря в эти годы и рост биомассы фитопланктона сыграли положительную роль в развитии бактериальных популяций. В то же время численность бактерий не достигла показателей 1963—1968 гг., причем эта разница в большей степени заметна в Таганрогском заливе. Здесь численность бактериопланктона в 1963—1968 гг. была в 2,7 раза выше численности в 1977—1982 гг., в то время как в собственно море — всего в 1,6 раза. Как видно, изменения режима моря более резко сказались на численности бактериопланктона Таганрогского залива, а не на численности бактериопланктона собственно моря.

Начиная с 1983 г. наметилась тенденция снижения численности бактериопланктона (до

$1,2 \cdot 10^6$  мл<sup>-1</sup> в Таганрогском заливе и до  $1,1 \cdot 10^6$  мл<sup>-1</sup> — в собственно море) и стабилизация ее на уровне  $1,0 \cdot 10^6$  мл<sup>-1</sup> в заливе и  $(0,8-0,9) \times 10^6$  мл<sup>-1</sup> в море в последующие годы (1984—1986). Такие изменения количественной характеристики бактериопланктона вполне соответствовали водному и солевому режимам моря в эти годы.

Изменения количественной характеристики бактериальных популяций сопровождались качественными изменениями: происходила смена бактериальных комплексов. Это выразилось в изменении соотношения двух основных морфологических групп в составе бактериопланктона (кокков и палочек) и числе других форм. По данным АзНИИРХ, в последнем десятилетии в составе бактериопланктона преобладали палочковидные формы (62 % в заливе и 55 % в море), в то время как в 1963—1968 гг. эти формы составляли всего 31 %. Кроме того, значительно сократилась численность азотобактероподобных и нитевидных форм бактерий. В 1963—1968 гг. они составляли 9 % от общей численности бактериопланктона в заливе и 4 % в море, а с 1973 г. они практически не встречаются.

На фоне изменения общей численности микропланктона происходило изменение численности отдельных физиологических групп, в частности сапрофитных бактерий. Их численность в водной толще в последнем десятилетии снизилась в два раза в заливе и в три раза в море по сравнению с 1963—1976 гг. Если в 1963—1976 гг. средняя годовая численность сапрофитных бактерий составляла  $(1,53-3,70) \cdot 10^3$  кл/мл в Таганрогском заливе и  $(1,49-5,53) \cdot 10^3$  кл/мл в собственно море, то в 1977—1986 гг. она была равна  $(0,43-1,64) \cdot 10^3$  и  $(0,30-2,60) \cdot 10^3$  кл/мл соответственно.

**Бактериобентос.** Изменения режима моря отразились и на развитии донной микрофлоры. Первые сведения об общей численности бактерий в поверхностном слое донных отложений Азовского моря были получены в 1922—1925 гг., согласно которым в 1 г донных отложений содержится от 23 до 776 млн. бактериальных клеток [34]. В первый период после зарегулирования стока р. Дона численность бактериобентоса была определена в 1954 г., когда содержание бактерий в поверхностном слое донных отложений в весенне-летний период колебалось в пределах  $(3,6-17,2) \cdot 10^9$  г<sup>-1</sup>. Столь высокую численность бактериобентоса объясняли гидрологическими условиями года, которые привели к максимальной седиментации взвеси и исключительному накоплению органического вещества в донных отложениях.

Регулярные наблюдения за состоянием бактериобентоса проводятся в АзНИИРХ с 1967 г. Они показали, что годовые колебания численности бактерий в донных отложениях выражены более сложными ритмами, чем в водной толще (табл. 1.6). Содержание бактерий в донных отложениях также изменяется в зависимости от солевого режима и, как правило, находится в противофазе с бактериопланктоном. Внутри довольно больших рассматриваемых периодов выделяются 2—3-летние циклы, по-видимому, обусловленные изменениями кислородного режима. Было отмечено, что в годы с благоприятным кислородным режимом плотность донных бактериальных популяций обычно в 1,5—2,5 раза выше, чем в те годы, когда дефицит кис-

Таблица 1.6  
Численность ( $10^9$  г<sup>-1</sup>) бактериобентоса в Азовском море

| Год                      | Апрель | Май  | Июнь | Июль | Август | Октябрь | Средняя |
|--------------------------|--------|------|------|------|--------|---------|---------|
| Таганрогский залив       |        |      |      |      |        |         |         |
| 1967                     | 1,23   | —    | —    | 2,13 | —      | 1,00    | 1,50    |
| 1968                     | 1,77   | —    | —    | 1,33 | —      | 1,93    | 1,70    |
| 1969                     | 1,23   | —    | —    | 2,20 | —      | 1,37    | 1,60    |
| 1970                     | 1,43   | —    | —    | 1,00 | 0,90   | 3,17    | 1,62    |
| 1971                     | 0,37   | —    | —    | 0,77 | 0,20   | 0,25    | 0,40    |
| 1972                     | 0,29   | 0,29 | 0,25 | 0,17 | 0,12   | 0,06    | 0,20    |
| 1973                     | 0,25   | —    | 0,36 | 0,58 | 0,47   | 0,29    | 0,40    |
| 1974                     | 0,70   | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80   | 0,60    | 0,91    |
| 1975                     | 0,40   | 0,60 | 1,30 | 0,70 | 1,10   | 1,20    | 0,88    |
| 1976                     | 1,20   | 1,30 | 0,88 | 1,50 | 1,30   | 1,10    | 1,20    |
| 1977                     | 0,55   | —    | —    | 1,00 | 0,57   | 0,23    | 0,58    |
| 1978                     | 0,40   | —    | —    | 0,26 | 0,68   | 0,18    | 0,38    |
| 1979                     | 0,36   | —    | —    | 0,86 | 0,72   | 0,78    | 0,68    |
| 1980                     | 0,60   | —    | —    | 0,89 | —      | 0,96    | 0,82    |
| 1981                     | 0,12   | —    | —    | 0,09 | 0,13   | 0,13    | 0,11    |
| 1982                     | 0,36   | —    | —    | 0,44 | 0,21   | 1,12    | 0,57    |
| 1983                     | 0,59   | —    | —    | 1,37 | —      | 0,94    | 0,97    |
| 1984                     | 1,16   | —    | —    | 0,84 | 0,65   | 0,86    | 0,88    |
| 1985                     | 1,21   | —    | —    | 1,40 | 2,28   | 2,10    | 1,75    |
| 1986                     | 1,25   | —    | —    | 1,50 | 1,14   | 1,02    | 1,21    |
| Собственно Азовское море |        |      |      |      |        |         |         |
| 1967                     | 1,63   | —    | —    | 3,51 | —      | 1,26    | 2,20    |
| 1968                     | 1,46   | —    | —    | 1,24 | 2,93   | 2,00    | 1,90    |
| 1969                     | 1,78   | —    | —    | 2,30 | 1,30   | 1,11    | 1,64    |
| 1970                     | 2,03   | —    | —    | 1,32 | 1,81   | 8,72    | 2,65    |
| 1971                     | 0,60   | —    | 0,37 | 0,78 | 0,22   | 0,13    | 0,46    |
| 1972                     | 0,18   | —    | 0,37 | 0,15 | 0,28   | 0,06    | 0,20    |
| 1973                     | 0,31   | —    | 0,42 | 0,82 | 0,54   | 0,32    | 0,48    |
| 1974                     | 1,00   | 0,90 | 1,20 | 1,10 | 0,80   | 0,70    | 0,97    |
| 1975                     | 0,30   | 0,60 | 1,60 | 0,80 | 1,00   | 1,00    | 0,88    |
| 1976                     | 1,00   | 1,30 | 1,20 | 2,20 | 1,40   | 1,30    | 1,35    |
| 1977                     | 0,60   | —    | —    | 0,55 | 0,52   | 0,21    | 0,55    |
| 1978                     | 0,30   | —    | —    | 0,22 | 0,56   | 0,24    | 0,33    |
| 1979                     | 0,30   | —    | —    | 1,05 | 0,60   | 0,75    | 0,67    |
| 1980                     | 1,00   | —    | —    | 0,84 | —      | 0,81    | 0,85    |
| 1981                     | 0,09   | —    | —    | 0,09 | 0,16   | 0,13    | 0,11    |
| 1982                     | 0,20   | —    | —    | 0,66 | 0,24   | 1,42    | 0,60    |
| 1983                     | 0,59   | —    | —    | 0,66 | —      | 0,82    | 0,67    |
| 1984                     | 1,50   | —    | —    | 0,58 | 0,73   | 1,23    | 1,03    |
| 1985                     | 1,21   | —    | —    | 1,50 | 1,63   | 2,18    | 1,60    |
| 1986                     | 0,77   | —    | —    | 2,03 | 0,91   | 0,77    | 1,10    |

лорода у дна охватывал значительную часть акватории моря.

Большое значение для развития микроорганизмов имеет количество и качество органического вещества, особенно наличие его легкоминерализуемой фракции. В определенной степени показателем мобильной части органического вещества может служить отношение каротиноидов к органическому углероду. Между данными показателями и численностью бактериобентоса в Азовском море наблюдается довольно тесная прямая зависимость.

По-видимому, совокупность всех отмеченных факторов и определяет периодичность годовых колебаний численности донной микрофлоры. Максимальная плотность бактерий в донных отложениях обнаружена в 1967—1970 гг. Известно, что эти годы характеризовались значительным увеличением скорости седиментации и обогащением донных отложений свежим органическим веществом [9], что способствовало активному развитию бактериальных популяций.

Резкое снижение первичной продукции в период осолонения привело к уменьшению запасов органического вещества в донных отложениях [3] и

снижению численности бактериобентоса в два раза по сравнению с численностью в предыдущий период. Однако в этот период плотность бактерий в грунтах изменялась в среднем от  $(0,2-0,4) \times 10^9 \text{ г}^{-1}$  в 1971—1973 гг. до  $(0,88-1,35) \cdot 10^9 \text{ г}^{-1}$  в 1974—1976 гг.

Эти две группы лет отличались по кислородному режиму, концентрации органического углерода в грунтах и отношению содержания каротиноидов к содержанию углерода. К 1974—1976 гг. отмечалась стабилизация в содержании органического углерода, и отношение содержания каротиноидов к концентрации органического углерода была в среднем равна 12,2, а в 1971—1973 гг. — 8,8 [3]. Кроме того, в эти годы дефицит кислорода у дна был значительно меньше, чем в 1971—1973 гг. Все эти обстоятельства, по-видимому, обусловили более высокое содержание бактерий в поверхностном слое донных отложений в 1974—1976 гг.

В последующий период распреснения численность бактериобентоса еще более снизилась — в среднем в два раза по сравнению с периодом осолонения. В начале периода распреснения на фоне повышения концентрации органического углерода в донных отложениях произошло снижение отношения содержания каротиноидов к концентрации  $C_{\text{орг}}$  с 12,2 (в конце периода осолонения) до 8,5. Это могло явиться одной из причин снижения численности донных бактериальных популяций. Однако внутри этого периода выделяются годы с более высокими показателями (1979, 1980, 1982), когда численность бактерий в донных отложениях колебалась в пределах  $(0,20-1,42) \cdot 10^9 \text{ г}^{-1}$ , и с более низкими (1977, 1978, 1981 гг.), когда их численность изменялась в пределах  $(0,0-1,00) \cdot 10^9 \text{ г}^{-1}$ .

Последний период (1983—1986 гг.) характеризуется высокой численностью донных бактериоценозов, которая в среднем увеличилась по сравнению с 1977—1982 гг. в два раза. Особенно высокая численность бактерий была в 1985 г., когда отмечались значения  $(1,2-2,3) \cdot 10^9 \text{ г}^{-1}$ , характерные для конца 60-х годов. Возможно, определенную роль в этом сыграли пыльные бури в зимне-весенний период 1984 г., принесшие на акваторию Азовского моря около 11 млн. т эоловых наносов.

Наряду с общей численностью изменялась и численность отдельных физиологических групп бактерий. Численность сапрофитных бактерий в донных отложениях была наибольшей в период осолонения. В среднем она составила  $2,0 \cdot 10^9 \text{ г}^{-1}$  в Таганрогском заливе и в собственно море, а в отдельные годы достигала  $(4,4-5,4) \cdot 10^9 \text{ г}^{-1}$ . Минимальная численность сапрофитов в донных отложениях была отмечена в 1977—1982 гг. и составляла  $0,82 \cdot 10^6 \text{ г}^{-1}$  в заливе и  $0,52 \cdot 10^6 \text{ г}^{-1}$  в море. В последние годы она увеличилась в 1,5 раза по сравнению с предыдущим периодом.

Подобным образом изменялась и численность сульфатредуцирующих бактерий. Максимальной она была в период осолонения (1380 кл/г в заливе и 2300 кл/г в море), достигая в отдельные сезоны 16 900 кл/г. В период распреснения их количество снизилось в среднем в 2,5 раза в заливе и в 8 раз в собственно море. Однако, как и в период осолонения, более высокая плотность сульфатредукторов наблюдалась в те годы, когда у дна формировалась гипоксия, что вполне закономерно, так как

при возникновении в водоеме анаэробных условий численность бактерий-анаэробов в верхнем слое донных отложений обычно возрастает. В последние годы вновь наблюдается увеличение численности сульфатредуцирующих бактерий. Наибольшая их численность была обнаружена в 1984 г., причем не только летом, когда их, как правило, много, но и весной. Уже в апреле их численность была равна 9400 кл/г в Таганрогском заливе и 3700 кл/г в собственно море, что для этого сезона является высоким значением. Подобные численности сульфатредукторов весной наблюдались и в последующие два года, что является особенностью в развитии донной микрофлоры.

### 1.3. Фитопланктон

Вопрос о видовом составе, количественных показателях и сезонной динамике фитопланктона Азовского моря и Таганрогского залива освещался во многих работах [1, 71].

В последние годы в Азовском море произошли значительные изменения гидролого-гидрохимического режима, повлиявшие в первую очередь на изменение первичной продукции, а в дальнейшем и на последующие звенья трофической цепи.

Основой для этой работы послужили литературные данные [1, 71] и собственные материалы наблюдений, полученные во время комплексных экспедиций в Азовское море в 1972—1986 гг. Видовой состав, ареалы распространения и продуктивность фитопланктона формируются под влиянием речного стока. До зарегулирования стока р. Дона составлял 1/8 объема моря. Со стоком в море и залив вносилось большое количество питательных солей, необходимых для развития фитопланктона. В теплое время года отмечалось интенсивное «цветение» воды, вызываемое сине-зелеными и диатомовыми водорослями, которое охватывало не только эстуарии, но и большую часть акватории моря. В годы до зарегулирования стока Дона первичная продукция достигала 340 млн. т (сырое вещество), а среднегодовая биомасса водорослей  $3,7 \text{ г/м}^3$  [52, 71].

Первые годы после зарегулирования р. Дона (1952—1955) были маловодными. В связи с повышением солености и уменьшением притока питательных веществ ареалы массового развития большинства форм сине-зеленых и зеленых водорослей сильно сократились, ареал пиррофитовых, наоборот, расширился. В море и заливе преобладали диатомовые и пиррофитовые водоросли. Появились некоторые черноморские формы, иные из них развивались в значительном количестве.

Биомасса фитопланктона в условиях зарегулированного стока несколько сократилась, но находилась на относительно высоком уровне (табл. 1.7).

Второй период (1956—1968 гг.) характеризовался увеличением стока пресных вод и снижением солености воды. Опреснение залива и возросший приток питательных солей способствовали расширению ареала и интенсивному развитию пресноводных водорослей, особенно сине-зеленых. Их биомасса в отдельные годы (1958—1962, 1968) достигала  $12-1400 \text{ г/м}^3$ , а область массового распространения занимала весь залив и прилегающую к нему часть моря. Большая часть органического



Таблица 1.7

Биомасса фитопланктона, мг/м<sup>3</sup>

| Период             | Море     |                      | Залив    |                      |
|--------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|
|                    | Биомасса | Отклоне-<br>ние %, % | Биомасса | Отклоне-<br>ние %, % |
| До зарегулирования | 3686     | —                    | —        | —                    |
| 1952—1955          | 3261     | —12                  | 6401     | —                    |
| 1956—1968          | 2270     | —30                  | 6538 **  | +2                   |
| 1969—1976          | 1160     | —                    | 2904     | —                    |
| 1969—1971          | 2003     | —12                  | 3150     | —51                  |
| 1972—1976          | 654      | —67                  | 2757     | —13                  |
| 1977—1978          | —        | —                    | 1853     | —33                  |
| 1977—1979          | 587      | —10                  | —        | —                    |
| 1979—1986          | —        | —                    | 3866 *** | +109                 |
| 1980—1986          | 1278 *** | +118                 | —        | —                    |

\* Отклонение дано по отношению к предыдущему периоду.

\*\* Без учета экстремальных показателей биомассы 1960—1961 гг.

\*\*\* Без учета показателей весны 1984 г.

вещества выносятся в открытое море и оседала на дно. В море участились случаи дефицита кислорода, сопровождавшегося заморными явлениями. Использование питательных солей происходило в основном в заливе, что неблагоприятно влияло на развитие растительного планктона в море. Первичная продукция в собственно море стала определяться скоростью распада органического вещества. Биомасса фитопланктона в заливе возросла, а в море снизилась по сравнению с биомассой в предыдущий период (см. табл. 1.7).

В сезонной динамике биомассы фитопланктона как до зарегулирования, так и после него (1952—1968) отмечалось два пика — весенний и летне-осенний (табл. 1.8).

Биологическая весна на Азовском море наступает почти сразу же после вскрытия льда. Весна характеризуется массовым развитием холодноводных видов диатомовых водорослей *Chaetoceros holsaticus*, *Skeletonema costatum* (при температуре воды 2—3°C). В Таганрогском заливе наряду с *S. costatum* часто интенсивно развиваются *Coscinodiscus jonesianus*.

Летом в море развиваются представители теплолюбивого комплекса из групп пиропитовых и диатомовых, причем преобладают *Exuviaella cordata*, *Prorocentrum micans*, *Goniaulax*. В конце лета появляются умеренно холодноводные виды диатомовых водорослей: *Thalassionema nitzschioides*, *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros subtilis*, *Ch. mulleri*, *Ch. simplex*. В некоторые годы наблюдалось массовое развитие *Rhizosolenia calcar avis*, *Biddulphia mobiliensis*, *Ditylum brightwellii* и др.

В Таганрогском заливе летом преобладают эвригалльные пресноводные и солоноватоводные виды сине-зеленых, зеленых, диатомовых: *Aphanisomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *M. pulverea*, *Lyngbya limnetica*, *Anabaena flos-aquae*, *Coscinodiscus jonesianus*. В западном районе залива доминировали те же виды, что и в море.

Осенью в море продолжают вегетировать виды умеренно тепловодного комплекса, появившиеся в августе, к ноябрю их биомасса резко снижается. Одновременно с ее снижением возрастает биомасса холодноводных диатомей: *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*, *Ch. rigidus*.

В заливе осенью продолжают развиваться сине-зеленые водоросли, но в меньшем, чем летом, количестве возрастает роль *Coscinodiscus jonesianus*. На западе залива преобладают те же виды, что и в море.

Появившиеся в предыдущий период черноморские виды продолжают развиваться и в 60-е годы. Так, в 1965—1966 гг. в море было много *Nitzschia seriata*. В 1966 г. она впервые появилась на западе залива. В 1966—1968 гг. в море в небольшом количестве встречены *Chaetoceros affinis*, *Cerataulina bergonii*, *Goniaulax digitale*, *Nitzschia seriata*.

В 1969—1976 гг. сокращение водности Дона и Кубани, вызванное антропогенным воздействием и природными факторами, обусловило повышение солености воды моря и залива, уменьшение поступления питательных солей, вследствие чего произошли значительные изменения в видовом составе, ареалах распространения, продуктивности растительного планктона.

Осолонение моря и залива вызвало глубокие структурные изменения фитопланктона, особенно значительны были они в 1972—1976 гг., т. е. в годы наибольшего осолонения моря.

В эти годы резко сократилось число видов водорослей: в море со 124 до 82, в заливе — со 105 до 84. Из состава фитопланктона исчез ряд пресноводных видов из групп диатомовых, сине-зеленых и зеленых, солоноватоводных диатомовых и стеногаллиных морских диатомовых и пиропитовых водорослей, обитающих при солености до 13‰.

Видовой состав моря, без опресненных участков, был бедный и однообразный. Основной фон фитопланктона моря составляли *Skeletonema costatum*, *Cyclotella caspia*, *Leptocylindrus minimus*, *L. danicus*, *Thalassiosira exentrica*, *Coscinodiscus radiatus*, *C. granii*, *Exuviaella cordata*, *Prorocentrum micans*. В заливе доминировали три первых вида диатомовых и два последних вида пиропитовых, а также *Coscinodiscus jonesianus*, *Microcystis pulverea*, *Lyngbya limnetica*, *Binnuclearia lauterbornii*.

В годы «осолонения» частично сменился состав массовых видов фитопланктона.

Весной в планктоне моря и залива, как и раньше, преобладала *Skeletonema costatum*. Доминирующие в предыдущие периоды весной и осенью представители рода *Chaetoceros* встречались единично, а *Chaetoceros holsaticus* — массовый вид весеннего планктона в 1972—1976 гг. совсем не встречался.

Летом в море, как и в предыдущие периоды, доминируют тепловодные пиропитовые водоросли *Exuviaella cordata*, *Prorocentrum micans*, в конце лета появляются *Leptocylindrus danicus*, *Coscinodiscus granii*, *C. radiatus*, *Thalassiosira exentrica*; роль последних двух видов возрастает. Доминирующие прежде *Goniaulax polyedra* и виды рода *Chaetoceros* находились в небольшом количестве.

Осенью в море продолжают вегетировать виды *Coscinodiscus*, а *Leptocylindrus danicus* заменяется видом *L. minimus*, роль которого возрастает, и он доминирует по всему морю.

Прежние осенние доминанты *Thalassionema nitzschioides*, *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum* и др. встречаются в небольшом количестве.

В летне-осеннем планктоне моря в 1924—1925 гг. [71], 1951—1957 [55] и 1967—1971 гг. [2]



Сезонная и годовая динамика биомассы (мг/м<sup>3</sup>) фитопланктона в Азовском море

| Годы                     | Март   | Апрель | Май   | Июнь  | Июль   | Август | Октябрь | Средняя годовая |
|--------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|-----------------|
| Таганрогский залив       |        |        |       |       |        |        |         |                 |
| 1954                     | —      | 6 692  | —     | —     | 4 081  | —      | —       | 5 386           |
| 1955                     | —      | 9 919  | —     | 755   | 1 112  | 1 198  | —       | 3 246           |
| 1956                     | —      | 10 899 | 1 536 | —     | 2 846  | 2 300  | —       | 4 395           |
| 1957                     | 7 676  | 2 735  | 1 298 | —     | 4 194  | —      | —       | 3 975           |
| 1958                     | —      | 3 228  | 2 344 | —     | 2 262  | 12 466 | 2 092   | 4 474           |
| 1959                     | —      | 2 325  | 1 377 | —     | 3 085  | 19 093 | 383     | 5 252           |
| 1960                     | —      | 13 707 | 1 226 | —     | 5 169  | 4 763  | 14 550  | 7 883           |
| 1961                     | —      | 5 440  | 632   | —     | 9 804  | 12 055 | 1 507   | 5 887           |
| 1962                     | 2 989  | 2 444  | 693   | 1 857 | 11 837 | 83 129 | 1 433   | 14 912          |
| 1963                     | —      | 20 808 | 3 498 | 2 771 | 2 917  | 4 207  | 2 501   | 6 122           |
| 1964                     | —      | 2 005  | 4 488 | 3 627 | 5 713  | 7 985  | 4 035   | 4 642           |
| 1965                     | —      | 3 999  | 1 364 | 1 150 | 1 302  | 3 167  | 4 669   | 2 608           |
| 1966                     | —      | 5 696  | 1 426 | —     | 941    | 27 833 | 13 536  | 9 886           |
| 1967                     | —      | 3 501  | 894   | —     | 2 286  | 5 921  | 11 549  | 4 830           |
| 1968                     | —      | 11 968 | —     | 9 193 | 7 874  | 5 497  | 16 153  | 10 137          |
| 1969                     | —      | 3 302  | 2 449 | 4 709 | 4 550  | 3 673  | 2 548   | 3 538           |
| 1970                     | —      | 6 506  | 1 604 | 518   | 3 251  | 3 889  | 1 905   | 2 945           |
| 1971                     | —      | 700    | 463   | 1 001 | 3 522  | 1 743  | 10 375  | 2 967           |
| 1972                     | —      | 2 799  | 536   | 562   | 7 179  | 5 069  | 11 306  | 4 575           |
| 1973                     | —      | 1 258  | —     | 5 828 | 3 360  | 6 778  | 951     | 3 035           |
| 1974                     | —      | 6 311  | 890   | 2 360 | 3 039  | 2 560  | 1 552   | 2 785           |
| 1975                     | —      | 1 287  | 405   | 502   | 1 836  | 1 290  | 985     | 1 051           |
| 1976                     | —      | 664    | 459   | 2 114 | 4 343  | 5 989  | 490     | 2 343           |
| 1977                     | —      | 753    | —     | 1 833 | 3 206  | 2 054  | 3 466   | 2 262           |
| 1978                     | —      | 1 556  | —     | 1 210 | 2 018  | 962    | 1 472   | 1 443           |
| 1979                     | —      | 779    | 499   | 1 733 | 6 571  | 5 545  | 5 812   | 3 489           |
| 1980                     | —      | 2 259  | —     | —     | 4 271  | 11 432 | 5 870   | 5 958           |
| 1981                     | —      | 1 987  | —     | —     | 2 673  | 5 103  | 1 561   | 2 831           |
| 1982                     | —      | 1 132  | —     | —     | 2 083  | 3 475  | 2 270   | 2 740           |
| 1983                     | —      | 1 708  | —     | —     | 4 369  | 3 300  | 3 547   | 3 231           |
| 1986                     | —      | 1 844  | —     | —     | 5 830  | 3 826  | 1 987   | 3 372           |
| Собственно Азовское море |        |        |       |       |        |        |         |                 |
| 1952                     | —      | 5 517  | —     | —     | 2 700  | 3 911  | —       | 4 052           |
| 1953                     | —      | 28 437 | —     | —     | 987    | —      | —       | —               |
| 1954                     | —      | 4 874  | —     | —     | 941    | —      | —       | 2 907           |
| 1955                     | 3 405  | 1 487  | —     | 456   | 6 053  | 4 222  | —       | 3 124           |
| 1956                     | —      | 6 839  | —     | 1 003 | 1 613  | 2 230  | —       | 2 926           |
| 1957                     | 10 462 | 1 615  | —     | 2 613 | 3 420  | 2 006  | —       | 4 023           |
| 1958                     | —      | 2 746  | —     | 1 172 | 1 812  | 1 882  | 640     | 1 650           |
| 1959                     | 2 053  | 1 392  | —     | 440   | 1 278  | 3 599  | 2 670   | 1 908           |
| 1960                     | —      | 2 547  | —     | 934   | 1 874  | 2 333  | 2 784   | 2 094           |
| 1961                     | —      | 815    | —     | 199   | 1 127  | 3 354  | 1 157   | 1 328           |
| 1962                     | 1 418  | 866    | 188   | 367   | 833    | 804    | 788     | 752             |
| 1963                     | —      | 660    | —     | 263   | 1 941  | 2 914  | 1 338   | 1 423           |
| 1964                     | —      | 1 147  | —     | 491   | 892    | 3 229  | 1 893   | 1 530           |
| 1965                     | —      | 3 468  | —     | 612   | 850    | 4 053  | 14 402  | 9 677           |
| 1966                     | —      | 1 467  | 1 116 | 1 008 | 2 204  | 3 745  | 3 590   | 2 188           |
| 1967                     | —      | 977    | —     | —     | 1 400  | 3 075  | 3 550   | 2 250           |
| 1968                     | —      | 1 818  | —     | 1 614 | 1 037  | 3 539  | 5 826   | 2 766           |
| 1969                     | —      | 2 233  | 872   | 1 164 | 1 132  | 4 137  | 945     | 1 747           |
| 1970                     | —      | 1 081  | 401   | —     | 875    | 648    | 10 680  | 2 737           |
| 1971                     | —      | 1 686  | 349   | 1 116 | 2 521  | 957    | 2 533   | 1 527           |
| 1972                     | —      | 353    | 371   | 543   | 972    | 632    | 988     | 643             |
| 1973                     | —      | 150    | —     | 160   | 1 027  | 1 074  | 1 072   | 697             |
| 1974                     | —      | 720    | 38    | 193   | 658    | 712    | 1 345   | 611             |
| 1975                     | —      | —      | 127   | 388   | 436    | 2 281  | 1 266   | 899             |
| 1976                     | —      | 73     | 129   | 134   | 440    | 1 376  | 374     | 421             |
| 1977                     | —      | 113    | —     | 95    | 464    | 1 506  | 611     | 558             |
| 1978                     | —      | 640    | —     | 83    | 636    | 509    | 815     | 536             |
| 1979                     | —      | 415    | —     | 216   | 230    | 1 813  | 667     | 668             |
| 1980                     | —      | 356    | —     | —     | 2 478  | 2 141  | 1 501   | 1 619           |
| 1981                     | —      | 312    | —     | —     | 607    | 1 740  | 458     | 779             |
| 1982                     | —      | 943    | —     | —     | 1 863  | 1 387  | 1 730   | 1 481           |
| 1983                     | —      | 343    | —     | —     | 564    | 2 626  | 1 021   | 1 138           |
| 1984                     | —      | 2 299  | —     | —     | 1 319  | 2 292  | 833     | 1 686           |
| 1985                     | —      | 865    | —     | —     | 572    | 1 940  | 1 097   | 1 118           |
| 1986                     | —      | 431    | —     | —     | 1 799  | 1 319  | 971     | 1 130           |

в массе развивались крупные диатомовые водоросли *Biddulphia mobiliensis*, *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia calcar avis*. С 1974 г. роль первого вида, а с 1973 г. двух других резко снижается, они встречаются в планктоне единично.

Летом в заливе, как и в предыдущие периоды, преобладает диатомовая водоросль *Coscinodiscus jonesianus* и сине-зеленые водоросли, роль которых по мере осолонения снижается. Из водорослей этой группы основная роль принадлежала *Microcystis pulvereae* (около 90 % биомассы этой группы). Ему сопутствовали виды *Lyngbia*, *Merismopedia*. В 1959—1971 гг. «цветение» воды в заливе вызывалось видами *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *M. pulvereae* и др. В годы «осолонения» первые три вида единично встречены на востоке залива при солености до 2,0 ‰, численность их возрастает только в 1979—1980 гг.

Комплекс сине-зеленых водорослей периода «осолонения» в значительном количестве развивался при солености до 7,5 ‰, с повышением солености до 10 ‰ их роль снижалась.

Летом, как и в море, в заливе было много пиропитовых водорослей *Exuviaella cordata*, *Prorocentrum micans*.

Осенью в заливе продолжают развиваться водоросли летнего комплекса за исключением пиропитовых. В это время по всему заливу появляется и вегетирует в значительных количествах диатомовая водоросль *Leptocylindrus minimus*, роль которой возросла по сравнению с прежними годами.

В годы «осолонения» в планктоне встречены черноморские виды *Melosira moniliformis*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Chaetoceros affinis*, *Cerataulina bergonii*, *Nitzschia seriata*, *Goniaulax digitale*, *Coscinodiscus perforatus*, *Ceratium furca*. За исключением двух последних, эти виды распространились по всему морю. *Rhizosolenia fragilissima*, *Cerataulina bergonii* в 1972 г., *Melosira moniliformis* в 1973 г., *Chaetoceros affinis* в 1977 г. впервые найдены на западе залива, а *Nitzschia seriata* — на его востоке.

Удельная биомасса черноморских видов составляла 1—6 %. Ареалы распространения групп и видов фитопланктона в заливе изменились в большей степени, чем в море.

До 1969 г. фитопланктон в заливе в основном был представлен эвригалными видами пресноводного происхождения из групп сине-зеленых, диатомовых, меньшее значение имели зеленые, эвгленовые, морские пиропитовые и диатомовые. Состав фитопланктона в западной части залива был близок к составу в Азовском море, в восточной части — к составу в реке, а в центральной — ближе к составу в восточной.

С 1969 г. по мере осолонения залива изменились ареалы пресноводных водорослей. В 1968 г. сине-зеленые водоросли развивались по всему заливу и прилегающей части моря (рис. 1.1), в 1972 и 1973 гг. они локализовались в восточной и центральной частях залива, а также в том районе западной части, где соленость не превышала 10 ‰. В 1974 г. эта граница отодвинулась к западу центральной части, в 1975 г. сине-зеленые водоросли остались лишь в части восточного опресненного района залива и практически потеряли значение. С 1976 г. ареал этой группы водорослей вновь

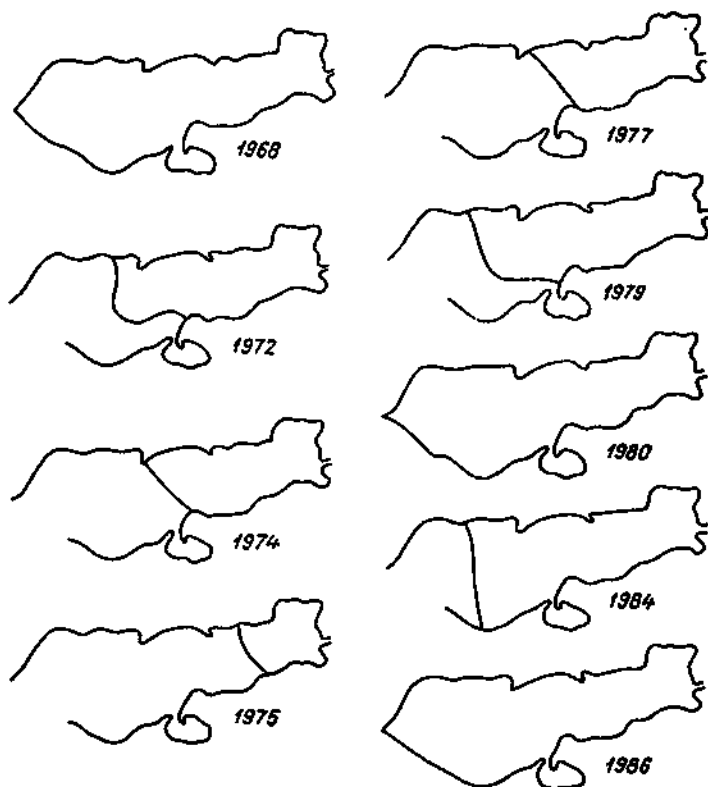


Рис. 1.1. Распределение сине-зеленых водорослей в Таганрогском заливе.

расширяется, и в 1980 г. они занимают весь залив.

В то же время вслед за пресноводным в дельте Дона продвигался солоноватоводно-морской комплекс. Солоноватоводно-морские и морские виды, которые раньше встречались лишь на западе залива, в 1975 г. найдены в его восточном районе (*Coscinodiscus radiatus*, *Dinophysis sacculus* и др.).

В 1975 г. в восточном районе залива находилось семь морских видов диатомовых и пиропитовых водорослей, в 1977 г. их было три вида, а в 1981 г. не обнаружено ни одного. Снизилось число морских видов и в западном районе залива с восьми в 1975 г. до трех в 1982 г.

С 1969 г. биомасса фитопланктона Азовского моря и Таганрогского залива снижается. В течение трех лет (1969—1971 гг.) она была еще на довольно высоком уровне (см. табл. 1.7, 1.8). Резкое падение ее произошло в 1972 г. в море и в 1974 г. — в заливе. Самая низкая биомасса была в море в 1970 г. (421 мг/м<sup>3</sup>), в заливе — в 1975 г. (1051 мг/м<sup>3</sup>), т. е. в годы наибольшего осолонения этих водоемов. Такие низкие показатели в море и заливе наблюдались впервые. По сравнению с началом периода (1969—1971 гг.) биомасса сократилась в 1972—1976 гг. в море на 67 %, а в заливе на 13 % (см. табл. 1.7).

Уменьшение биомассы отмечено во всех группах водорослей и во все сезоны года, особенно весной и осенью (рис. 1.2).

Наиболее низкие показатели фитопланктона зафиксированы в море и на западе залива, так как питательные соли, поступающие с водами р. Дона, полностью использовались в центральном и восточном районах залива.

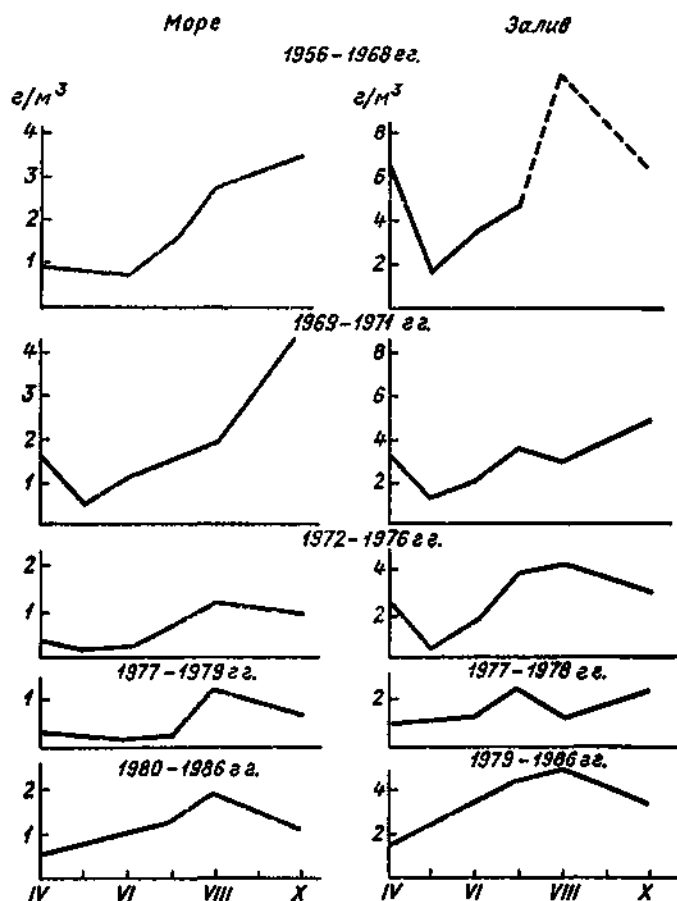


Рис. 1.2. Сезонная динамика биомассы фитопланктона.

Увеличение стока, а следовательно, количество питательных солей и снижение солености воды в 1977—1982 гг. вызвало глубокие структурные и количественные изменения комплексов растительного планктона, которые начались сначала в заливе, в связи с его опреснением раньше моря, а в дальнейшем появились и в море.

Небольшое увеличение числа пресноводных видов наблюдалось в восточном районе залива еще в 1976 г. (при солености 3,7‰ против 6,5‰ в 1975 г.). В 1977 г. увеличение числа пресноводных видов отмечено в восточном и центральном районах, в 1978 г. — в западной части залива. Число видов в заливе за счет увеличения числа пресноводных и солоноватоводных возросло с 84 в 1975 г. до 117 в 1980 г. Одновременно снижается число морских видов водорослей (с 23 до 15). Восстановление состава доминирующих видов произошло в основном в группе сине-зеленых водорослей. Прежние массовые виды, которые в период «осолонения» остались в придельтовом районе — *M. aeruginosa*, *A. flos-aquae*, *A. flos-aquae* f. *apterikariana*, — увеличивали роль в биомассе. В 1982 г. доминирующий пресноводный комплекс был близок к периоду до «осолонения».

Распространение пресноводного комплекса и одновременное отступление морского в годы опреснения показано на рис. 1.1. В 1980 г. пресноводный комплекс занял весь залив, что наблюдалось и в 1968 г.

В море изменения видового состава растительного планктона отмечены в 1979—1980 гг. В эти годы вновь в значительном количестве начинают

развиваться крупные диатомовые водоросли *Ditylum brightwellii*, *Biddulphia mobiliensis* и *Rhizosolenia calcar avis*. В 1981 г. в северо-восточной части моря в значительном количестве вегетировали сине-зеленые водоросли, которые в последующие годы здесь отмечены единично. Массовое развитие и значительное разнообразие представителей рода *Chaetoceros*, которое было до осолонения, больше не наблюдалось. Не восстановилось и видовое разнообразие представителей рода *Peridinium* и др. В период опреснения снизилось число черноморских видов. Если в 1972—1976 гг. оно по годам изменялось от 3 до 8, то в 1977—1983 гг. — от 1 до 3. В 1984—1986 гг. в связи с увеличением солености воды оно вновь возросло и изменялось от 2 до 10.

Следовательно, восстановление комплексов происходило постепенно. По видовому составу фитопланктон залива в 1982 г., т. е. через пять лет после начала опреснения, был близок к периоду до «осолонения». В море полного восстановления видового состава не произошло и в 1983 г., а в 1984 г. вновь началось изменение видового состава в сторону «осолонения».

Во все периоды в годовом цикле развития фитопланктона имеются биологические сезоны. Смена видового состава по сезонам определяется температурой и соленостью воды, уровень биомассы — обеспеченностью его минеральными солями и ветровой активностью.

Динамика биомассы фитопланктона собственно моря в 1956—1968 гг. имела два пика: весенний и летне-осенний. В период 1969—1976 гг. динамика биомассы различается по годам. В 1969—1971 гг. кривая по-прежнему характеризуется увеличением биомассы осенью, что обусловлено массовым развитием в это время крупных диатомовых водорослей. В 1972—1976 гг. эта кривая значительно отличается от кривой первых лет периода. В годы наибольшего осолонения и в первые годы после него уровень биомассы очень низкий, особенно весной и осенью, что объясняется недостатком минеральных солей, высокой соленостью воды, вызвавшей перестройку комплексов фитопланктона. В 1972—1976 и 1977—1979 гг. осенний пик очень низкий, и динамика биомассы носит одновершинный характер. В 1980—1986 гг. с увеличением стока и снижением солености воды возросла общая биомасса во все сезоны по сравнению с предыдущими 1972—1979 гг.

В заливе годовая динамика биомассы фитопланктона во все периоды, за исключением 1977—1978 гг., имела два максимума — весенний и летне-осенний (см. рис. 1.2). Во время осолонения залива и в два последующих года уровень биомассы очень низкий. В 1979—1986 гг. биомасса возрастает в течение всего года.

Рост биомассы в заливе отмечен в 1979 г. — год высокого стока Дона и после него, в море это наблюдалось в следующие после высоких стоков годы — 1980 и 1982, а также в море и заливе это было отмечено весной 1984 г., когда повышение было вызвано пыльными бурями, принесшими большое количество питательных солей. Следовательно, возрастание биомассы в заливе произошло на третий год после начала опреснения, в море — на четвертый год. Эти годы потребовались на снижение солености, повышение трофического

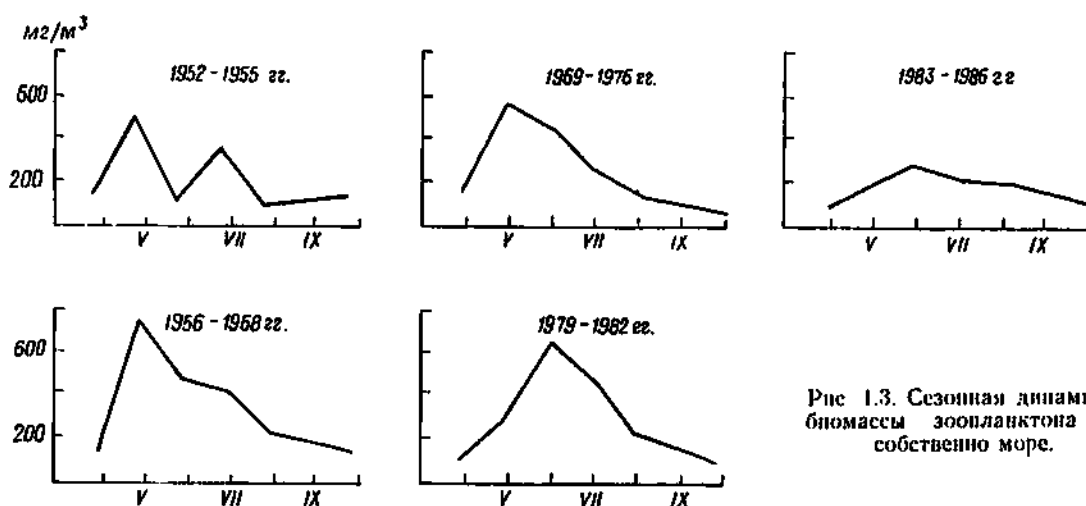


Рис 1.3. Сезонная динамика биомассы зоопланктона в собственно море.

уровня, что в значительной мере определило восстановление структуры комплексов фитопланктона. В море в 1980—1986 гг., в заливе в 1979—1986 гг. биомасса была больше биомассы в период осолонения и после него, однако — меньше, чем в 1956—1968 гг. (в море — на 44 %, в заливе — на 41 %).

Таким образом, восстановление комплексов фитопланктона в заливе после периода осолонения произошло в 1982 г., в собственно море полное восстановление видового состава не отмечено. С 1984 г. вновь началось снижение видового разнообразия планктонных водорослей.

#### 1.4. Зоопланктон

Зоопланктон Азовского моря формируется из организмов пресноводного, солоноватоводного и морского комплексов, соотношение и распределение которых по акватории обуславливается соленостью воды.

Основными массовыми видами планктонной фауны собственно Азовского моря и Таганрогского залива являются веслоногие и ветвистоусые раки, коловратки, а также временные планктонные организмы — личинки моллюсков, усоногих раков и червей.

Зоопланктону этого водоема свойственна многолетняя периодичность колебаний его численности и биомассы, для внутригодовых изменений биомассы характерна двувершинная кривая.

В собственно Азовском море (табл. 1.9, рис. 1.3) первый подъем биомассы зоопланктона наблюдается весной за счет массового развития морских коловраток и личинок усоногих раков. В Таганрогском заливе основу биомассы составляют пресноводные коловратки, ветвистоусые и веслоногие раки.

Второй, летний подъем биомассы зоопланктона определяется массовым развитием веслоногих раков, в связи с чем его называют копепоидным. В Таганрогском заливе он сдвинут ближе к осени, с максимумом в сентябре—октябре. Доминантное значение в этот период имеет рачок калянипеда — представитель солоноватоводной фауны.

До зарегулирования стока р. Дона сезонная динамика биомассы зоопланктона характеризовалась двувершинной кривой с летним максимумом.

Видовая структура зоопланктона собственно моря на примере 1937 г. выглядела следующим

Таблица 1.9

Биомасса (мг/м³) зоопланктона в Азовском море

| Год                      | Апрель | Май  | Июнь | Июль | Август | Октябрь | Средний за год |
|--------------------------|--------|------|------|------|--------|---------|----------------|
| Собственно Азовское море |        |      |      |      |        |         |                |
| 1933                     | —      | —    | 200  | —    | 1670   | —       | —              |
| 1934                     | —      | —    | 100  | —    | 570    | —       | —              |
| 1935                     | —      | —    | 280  | —    | 740    | —       | —              |
| 1936                     | —      | —    | 310  | 430  | —      | —       | —              |
| 1937                     | 123    | 193  | 652  | 1287 | 890    | 320     | 577            |
| 1938                     | 63     | 206  | 178  | 463  | 267    | 272     | 241            |
| 1939                     | —      | 39   | 163  | 532  | 118    | —       | 213            |
| 1940                     | 44     | —    | 315  | 756  | —      | —       | 372            |
| 1941                     | 63     | —    | 501  | 942  | —      | —       | 502            |
| 1946                     | —      | —    | —    | —    | 521    | —       | —              |
| 1947                     | 58     | 119  | —    | 573  | 802    | —       | 388            |
| 1948                     | 26     | —    | 43   | —    | 263    | —       | 110            |
| 1949                     | 7      | 366  | —    | 833  | 319    | —       | 381            |
| 1950                     | 76     | 552  | —    | 493  | 213    | —       | 333            |
| 1951                     | 189    | 357  | —    | 483  | 509    | 373     | 382            |
| 1952                     | 173    | —    | —    | 783  | —      | 246     | 400            |
| 1953                     | 104    | —    | —    | 517  | 232    | —       | 284            |
| 1954                     | 32     | —    | 99   | 120  | 131    | 133     | 103            |
| 1955                     | 338    | 493  | 150  | 54   | 26     | 93      | 198            |
| 1956                     | 30     | —    | 849  | 245  | 78     | 35      | 247            |
| 1957                     | 167    | 374  | —    | 182  | 172    | 80      | 195            |
| 1958                     | 320    | —    | 1115 | 285  | 381    | 227     | 466            |
| 1959                     | 172    | 695  | 322  | 354  | 761    | 270     | 429            |
| 1960                     | 163    | 598  | 614  | 675  | 355    | 195     | 433            |
| 1961                     | 182    | 775  | 276  | 461  | 771    | 221     | 448            |
| 1962                     | 186    | 1193 | 652  | 471  | 465    | 192     | 526            |
| 1963                     | 223    | 414  | 1166 | 585  | 776    | 320     | 581            |
| 1964                     | 20     | 169  | 372  | 336  | 209    | 45      | 192            |
| 1965                     | 2      | —    | 345  | 321  | 153    | 162     | 197            |
| 1966                     | 291    | 1332 | 508  | 402  | 600    | 121     | 512            |
| 1967                     | 88     | 544  | 545  | 321  | 510    | 218     | 376            |
| 1968                     | 217    | 959  | 417  | 455  | 577    | 130     | 459            |
| 1969                     | 129    | 181  | 265  | 124  | 139    | 77      | 152            |
| 1970                     | 230    | 454  | 372  | 226  | 335    | 104     | 287            |
| 1971                     | 248    | 571  | 418  | 320  | 370    | 105     | 339            |
| 1972                     | 127    | 218  | 388  | 295  | 142    | 140     | 218            |
| 1973                     | 275    | 1050 | 635  | 77   | 130    | 121     | 381            |
| 1974                     | 44     | 450  | 588  | 301  | 106    | 37      | 254            |
| 1975                     | 408    | 926  | 534  | 281  | 213    | 46      | 401            |
| 1976                     | 22     | 330  | 385  | 296  | 28     | 94      | 192            |
| 1977                     | 64     | 632  | 498  | 203  | 50     | 27      | 246            |
| 1978                     | 151    | 243  | 230  | 210  | 65     | 40      | 157            |
| 1979                     | 142    | 247  | 927  | 729  | 165    | 122     | 389            |
| 1980                     | 72     | 349  | 690  | 620  | 225    | 60      | 336            |
| 1981                     | 206    | —    | 729  | 262  | 271    | 70      | 308            |
| 1982                     | 31     | —    | 262  | 153  | 307    | 107     | 172            |
| 1983                     | 112    | —    | 538  | 220  | 211    | 70      | 230            |
| 1984                     | 62     | —    | 342  | 345  | 410    | 163     | 264            |
| 1985                     | 7      | —    | 261  | 215  | 103    | 88      | 134            |
| 1986                     | 140    | —    | 90   | 128  | 207    | 79      | 129            |

| Год                | Апрель | Май  | Июнь | Июль | Август | Октябрь | Средняя за год |
|--------------------|--------|------|------|------|--------|---------|----------------|
| Таганрогский залив |        |      |      |      |        |         |                |
| 1937               | 305    | 572  | 2334 | 1112 | 928    | 1136    | 1064           |
| 1938               | 175    | 876  | 593  | 1835 | 240    | 747     | 744            |
| 1946               | —      | —    | —    | —    | 1073   | —       | —              |
| 1947               | 411    | —    | —    | 1079 | —      | —       | —              |
| 1948               | 180    | —    | 435  | —    | 740    | 793     | —              |
| 1949               | 300    | —    | —    | —    | 1914   | 2281    | —              |
| 1950               | 182    | 548  | 392  | 550  | 401    | 1135    | 535            |
| 1951               | 596    | 307  | 930  | 213  | 1133   | 1506    | 1241           |
| 1952               | 109    | 495  | 1035 | 884  | 813    | 838     | 696            |
| 1953               | 129    | 678  | 954  | 449  | 1105   | 1110    | 738            |
| 1954               | 99     | 1406 | 119  | 352  | 818    | 843     | 606            |
| 1955               | 534    | 860  | 2254 | 254  | 517    | 562     | 830            |
| 1956               | 306    | 533  | 993  | 520  | 693    | 1994    | 840            |
| 1957               | 386    | 1379 | 990  | 945  | 840    | 1125    | 944            |
| 1958               | 290    | 1581 | 950  | 596  | 941    | 1432    | 965            |
| 1959               | 81     | 488  | 361  | 1315 | 733    | 1629    | 768            |
| 1960               | 228    | 811  | 967  | 657  | 1009   | 1325    | 833            |
| 1961               | 716    | 590  | 262  | 476  | 1634   | 1587    | 877            |
| 1962               | 587    | 1088 | 676  | 1107 | 1642   | 914     | 1002           |
| 1963               | 159    | 1027 | 3003 | 1121 | 1512   | 1600    | 1404           |
| 1964               | 193    | 820  | 936  | 1420 | 859    | 378     | 768            |
| 1965               | 121    | 434  | 1129 | 389  | 2328   | 1327    | 955            |
| 1966               | 428    | 856  | 1512 | 2156 | 744    | 1491    | 1198           |
| 1967               | 587    | 723  | 635  | 143  | 209    | 2557    | 809            |
| 1968               | 145    | 602  | 450  | 748  | 1078   | 2325    | 891            |
| 1969               | 142    | 227  | 481  | 583  | 261    | 448     | 357            |
| 1970               | 495    | 1003 | 779  | 503  | 1364   | 661     | 801            |
| 1971               | 651    | 422  | 780  | 253  | 384    | 705     | 532            |
| 1972               | 190    | 142  | 441  | 1160 | 592    | 654     | 530            |
| 1973               | 134    | 1033 | 363  | 212  | 497    | 524     | 460            |
| 1974               | 300    | 960  | 1326 | 354  | 544    | 600     | 681            |
| 1975               | 378    | 851  | 640  | 717  | 937    | 213     | 623            |
| 1976               | 14     | 1146 | 1277 | 552  | 854    | 338     | 697            |
| 1977               | 82     | 942  | 400  | 73   | 264    | 108     | 311            |
| 1978               | 194    | 319  | 524  | 511  | 370    | 1454    | 562            |
| 1979               | 124    | 221  | 1360 | 1654 | 702    | 703     | 794            |
| 1980               | 38     | 224  | 422  | 808  | 1094   | 495     | 514            |
| 1981               | 213    | 243  | 703  | 753  | 985    | —       | 581            |
| 1982               | 32     | 246  | 400  | 691  | 972    | 1158    | 583            |
| 1983               | 107    | 612  | 189  | 392  | 479    | 1177    | 493            |
| 1984               | 120    | 99   | 453  | 910  | 640    | 1706    | 655            |
| 1985               | 95     | 478  | 350  | 344  | 534    | 734     | 422            |
| 1986               | 44     | —    | 313  | 264  | 221    | 708     | 310            |

образом. Копеподы составляли 50 %, коловратки (в том числе 8 % морские виды рода *Synchaeta*) — 25 %, личинки усоногих раков — 6 % и прочие, куда входили личинки моллюсков и полихет, — 18 %.

После зарегулирования р. Дона, с 1952 г., в развитии зоопланктона начались изменения, которые сказались на соотношении среднегодовой биомассы его отдельных групп, их внутригодовой динамике, а следовательно, и на формировании продукции.

Первый период зарегулированного режима, охватывающий 1952—1955 гг., характеризовался снижением биомассы (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Среднегодовая биомасса (мг/м³) зоопланктона Азовского моря по периодам

| Период             | Биомасса      |                    |
|--------------------|---------------|--------------------|
|                    | Азовское море | Таганрогский залив |
| До зарегулирования | 350           | 896                |
| 1952—1955          | 246           | 717                |
| 1956—1968          | 392           | 943                |
| 1969—1976          | 278           | 587                |
| 1977—1986          | 236           | 522                |

В эти годы в зоопланктоне Азовского моря почти не обнаруживались личинки моллюсков и полихет. Биомасса копепоид составляла 49 % от общей. Возрос вклад биомассы личинок усоногих раков до 34 % и снизился вклад коловраток до 14 %. Сезонная динамика продолжала иметь вид двувёршинной кривой, но весенний пик зоопланктона стал преобладать над летним, т. е. копепоидный период сократился.

Второй период, охватывающий 1956—1968 гг., характеризовался увеличением общей биомассы зоопланктона. В его видовой структуре наметилась тенденция снижения доли личинок усоногих раков (табл. 1.11). Существенно снизилась доля коло-

Таблица 1.11

Соотношение (%) биомассы основных групп зоопланктона по периодам

| Период | Биомасса |     |          |    |            |    |                  |    |        |   |
|--------|----------|-----|----------|----|------------|----|------------------|----|--------|---|
|        | Общая    |     | Копеподы |    | Коловратки |    | Личинки усоногих |    | Прочие |   |
|        | мг/м³    | %   | мг/м³    | %  | мг/м³      | %  | мг/м³            | %  | мг/м³  | % |
| I      | 246      | 100 | 120      | 49 | 35         | 14 | 84               | 34 | 7      | 3 |
| II     | 392      | 100 | 193      | 49 | 38         | 10 | 127              | 32 | 34     | 9 |
| III    | 278      | 100 | 113      | 41 | 56         | 20 | 86               | 31 | 23     | 8 |
| IV     | 236      | 100 | 91       | 39 | 47         | 20 | 88               | 37 | 10     | 4 |

враток. На долю прочих организмов приходилось 9 %. Этот период явился началом вселения в море черноморских видов зоопланктона. Впервые небольшое количество черноморской *Acartia clausi* в Азовском море было отмечено в 1962 г. В общей биомассе она составила 1 %.

Сезонная динамика общего зоопланктона также имела вид двувёршинной кривой с увеличившимся весенним пиком и более растянутым во времени летним.

В третьем периоде (1969—1976 гг.) биомасса общего зоопланктона понизилась в полтора раза по сравнению со вторым периодом. Этот период характеризовался активным вселением черноморских видов в море (большая и малая черноморская форма *Acartia clausi* и два вида медузы *Rhizostoma pulmo*, *Aurelia aurita*), сокращением численности азовских форм зоопланктона, изменением сезонной динамики, которая приобрела вид одновёршинной кривой с весенним максимумом за счет развития коловраток и личинок усоногих раков.

Летний копепоидный уровень развития зоопланктона стал протекать на более низком уровне, что следует отнести за счет вселения менее продуктивных черноморских форм планктона и высокой степени выедания его рыбами во второй половине лета.

В соотношении биомассы отдельных групп планктона отмечены существенные изменения, развившиеся в снижении доли копепоид до 41 % и увеличении доли коловраток до 20 %. Биомасса азовской формы *Acartia clausi*, которая являлась основным видом копепоид Азовского моря, по сравнению с ее биомассой в предыдущий период уменьшилась в три раза и стала составлять 33 мг/м³. В общей биомассе зоопланктона биомасса *Acartia clausi* составила 98 мг/м³, из которых на долю

азовской формы приходилось 33 %. Малая и большая черноморские формы *A. clausi* распространились по всей акватории моря и проникли в Таганрогский залив, включая и его восточную часть.

Одновременно произошло значительное (на 60—70 %) снижение биомассы таких видов копепоид, как *A. latisetosa*, *Centropages krøyeri*, *Calanipeda aquae-dulcis*, а биомасса морских коловраток рода *Synchaeta* увеличилась. Таким образом началась перестройка видовой структуры зоопланктона.

В этот период в пищевых взаимоотношениях особенно сильно обострилась конкуренция между рыбами-планктофагами и черноморскими медузами, максимум развития которых приходился на вторую половину лета. В августе 1973—1976 гг. их средняя биомасса составляла 17 г/м<sup>3</sup>, с колебаниями от 6,5 до 43 г/м<sup>3</sup>.

Современный период (1977—1986 гг.) в целом характеризуется началом становления зоопланктона, что особенно проявилось в 1979—1982 гг. В эти годы существенно снизилась численность и биомасса черноморских вселенцев. Так, летом на долю биомассы черноморских форм *A. clausi* приходилось около 26 % биомассы копепоид, что в два раза ниже, чем в последние годы периода осолонения. Доминантной стала азовская форма акарии. Постепенно начал восстанавливаться солоноватоводный комплекс зоопланктона. Сезонная динамика его биомассы стала приобретать кривую с хорошо выраженным летним копепоидным максимумом. Среднегодовые показатели общего зоопланктона по сравнению с предыдущим периодом возросли почти в 1,5 раза.

В последующие годы указанного периода (1983—1986 гг.) видовая структура планктонного сообщества практически не изменилась, но его биомасса существенно снизилась в последние два года (1985—1986 гг.).

В Таганрогском заливе при естественном режиме ведущая роль среди копепоид принадлежала *C. aquae-dulcis*. В восточной, более опресненной части залива значительное развитие получали также *Heteroscoea caspia* и циклопы. Ветвистоусые раки были представлены такими видами, как *Diaphanosoma brachyurum*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia longispina*, *D. hyalina*, *Moina* sp. В западной части залива роль кладоцер в формировании биомассы была невелика, они были представлены в основном двумя видами: *Eubosmina coregoni*, *Podon polyphemoides*. Коловраточный комплекс зоопланктона состоял из пресноводных организмов. Доминантными видами являлись *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Brachionus angularis*, *B. pala*, *Asplanchna priodonta*.

На протяжении всего вегетационного периода биомасса зоопланктона была высокой — 850—900 мг/м<sup>3</sup>. Весной это обеспечивалось массовым развитием пресноводных коловраток, циклопов и солоноватоводных копепоид; летом — ветвистоусых раков, в основном дафний, обладающих высокими продукционными свойствами. Осенний подъем биомассы, более высокий, чем весенний, формировался за счет высокопродуктивного вида копепоид — *C. aquae-dulcis*.

Первый период зарегулированного стока р. Дон характеризовался снижением биомассы зоопланктона (см. табл. 1.8), сокращением численности высокопродуктивных пресноводных и солоновато-

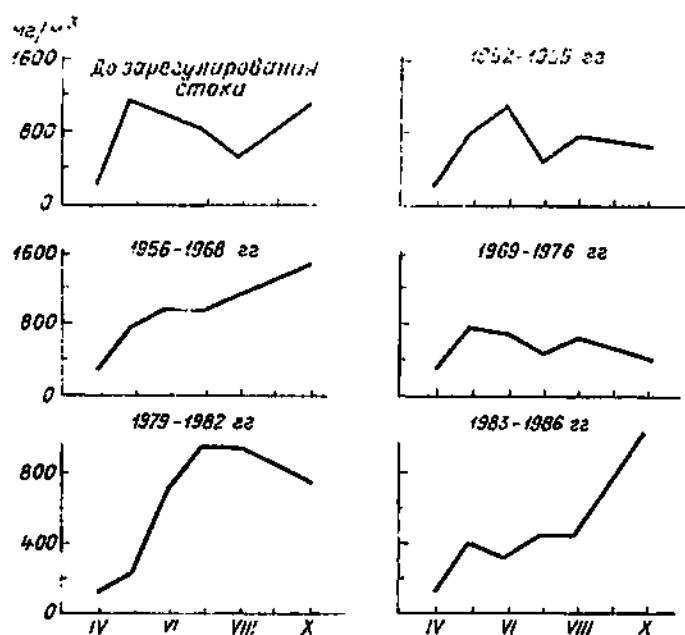


Рис. 1.4. Сезонная динамика биомассы зоопланктона в Таганрогском заливе.

водных форм и глубоким проникновением в залив азовских морских видов: коловраток рода *Synchaeta*. Такие изменения видовой структуры планктонного сообщества отразились на сезонной динамике его биомассы. Почти вдвое уменьшились весенний и осенний пики (рис. 1.4). Снизились летние показатели биомассы.

Второй период характеризовался повышением количества планктонных организмов и нестабильностью видовой структуры. Так, в 1961 г. значительное развитие в Таганрогском заливе получили морские коловратки рода *Synchaeta*, биомасса которых осенью достигала 1,5 г/м<sup>3</sup>. Многоводные 1963—1964 гг., а также два последующих года, отличались массовым развитием высокопродуктивных кладоцер *D. longispins*, *D. hyalina*.

Сезонная динамика биомассы зоопланктона по сравнению с таковой в предшествующий период была ближе к сезонной динамике в годы естественного режима.

В третьем периоде биомасса зоопланктона снизилась. Характер ее сезонной динамики приблизился к таковой в первые годы зарегулированного стока. Осенний подъем биомассы зоопланктона практически исчез.

Этому периоду свойственны и глубокие изменения видовой структуры планктонных организмов. Значительно сократилась численность рачков, особенно в центральной части Таганрогского залива. Доля этого рачка в среднегодовой биомассе стала составлять 35 % против 60 %. Изменения сезонной динамики выразились в снижении его численности осенью. В сообществе копепоид залива произошла смена доминантных видов. Высокопродуктивная *C. aquae-dulcis* была вытеснена менее продуктивными «большой» и «малой» черноморскими формами *A. clausi*.

Стал значительно беднее видовой состав кладоцерного комплекса зоопланктона. Так, сократилась численность *Diaphanosoma brachyurum*, исчезли дафнии, но отмечено вселение коловраток. Уменьшение численности пресноводных коловраток ком-

пенсировались увеличением численности морских коловраток рода *Synchaeta*.

Четвертый, современный, период характеризуется, как и в собственно море, началом качественного восстановления видовой структуры зоопланктона залива. Морским виды зоопланктона значительно сократили свой ареал, а из восточного и центрального районов исчезли совсем. Одновременно увеличилась численность и расширилась зона распространения пресноводных коловраток, кладоцер и солоноватоводных форм копепоид. Особенно сильно эти группы зоопланктона отреагировали на распреснение в 1979 г. Тем не менее до 1982 г. солоноватоводные виды копепоид, особенно доминантная форма *C. aquae-dulcis*, продолжали оставаться в угнетенном состоянии. Характерные для восточной части залива представители рода *Cyclops* отсутствовали. Появление в 1982 г. осеннего максимума биомассы зоопланктона, сформированного высокой численностью *C. aquae-dulcis*, следует рассматривать как восстановление планктонной фауны Таганрогского залива. Однако в последние годы этот осенний максимум приобрел тенденцию к снижению.

### 1.5. Зообентос

Материалы комплексных океанологических исследований, проведенных в Азовском море и Таганрогском заливе с 1933 по 1939 г., с 1952 по 1982 г., позволили установить, что основным фактором, определяющим биологическую продуктивность моря, является объем, качество и режим речного стока.

Сложная структура донного сообщества, состоящая из представителей самых разных комплексов, обуславливалась многообразием условий в Таганрогском заливе и Азовском море.

По гидрологическим и биологическим особенностям Таганрогский залив можно разделить на три района: западный, центральный и восточный.

В восточном районе залива вблизи устья р. Дона соленость воды наименьшая (0,5 ‰). В центральном и западном районах залива она постепенно повышается, достигая у гирла 10–11 ‰. В связи с этим в заливе обитают представители зообентоса, относящиеся к пресноводной, солоноватоводной реликтовой и морской фаунам. В состав донной фауны Азовского моря и Таганрогского залива входят в основном черви, ракообразные и моллюски.

Первое место по биомассе в общем составе зообентоса занимают моллюски (57–89 %), на втором находятся черви (8,1–31,3 %) и на третьем ракообразные (2,7–10,7 %) и хирономиды (0,1–0,5 %).

В середине 30-х годов 90% площади залива при низкой солености занимали группы пресноводных и солоноватоводных реликтовых видов [50]. В западном и центральном районах залива, заселенных нерендами, остракодами, олигохетами и хирономидами, биомасса не превышала 20 г/м<sup>2</sup>. Высокая биомасса, равная 200–250 г/м<sup>2</sup>, отмечалась только в придельтовой части залива, где бентос был представлен реликтовой фауной *Hypanis colorata*, *Dreissena polymorpha*. На участке залива, граничащем с Азовским морем, подобное значение биомассы давали моллюски *Cerastoderma lamarcki*,

*Abra ovata*, относящиеся к морской фауне. Средняя биомасса бентоса до зарегулирования стока р. Дона в заливе составляла 71,0 г/м<sup>2</sup> (табл. 1.12).

Таблица 1.12

Изменение биомассы зообентоса по периодам и районам Таганрогского залива, г/м<sup>2</sup>

| Район              | Средняя биомасса зообентоса до зарегулирования | После зарегулирования |           |           |           |           |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    |                                                | 1952–1955             | 1956–1968 | 1969–1976 | 1977–1982 | 1983–1986 |
| Западный           | 53,5                                           | 109,5                 | 98,3      | 445,1     | 382,8     | 208,2     |
| Центральный        | 19,1                                           | 76,9                  | 43,7      | 92,2      | 67,9      | 17,0      |
| Восточный          | 141,8                                          | 41,3                  | 96,5      | 71,1      | 101,1     | 8,7       |
| Всего              | 71,4                                           | 75,9                  | 81,6      | 202,8     | 186,6     | 78,0      |
| Кормовой зообентос |                                                |                       |           |           |           |           |
| г/м <sup>2</sup>   | 71,4                                           | 47,1                  | 50,1      | 105,5     | 136,2     | 37,0      |
| %                  | 100                                            | 62                    | 63        | 52        | 73        | 47        |

Азовское море заселяли морские средиземноморские эвригалльные виды зообентоса, для которых соленость в пределах 10,5–11,5 ‰ не являлась лимитирующей.

Определяющими факторами для развития зообентоса в собственно море были газовый режим, кормность водоема, состояние грунта.

Схема распределения биоценозов в Азовском море, по В. П. Воробьеву [16], прежде всего отражала влияние кислородного режима и состояние грунта на отдельные виды зообентоса.

В Азовском море существовало семь основных донных биоценозов, которые располагались по концентрическим кругам от прибрежной полосы к центру моря. На твердых грунтах с благоприятным кислородным режимом распределялись биоценозы *Pontogammarus*, *Lentidium*, *Cerastoderma*, *Balanus*. На илистых грунтах с легким запахом сероводорода ближе к центру моря обитал биоценоз *Abra*. Центральную часть моря с жидким илом и характерным запахом сероводорода занимали заморозустойчивые биоценозы *Hydrobia*, *Nephtys*. Среднегодовая биомасса зообентоса в море в этот период колебалась в пределах 222–321 г/м<sup>2</sup> (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Изменение биомассы зообентоса по периодам в Азовском море, г/м<sup>2</sup>

| Период               | Биомасса                |                      |    |
|----------------------|-------------------------|----------------------|----|
|                      | общая, г/м <sup>2</sup> | кормового зообентоса |    |
|                      |                         | г/м <sup>2</sup>     | %  |
| До зарегулирования * | 282                     | 220                  | 80 |
| 1952–1955            | 210                     | 105                  | 50 |
| 1956–1968            | 282                     | 197                  | 70 |
| 1969–1976            | 293                     | 161                  | 55 |
| 1977–1982            | 301                     | 181                  | 60 |
| 1983–1986            | 236                     | 129                  | 55 |

\* Дана средняя биомасса.



Таблица 1.14

Сезонная и годовая динамика биомассы зообентоса в Азовском море и Таганрогском заливе, г/м<sup>2</sup>

| Год  | Азовское море |       |         |                | Таганрогский залив |       |         |                |
|------|---------------|-------|---------|----------------|--------------------|-------|---------|----------------|
|      | Апрель        | Июль  | Октябрь | Среднее за год | Апрель             | Июль  | Октябрь | Среднее за год |
| 1950 | —             | 183,3 | —       | —              | 121,0              | 180,4 | 70,8    | 121,1          |
| 1951 | 199,2         | 331,2 | 276,0   | 268,8          | 91,1               | 173,8 | 252,7   | 173,5          |
| 1952 | —             | 292,2 | —       | —              | —                  | 43,9  | —       | —              |
| 1953 | 175,0         | 233,3 | 257,4   | 221,9          | —                  | 44,9  | —       | —              |
| 1954 | 84,5          | 177,4 | 327,8   | 196,6          | 20,8               | 110,1 | 175,6   | 102,2          |
| 1955 | 159,6         | 194,0 | 281,1   | 211,6          | 75,8               | 63,3  | 198,4   | 112,5          |
| 1956 | 297,5         | 219,0 | 430,5   | 315,7          | 45,5               | 77,5  | 78,7    | 67,2           |
| 1957 | 306,4         | 389,6 | 468,6   | 388,2          | 117,7              | 67,1  | 77,9    | 87,6           |
| 1958 | 370,8         | 248,5 | 406,7   | 342,0          | 12,0               | 31,2  | 96,4    | 46,5           |
| 1959 | 275,0         | 24,3  | 214,0   | 243,4          | 50,7               | 79,0  | 42,4    | 57,4           |
| 1960 | 105,6         | 198,3 | 262,1   | 188,7          | 48,5               | 49,1  | 33,9    | 43,8           |
| 1961 | 243,1         | 370,2 | 373,4   | 329,6          | 108,6              | 197,4 | 178,1   | 161,4          |
| 1962 | 84,6          | 126,5 | 292,6   | 167,9          | 125,6              | 109,1 | 134,5   | 123,1          |
| 1963 | 104,2         | 64,8  | 147,3   | 105,4          | 49,8               | 129,9 | 154,0   | 111,2          |
| 1964 | 104,1         | 212,1 | 522,0   | 279,6          | 51,2               | 97,8  | 69,2    | 72,7           |
| 1965 | 243,1         | 240,3 | 560,6   | 348,0          | 43,8               | 78,3  | 35,2    | 52,4           |
| 1966 | 440,9         | 175,8 | 301,8   | 306,2          | 37,1               | 69,5  | 37,7    | 48,1           |
| 1967 | 192,6         | 471,2 | 318,3   | 327,3          | 34,2               | 78,2  | 135,8   | 82,7           |
| 1968 | 137,0         | 261,8 | 587,9   | 328,9          | 114,7              | 111,6 | 95,3    | 107,2          |
| 1969 | 174,2         | 142,1 | 163,8   | 160,0          | 44,1               | 131,8 | 257,6   | 141,5          |
| 1970 | 81,4          | 224,8 | 542,2   | 282,8          | 42,7               | 163,8 | 631,9   | 279,5          |
| 1971 | 160,3         | 291,5 | 188,7   | 213,5          | 38,2               | 99,7  | 241,3   | 126,4          |
| 1972 | 220,3         | 161,2 | 262,0   | 214,5          | 200,6              | 324,9 | 199,8   | 211,8          |
| 1973 | 272,5         | 240,2 | 271,5   | 261,4          | 162,1              | 170,5 | 145,0   | 159,2          |
| 1974 | 215,7         | 219,1 | 348,6   | 261,1          | 120,3              | 189,1 | 592,2   | 300,2          |
| 1975 | 173,8         | 163,3 | 271,3   | 202,8          | 50,6               | 111,9 | 436,6   | 199,7          |
| 1976 | 424,1         | 350,9 | 586,4   | 387,1          | 192,5              | 261,3 | 346,5   | 266,8          |
| 1977 | 322,0         | 201,6 | 488,9   | 337,8          | 137,2              | 351,9 | 560,5   | 349,9          |
| 1978 | 325,0         | 473,4 | 705,2   | 501,2          | 342,0              | 157,2 | 478,8   | 326,0          |
| 1979 | 397,1         | 342,5 | 301,0   | 346,0          | 114,3              | 200,0 | 94,7    | 136,3          |
| 1980 | 306,3         | 190,1 | 293,0   | 263,1          | 87,7               | 127,2 | 61,6    | 92,2           |
| 1981 | 149,3         | 141,3 | 406,5   | 232,4          | 107,5              | 23,1  | 267,3   | 132,6          |
| 1982 | 81,6          | 77,0  | 225,3   | 127,9          | 63,3               | 18,9  | 166,8   | 83,0           |
| 1983 | 279,6         | 263,3 | 272,4   | 271,8          | 122,0              | 12,0  | 8,0     | 47,0           |
| 1984 | 178,6         | 126,8 | 245,8   | 183,7          | 36,0               | 5,0   | 137,0   | 60,0           |
| 1985 | 230,0         | 157,0 | 265,0   | 217,0          | 58,0               | 110,0 | 175,0   | 114,0          |
| 1986 | 256,6         | 235,6 | 291,4   | 271,0          | 96,5               | 70,1  | 240,9   | 109,0          |

(1961—1962 гг.) соленость повысилась до 9‰. В это время наблюдается значительное повышение биомассы зообентоса до 123—161 г/м<sup>2</sup>. Основным биоценозом в заливе стала *Cerastoderma*.

В 1963—1964 гг. сток Дона достиг 32,2—35,9 км<sup>3</sup>, соленость снизилась до 5‰. В октябре 1964 г. морской биоценоз *Cerastoderma* был полностью вытеснен из залива и заменен *Nereis*. Биомасса снизилась до 72,8—111,2 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1.14).

В 1965—1967 гг. сток Дона вновь снижается, соленость вод повышается до 8‰. В заливе вновь появляется моллюск *C. lamarchi*. Однако вместо обычного повышения биомассы зообентоса отмечается ее снижение до 48,6—52,8 г/м<sup>2</sup>, что объясняется заморными явлениями, охватившими всю площадь залива.

В период 1956—1968 гг. общая биомасса зообентоса в заливе повысилась до 81,6 г/м<sup>2</sup>, наметилась моренизация донной фауны беспозвоночных. В этот же период в Азовском море, в связи с увеличением скорости оборачиваемости биогенных элементов, содержание органического вещества в воде и грунтах повысилось, что привело к интенсивному накоплению свежего детрита в поверхностном слое грунта и улучшению условий питания бентических организмов.

После зарегулирования стока рек по интенсивности антропогенного воздействия на режим моря можно выделить четыре периода.

В Таганрогском заливе в период 1952—1955 гг. в результате его осолощения, вызванного зарегулированием стока Дона, биомасса зообентоса в западном и центральном районах увеличилась в 2—4 раза. Рост биомассы был за счет вселения в его пределы морской фауны в виде моллюсков *C. lamarchi*, *A. ovata*, *H. salinasii*. В восточном районе биомасса за счет реликтовой и пресноводной фауны (*H. colorata*, *D. polymorpha*, *H. kowalewskyi*, мизид, гаммарид, корофид) снизилась более чем в три раза по сравнению с биомассой в период до зарегулирования (см. табл. 1.12).

В Таганрогском заливе изменилась сезонная динамика биомассы зообентоса. При естественном режиме наименьшая биомасса бентоса в заливе отмечалась весной. Летом за счет размножения и прироста массы особей наблюдался максимум биомассы, а к осени она резко снижалась из-за выедания зообентоса рыбой.

После зарегулирования стока рек в западном и центральном районах залива пик биомассы зообентоса отмечается в октябре. В восточном районе залива сохранился прежний ход сезонной динамики. Это связано с малой численностью рыб и слабым выеданием зообентоса в двух осолощенных районах и значительным скоплением рыб в пресноводной части залива.

Средняя биомасса зообентоса в целом по заливу в период 1952—1955 гг. составляла 75,9 г/м<sup>2</sup>, т. е. была примерно на том же уровне, что и до зарегулирования. Однако изменения биомассы зообентоса по районам залива были значительные (см. табл. 1.12). В заливе произошло перераспределение морских и солоноватоводных реликтовых видов зообентоса и его биомассы.

Для Азовского моря в период 1952—1955 гг. характерны пониженная интенсивность продуцирования органического вещества в пелагиали, уплотнение грунтов, снижение содержания органических веществ, отсутствие заморных явлений. В этих условиях представители эпифауны (особенно *C. lamarchi*) очень интенсивно развивались и освоили основную часть донных площадей моря. В то же время ценные в кормовом отношении моллюски (*A. ovata*, *H. salinasii*) и черви (*Nephtys hombergii*, *Nereis succinea*) испытывали угнетение. В целом по морю биомасса зообентоса была низкой (210 г/м<sup>2</sup>), кормовая фракция составляла всего 50 % (см. табл. 1.10).

В период 1956—1968 гг. режим колебания водного стока вызвал значительные изменения солености вод, Таганрогского залива по годам.

Между биомассой бентоса и соленостью вод в заливе существует прямая зависимость. С повышением солености в залив проникает морская фауна в виде крупных моллюсков *C. lamarchi*, *A. ovata*, *M. lineatus* и червей *N. hombergii*, *H. succinea* и биомасса значительно увеличивается. Так, в годы средней водности (1956—1960 гг.), когда сток Дона составлял 25,6 км<sup>3</sup>, а средняя соленость в заливе — 5—6‰, биомасса зообентоса была 46,5—67,2 г/м<sup>2</sup> (табл. 1.14). Зообентос на 54—75 % состоял из солоноватоводной фауны. При дальнейшем снижении стока Дона до 16 км<sup>3</sup>



Наиболее значительное увеличение концентрации органического вещества на дне и в придонных горизонтах водной толщи отмечалось после многоводных 1963 и 1964 гг., результатом чего явилось заиливание грунтов. Это создавало предпосылки для развития мощных заморных явлений, которые впоследствии возникали практически ежегодно, охватывая до 60 % площади дна водоема.

В отдельные годы весной и летом в период интенсивного откорма рыб-бентофагов биомасса уменьшалась до 65—85 г/м<sup>2</sup>, но к осени, после заморозов, — увеличивалась до 520—588 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1.14). В этот период пышного расцвета инфавуны получили распространение устойчивые к заморным явлениям виды моллюсков *A. ovata*, *H. salinasi*, *N. hombergii*, *N. succinea*.

Общая биомасса зообентоса в море, несмотря на большие внутригодовые колебания, была выше, чем в предшествующий период, и составляла 282 г/м<sup>2</sup>, т. е. достигла значений, характерных для естественного периода. Масса кормового зообентоса составляла 197 г/м<sup>2</sup>, т. е. 70 % от общей биомассы. Особенно заметные негативные изменения физико-химических и биологических параметров наблюдались в период 1969—1976 гг., характеризующийся глубокой депрессией материкового стока.

Осолонение залива привело к глубоким структурным изменениям его фауны. Аборигены — северокаспийские виды донной фауны беспозвоночных — вынуждены были локализоваться в предустьевой части Дона и прибрежных опресненных зонах Миусского и Ейского лиманов.

Доминирующими видами в заливе были морские *C. lamarcki*, *A. ovata*, *M. lineatus*, *N. succinea*, *N. hombergii*, на долю которых во все сезоны года приходилось 91—98 % всей биомассы зообентоса залива.

Биомасса зообентоса в заливе за счет морской фауны была очень высокой и колебалась по годам в пределах 126,4—350,0 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1.14). Обычно она достигала максимума осенью и в отдельные годы составляла 592—630 г/м<sup>2</sup>. В целом для залива в 1969—1976 гг. общая биомасса зообентоса составляла 202,8 г/м<sup>2</sup>, т. е. увеличивалась в 2,5 раза по сравнению с биомассой в предыдущий период (см. табл. 1.12). Биомасса кормовой фракции составляла всего 52 % от общей. Кормовой зообентос был представлен молодью моллюска *C. lamarcki*, менее калорийного, чем черви и ракообразные.

С осолонением вод Азовского моря в 1969—1976 гг. началось его освоение черноморскими видами зообентоса. За два года (1973—1975) в Азовское море вселилось около 30 черноморских видов, в том числе *Barnea candida*, *Modiolus adriaticus*, *Loripes lucinalis*, *Mya arenaria*, *Mytilus galloprovincialis*, *Rapana thomasi*. Более 80 % площади дна моря занимали три биогеноза — *Cerastoderma*, *Mytilus*, *Mya*.

С осолонением вод моря появляются более крупные виды азовских моллюсков. За счет крупных азовских и черноморских видов моллюсков общая биомасса зообентоса в 1969—1978 гг. увеличилась до 293 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1.14). Однако биомасса кормового зообентоса снизилась по сравнению с таковой в 1956—1968 гг. на 19 %, а по сравнению с естественной на 30 %.

В 1969—1976 гг. в Азовском море отмечены рез-

кие ежегодные колебания биомассы зообентоса в пределах 179—387 г/м<sup>2</sup>, вызванные заморными явлениями в море (см. табл. 1.14). Зона дефицита кислорода в эти годы составляла 8—46 % площади моря. Очевидно, заморные явления явились существенным тормозом для большего увеличения общей биомассы зообентоса в период осолонения.

В 1977—1982 гг. произошло значительное увеличение материкового стока, достигшее максимума (49 км<sup>3</sup>) в 1979 г. Это вызвало снижение солёности и привело к частичной нормализации биологических процессов в донных сообществах экосистемы Азовского моря.

Повышенное поступление пресных вод в первые годы (1977—1978) сказалось только на качественном составе гидробионтов в Таганрогском заливе. Здесь произошло смешение двух фаун: морской и солоноватоводной — и наблюдалось совместное обитание морских и пресноводных видов на одних биотопах.

В западном и центральном районах залива преобладали морские крупные виды, за счет которых биомасса в заливе была высокой (326 г/м<sup>2</sup>) (см. табл. 1.14). В 1979 г. после высокого материкового стока Дона морская фауна сохранилась только в западном районе, на основной площади залива преобладали реликтовые солоноватоводные виды.

Биомасса зообентоса резко снизилась и в 1979—1982 гг. колебалась в пределах 83—136,3 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1.14). Общая биомасса в заливе за весь период 1977—1982 гг. была высокой и составляла 186,6 г/м<sup>2</sup>, т. е. снизилась по сравнению с биомассой в предыдущий период осолонения всего на 8 % (см. табл. 1.12). Однако в восточном районе залива произошли значительные структурные изменения, повысившие биомассу зообентоса до 104,1 г/м<sup>2</sup> за счет реликтовых солоноватоводных видов, исчезнувших в период осолонения: *H. colorata*, *D. polymorpha*, *H. invalida* и др. Доля кормовой фракции зообентоса в связи с этим также повысилась и составляла 73 % от общей (см. табл. 1.12).

На зообентос Азовского моря повышенный приток пресных вод оказал влияние лишь в 1980 г. До этого года биомасса зообентоса продолжала увеличиваться за счет черноморской фауны, так как солёность в море была еще высокой, более 12 ‰. Запасы мидии в 1978 г. в море составляли 550 тыс. т. Средняя биомасса зообентоса по морю достигала 501 г/м<sup>2</sup>, биомасса кормовой фракции была низкой, всего 35 % от общей биомассы.

Значительное поступление пресной воды в 1979 г. затормозило дальнейшее освоение площади моря черноморскими видами зообентоса. С 1980 г. наблюдается некоторый расцвет аборигенной азовской фауны. Общая биомасса зообентоса в 1979—1982 гг. снизилась и колебалась в пределах 127,9—346,0 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1.14). Снижение биомассы зообентоса было как за счет гибели черноморской фауны в связи с опреснением, так и за счет ежегодных заморных явлений. В среднем за 1977—1982 гг. в Азовском море общая биомасса зообентоса была высокой (301 г/м<sup>2</sup>), доля кормового зообентоса составляла 60 %, т. е. 181 г/м<sup>2</sup>. Продуктивное зообентоса в последний период опреснения было близко к значениям 1956—1968 гг., а доля кормовой фракции зообентоса была всего на 8 % ниже.

В связи с тем что период опреснения был очень коротким и начался после продолжительного и устойчивого осолонения вод моря, донная фауна зообентоса на повышенный приток пресных вод реагировала не сразу, а спустя 1,5—2 года. Однако, несмотря на такой короткий период опреснения, потенциал азовской аборигенной фауны начал постепенно восстанавливаться. Значительно увеличивается кормовая фракция зообентоса как в море, так и в заливе по сравнению с ее долей в предыдущий период (на 12 и 23 % соответственно), однако она не достигла уровня естественного периода и на 18 % была меньше, чем в этот период.

Последние годы (1983—1986) характеризуются неустойчивым поступлением в море речных вод. Общая биомасса донных беспозвоночных изменялась в обычных пределах (см. табл. 1.11), максимальное значение в собственно море отмечено в 1983, 1986 гг., минимальное — в 1984 г. В этот период расширились ареалы морских видов и сократились ареалы солоноватоводных, наметилась устойчивая тенденция перехода экосистемы к существованию в маловодный период. Особенностью последних лет была частая повторяемость заморных явлений, причем не только летом, но и весной. Наибольшей силы они достигали в 1981, 1982, 1984 гг. В 1984 г., по-видимому, значительную роль в этом сыграли пыльные бури, принесшие на акваторию моря большое количество аллохтонного органического вещества, а также загрязняющих веществ. Гипоксия у дна, возникавшая в результате температурной и солевой стратификаций, приводила к заморам донной фауны на значительной площади моря. В результате замора в 1984 г. биомасса зообентоса вместо ожидаемого повышения снизилась на 32 % по сравнению со значением в 1982 г. Подобные заморные ситуации создают неблагоприятные кормовые условия для рыб-бенитофагов в Азовском море.

Установленные закономерности формирования гидробиологического режима Азовского моря были отражены в многофакторных регрессионных урав-

нениях (табл. 1.15). Приведенные в таблице уравнения отражают прямую или обратную зависимость численности и биомассы гидробионтов с биотическими и абиотическими факторами среды и позволяют дать оценку значимости отдельных факторов для каждого звена экосистемы.

Таблица 1.15

Регрессионные уравнения, аппроксимирующие зависимости гидробионтов от факторов среды

| Уравнение                                                                                                                | Коэффициент корреляции | Ошибка уравнения, % |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Таганрогский залив                                                                                                       |                        |                     |
| $B_0 = 1,45585 - 0,18192S + 0,01268 P_{\text{общ}} + 0,00022 B_{\text{ф}}$                                               | 0,76                   | 43                  |
| $B_{\text{ф}} = 78,43 - 216,06 S + 3,55 N_{\text{орг}} + 25,20 P_{\text{общ}}$                                           | 0,61                   | 46                  |
| $B_{\text{зп}} = 260,51 + 31,15 \text{ ПП} + 11,65 S + 122,4 B_0$                                                        | 0,75                   | 24,5                |
| $B_{\text{зб}} = 319,85 - 0,0012 B_{\text{зп}} - 0,5982 P_{\text{общ}} - 44,071 B_0$                                     | 0,70                   | 44                  |
| Собственно Азовское море                                                                                                 |                        |                     |
| $B_0 = 8,95651 + 0,00020 B_{\text{ф}} - 0,63633 S$                                                                       | 0,75                   | 44                  |
| $B_{\text{ф}} = 9078 + 12,46 Q^{1-1} - 660,69 S$                                                                         | 0,55                   | 48                  |
| $B_{\text{зп}} = 672 + 0,0123 B_{\text{ф}} + 0,096 N_{\text{орг}} + 56,4 t_{11-12} - 14,6 S + 3,9 \text{ ПП} + 18,4 B_0$ | 0,75                   | 20                  |
| $B_{\text{зб}} = 433,4 - 0,19 B_0 - 1,28 P_{\text{общ}}$                                                                 | 0,66                   | 28                  |

Примечание.  $B_0$  — численность бактериопланктона,  $10^6 \text{ мл}^{-1}$ ;  $B_{\text{ф}}$  — биомасса фитопланктона,  $\text{мг/м}^3$ ;  $B_{\text{зб}}$  — биомасса зоопланктона,  $\text{мг/м}^3$ ;  $B_{\text{зп}}$  — биомасса зообентоса,  $\text{г/м}^2$ ;  $S$  — соленость воды, ‰;  $P_{\text{общ}}$  — концентрация в воде общего фосфора,  $\text{мг/м}^3$ ;  $N_{\text{орг}}$  — концентрация в воде органического азота,  $\text{мг/м}^3$ ; ПП — валовая первичная продукция,  $\text{млн. т}$  сухого органического вещества;  $Q^{1-1}$  — срок рек предыдущего года,  $\text{км}^2$ ;  $t_{11-12}$  — температура воды, средняя за март—октябрь, °C.

## 2. ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВОСПРОИЗВОДСТВО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОХОДНЫХ И ПОЛУПРОХОДНЫХ ФОРМ РЫБ АЗОВСКОГО МОРЯ

В Азовском море и в устьях впадающих в него рек встречается 114 видов и подвидов рыб [4, 5, 61]. Еще 18 видов рыб, которые внедрены или внедряются в водоемах бассейна. Как и фауна беспозвоночных, рыбное население генетически неоднородно и состоит из представителей пресноводного комплекса (42 вида), понто-каспийских реликтов (25 видов) и атлантико-средиземноморских мигрантов (47 видов). Согласно классификации [47], которой придерживается большинство исследователей Азовского бассейна, виды рыб распределяются по следующим биологическим группам:

1) проходные формы — 10 представителей из 5 семейств;

2) полупроходные формы — 12 представителей из 3 семейств;

3) пресноводные — 35 представителей из 6 семейств;

4) морские (пелагические и донные) жилые — 26 видов из 10 семейств;

5) морские (пелагические и донные) временные вселенцы — 31 вид из 23 семейств.

В 70-е годы, когда соленость Азовского моря была экстремально высокой, в него кроме обычных сезонных вселенцев (хамса, сарган, кефаль, атрина, барабуля, мерланг и др.) проникли и такие, которые здесь либо встречались крайне редко, либо вообще не было сведений об их поимке. К первым относятся луфарь, черноморский калкан, морской кот, катран, горбыль *Sciaena umbra*, черноморский лосось *Salmo trutta*, скумбрия, глазчатый зубан, морская собачка *Blennius zvonimiri*, бычок-бланкет, морской снеток *Atherina hepsetus*, толсторулая игра-рыба *Syngnathus variegatus* и др. Впервые в Азовском море обнаружены зеленушка-рябчик *Crenilabrus grisens*, морские собачки *Blennius ponticus* и *B. sanguinolentus*, бычки *Pomatoschistus minutus* и *Gobius niger*, зубарик *Puntazzo puntazzo*, среднечерноморский треусый налим *Gaidropsarus mediterraneus*. Однако все перечисленные виды, и

редкие, и новые, встречались преимущественно в южной половине моря в небольшом количестве. И только *Gobius niger* через два года после проникновения в новый для него водоем стал достаточно обычной рыбой не только в южных районах, но и у северных берегов в районе Бердянской, Обиточной кос [14].

Из всей фауны Азовского бассейна промысловое значение имеет ограниченное число видов, а в современных условиях многие ценные виды азовских рыб теряют промысловое значение в связи с ухудшением условий воспроизводства и обитания.

По запасам промысловых видов рыб Азовское море относится к разряду наиболее богатых районов Мирового океана, а по уловам с единицы акватории (70—80 кг/га) ему принадлежит первое место [31, 37].

На протяжении последних 50 лет основу промысловых уловов (120—130 тыс. т, т. е. около 75 % общей добычи рыбы) составляют морские жилые рыбы (тунь, перкарпа) и черноморские вселенцы (хамса, атерина). Внедрение новых прогрессивных методов и орудий промысла обусловило некоторое увеличение объемов добычи пелагических азовских рыб в последние 20 лет по сравнению с 30-ми—40-ми годами (135 тыс. т против 106 тыс. т в год), однако и в настоящее время возможности промыслового использования запасов массовых видов рыб еще полностью не реализованы.

Среднегодовой улов проходных, полупроходных и пресноводных видов рыб за 1930—1986 гг. оценивается в 43 тыс. т. Несмотря на значимость этого улова, он не является предельно возможным: в 1936—1937 гг. «белой» и «красной» рыбы вместе с сельдями было выловлено 167 и 136 тыс. т соответственно. Имеются сведения, что в недалеком прошлом уловы ценных рыб здесь были еще больше. Так, по данным Н. Я. Данилевского (1871 г.), в 40-х годах XIX в. в Азово-Донском и Азово-Кубанском районах вылавливалось до 80 тыс. пудов красной рыбы, 63 млн. шт. судака, 1,5 млн. шт. шеман, 94 млн. шт. тарани, 7 тыс. шт. сазана, 35 тыс. пудов сома, 30 млн. шт. сельди,

106 тыс. шт. рыба. Общая масса такого улова составляла 85—100 тыс. т. Поскольку Н. Я. Данилевский убедительно показал, что используемая им статистическая отчетность является заниженной в 2—3 раза, то общая добыча азовских ценных видов составляла примерно 200—300 тыс. т.

Интенсивное промысловое использование запасов проходных и полупроходных форм (улов в среднем составлял 40—60 % промыслового запаса) в условиях резкого ухудшения естественного воспроизводства привело к быстрому падению запасов и уловов азовских ценных видов рыб. В 70-е—80-е годы улов проходных и полупроходных форм колебался от 15,3 тыс. т в 1973 г. до 5 тыс. т в 1979 г.

Структурные и количественные изменения ихтиофауны Азовского бассейна взаимосвязаны с океанологическими факторами, обуславливающими динамику гидрологического режима водоема, а также со значительным антропогенным вмешательством в этот режим. Почти 70-летний период систематических наблюдений за динамикой численности и состоянием популяций основных промысловых видов рыб Азовского бассейна показал, что существенных изменений биологии этих видов не происходит. В сложных условиях меняющегося режима бассейна изменения возрастного и полового состава, темп роста и созревания большинства промысловых видов находятся в пределах, свойственных этим показателям в период естественного режима водоема, с присущими каждому виду особенностями.

В то же время значительно изменились количественные показатели стад отдельных видов, главным образом тех, размножение которых связано с динамикой водности рек.

## 2.1. Влияние речного стока на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб

Речной сток имеет определяющее значение в формировании численности поколений проходных и полупроходных форм рыб, однако прямая

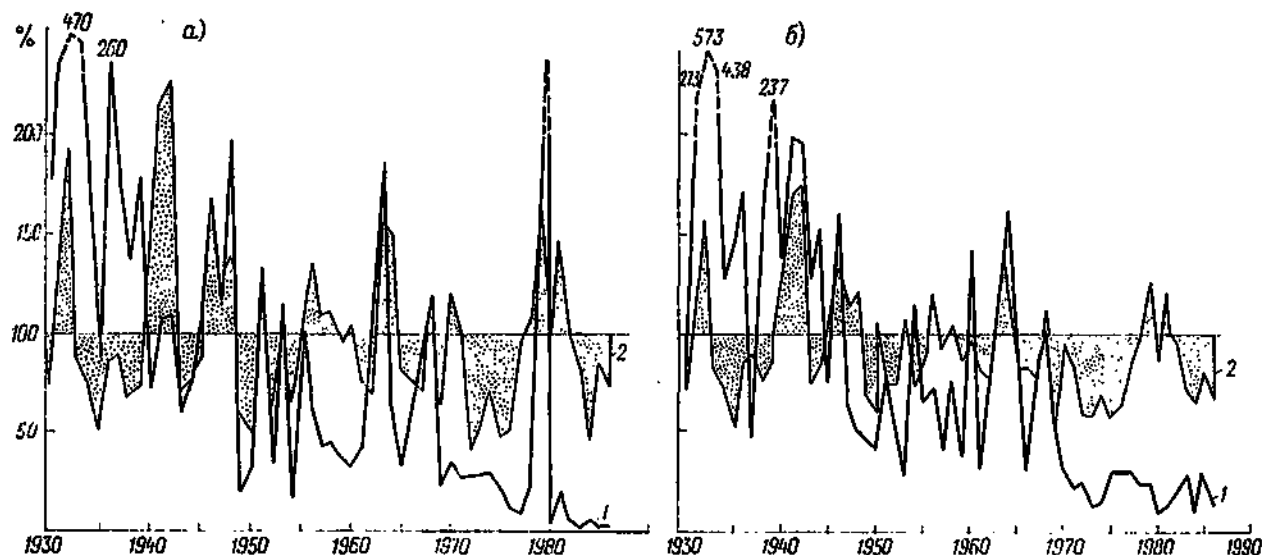


Рис. 2.1. Зависимость численности сеголетков судака от стока рек Дона и Кубани (а) и леща от стока р. Дона (б) (в % отклонения от среднего значения).

1 — численность сеголетков, 2 — годовой сток.

количественная связь между этим показателем и численностью сеголетков большинства промысловых видов не установлена. Высокоурожайные поколения судака и леща были получены преимущественно в те годы, когда сток рек значительно превышал среднемноголетний (рис. 2.1). Особенно это характерно для периода естественного режима бассейна, до зарегулирования стока рек, когда весенний сток не обеспечивал ежегодное затопление поймы Дона и достаточную обводненность кубанских нерестилищ.

Продолжительность затопления поймы составляла в среднем два месяца, за этот период подращивание молоди до жизнестойких стадий проходило в наиболее благоприятных условиях: в мелководных, хорошо прогреваемых водоемах при обилии естественного корма. Рождение высокоурожайных поколений судака и леща в эти годы повторялось в 70 % случаев, за счет чего в море поддерживался высокий уровень запаса этих видов и улов составлял судака в среднем 32 тыс. т (с колебанием 70—15 тыс. т), леща 20 тыс. т (с колебанием 45—10 тыс. т) (рис. 2.2).

В отличие от судака и леща тарань, воспроизводство которой осуществляется преимущественно в кубанских лиманах, имеет другую динамику урожайности поколений (рис. 2.3). Вследствие слабой мелiorации в 30-е и 40-е годы кубанские лиманы были осолонены и уровень воспроизводства тарани был ниже, чем в последующие годы. Улов тарани в 1927—1952 гг. составил в среднем 5,6 тыс. т (с колебанием 23,0—1,5 тыс. т).

После зарегулирования Дона выделяются три периода, отличающиеся по уровню воспроизводства и условиям обитания в море. В 50-е—60-е годы, когда был зарегулирован только Дон, а Кубань сохраняла еще естественный гидрологический режим, отмечен более низкий уровень годового стока рек по сравнению с предшествующим периодом. На протяжении 20 лет в нижнем течении Дона только один раз в 1963 г. сложились условия, близкие по показателям обводненности поймы к средним данным естественного режима. Пло-

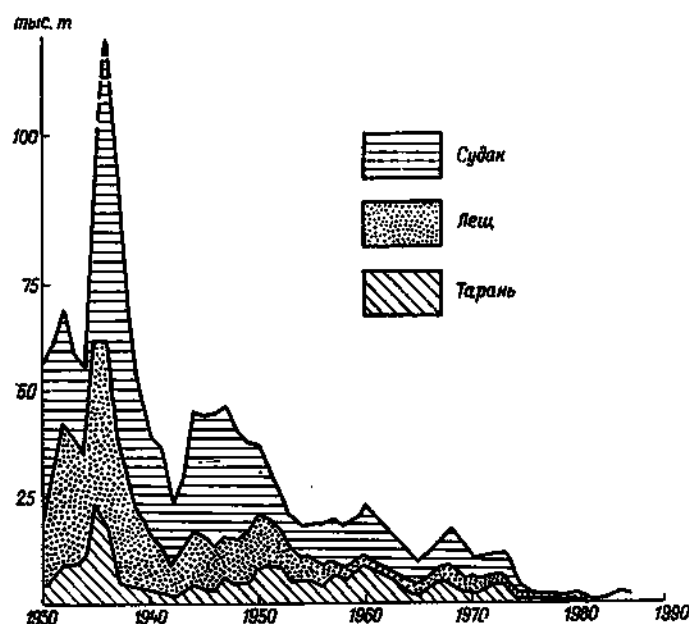


Рис. 2.2. Динамика промысловых уловов (тыс. т) полупроходных рыб за 1930—1983 гг.

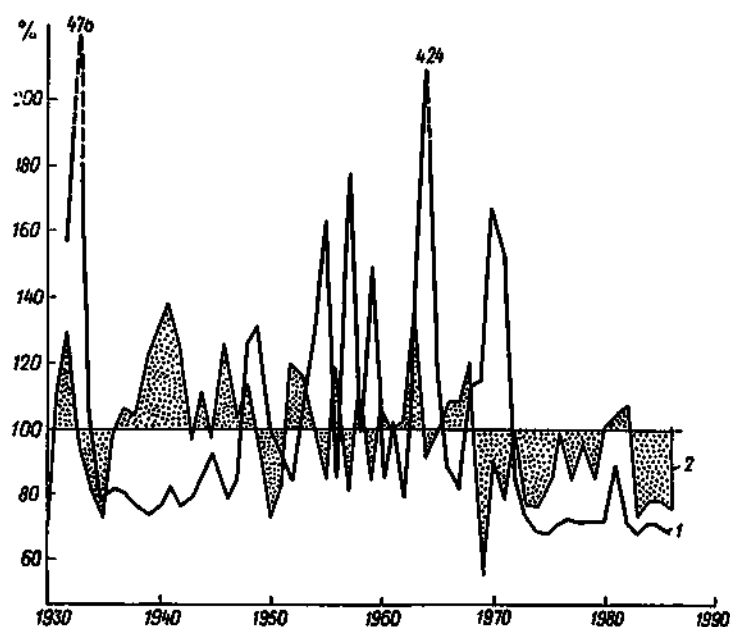


Рис. 2.3. Динамика численности тарани и годового стока Кубани (в % отклонения от среднего значения).

1 — численность сеголетков тарани, 2 — годовое количество осадков в Кубани.

щадь затопления поймы составила 150 тыс. га при среднемноголетнем значении 95 тыс. га, продолжительность затопления 57 сут при среднем значении 58 сут, весенний сток — 17,6 км<sup>3</sup> при среднем значении 16,3 км<sup>3</sup>. Все другие годы повышенного стока Дона и затопления его поймы характеризовались, как правило, неустойчивым сроком обводнения нерестилищ 20—40 сут. В отдельные годы (1953, 1954, 1956) пойма заливалась с перерывами, иногда (1968, 1970 гг.) и нерестилища заливались позже наступления нерестовых температур. Почти во всех случаях так называемого регулируемого паводка сброс воды с поймы начинался рано, что вызывало пассивный скат неокрепшей молоди и повышенную гибель. В результате численность сеголетков судака и особенно леща в эти годы была ниже среднемноголетних значений, за исключением поколения 1963 г.

Следствием снижения уровня воспроизводства было сокращение уловов. В 1952—1969 гг. среднегодовой улов судака составлял 9,0 тыс. т (с колебанием 12,5—5,6 тыс. т); леща 4,0 тыс. т (с колебанием 9,8—1,7 тыс. т).

Как уже отмечалось, в связи с мелiorацией лиманов для тарани сложились более благоприятные условия воспроизводства, чем в 30-е и 40-е годы. Численность сеголетков тарани в 50-е—60-е годы была на уровне средних и высокоурожайных поколений. Это обеспечивало довольно высокие, как и в предшествующий период, уловы — 5,0 тыс. т с колебанием 8,9—2,2 тыс. т, — несмотря на значительные ограничения специализированного промысла этого вида мелкойчейными орудиями лова, вылавливающими молодь судака и леща.

Период 70-х—80-х годов характеризуется активным антропогенным воздействием на экосистему Азовского моря на фоне продолжающегося естественного маловодья рек. Причем наиболее ощутимо это воздействие проявилось на таком звене, как нерестилища проходных и полупроходных

форм рыб. С развитием орошаемого земледелия в низовьях рек Дона и Кубани полезная площадь Донской поймы и кубанских лиманов сократилась на 50 %. Вследствие безвозвратного изъятия и сезонного перераспределения стока в течение девяти лет подряд не обеспечивалось затопление и этих остаточных пойменных нерестилищ на Дону. После зарегулирования Кубани (1973 г.) несколько повышенный весенне-летний сток реки отмечался только в 80-е годы. В результате 70-е годы отличаются исключительно низким уровнем воспроизводства судака, леща и тарани и дальнейшим снижением промысловых уловов этих видов.

Увеличение речного стока в 1978—1983 гг. показало, что кратковременное улучшение условий воспроизводства полупроходных форм рыб не способно существенно изменить уровень запасов и уловов судака, леща, тарани, хотя в эти годы были получены отдельные урожайные поколения (лещ 1979 г.) и в целом численность приплода возросла.

Искусственное воспроизводство полупроходных форм рыб также не смогло поддерживать на высоком уровне промысловые запасы, поскольку площадь нерестово-выростных водоемов незначительна по сравнению с площадью естественных нерестилищ, а главное — нерестово-выростное хозяйство испытывает все негативные стороны, связанные с дефицитом пресной воды, что и естественные водоемы.

В результате слабого пополнения запаса уловы полупроходных форм рыб в последние годы находятся на низком уровне (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Среднегодовые уловы ( $10^3$  т) полупроходных форм рыб в различные периоды

| Вид    | 1927—1951 гг. | 1952—1969 гг. | 1970—1977 гг. | 1978—1983 гг. | 1984—1986 гг. |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Судак  | 31,9          | 9,0           | 3,3           | 0,9           | 1,8           |
| Лещ    | 19,5          | 4,0           | 2,4           | 0,9           | 2,5           |
| Тарань | 5,6           | 5,0           | 2,0           | 0,7           | 1,9           |
| Всего  | 57,0          | 18,0          | 7,7           | 2,5           | 6,2           |

Проходные формы — это наиболее ценные, но немногочисленные представители азовской ихтиофауны, биология которых самым тесным образом связана с изменениями гидрологии рек Дона и Кубани. К ним относятся осетровые: осетр, севрюга, белуга, стерлядь, а также рыбец, шемая, сельдь, чехонь.

С постройкой крупных водохранилищ, Цимлянского на Дону и Краснодарского на Кубани, осетровые потеряли наиболее продуктивные естественные нерестилища (белуга — на 100 %, осетр и севрюга — на 80 %), расположенные в зоне водохранилищ и выше них. Установка низконапорных плотин на участке рек ниже водохранилищ преграждает доступ производителей к остаточным нерестилищам не только осетровых, но и таких видов, как рыбец, шемая, сельдь. Воспроизводство бывает эффективным только в редких случаях высоких паводков, когда низконапорные плотины не устанавливаются.

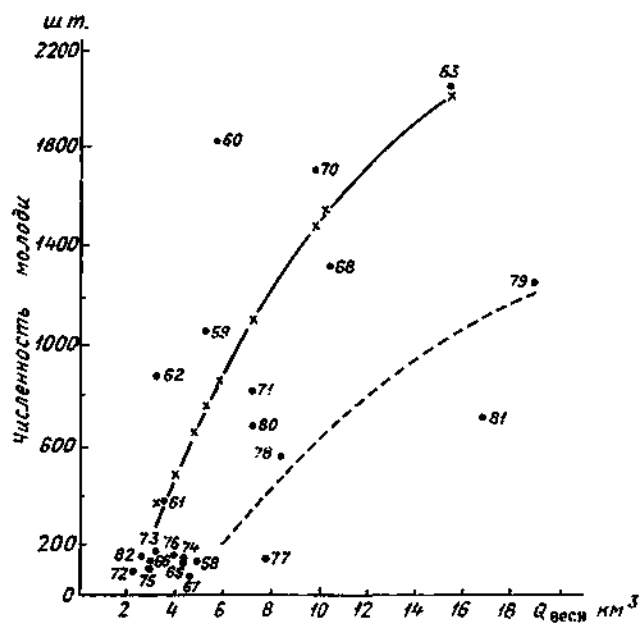


Рис. 2.4. Зависимость урожайности осетра от подности р. Дона.

Результаты обследования донских нерестилищ осетра, расположенных ниже Цимлянской плотины, показывают, что по эффективности размножения осетра в период регулируемого режима Дона можно выделить два этапа (рис. 2.4).

На первом этапе (1955—1970 гг.), т. е. до строительства низконапорных плотин, сток р. Дона, несмотря на значительное внутригодовое преобразование (снижение доли весеннего стока в годовом на 38 %), составил  $23,9 \text{ км}^3$ , что оказалось ниже среднегодовой нормы ( $27,9 \text{ км}^3$ ). В условиях достаточно высокой проточности грунты нерестилищ донского осетра находились в удовлетворительном состоянии. На этом этапе частота лет с более или менее эффективным нерестом осетра была большая (1960, 1963, 1964, 1968, 1969, 1970 гг.) и составила 40 %.

На втором этапе (1971—1978 гг.) отмечалось значительное снижение стока Дона до  $16,4 \text{ км}^3$ , что ниже среднего значения на  $11,4 \text{ км}^3$ . Кроме того, в эти годы были построены низконапорные плотины, что превратило реку в цепь водоемов водохранилищного типа с замедленным током воды. Так, на межплотинном участке от Николаевского гидроузла до Кочетовского скорость течения на фарватере реки уменьшается с 0,67 до 0,14 м/с, что более чем в два раза ниже скорости течения в предшествующий период. Уменьшение проточности при последовательной повторяемости маловодных лет способствовало аккумуляции наносов и ухудшению размыва русла, что привело к занлению нерестилищ. Поэтому после ряда маловодных лет должная очистка и подготовка грунта для кладки икры не всегда может осуществляться в течение одного года со средним паводком (не более  $11 \text{ км}^3$ , как это было в 1978 г.). Лишь последующий, еще более высокий сток (1979 г. —  $19,6 \text{ км}^3$ ) может создать необходимые предпосылки для успешного нереста осетра.

Отмеченное влияние маловодных лет и низконапорных гидроузлов с годами усугубляет их отрицательное действие на естественное размноже-

ние осетра. Так, в исключительно маловодные 1963 и 1979 гг. (весенний сток соответственно 19,1 и 19,6 км<sup>3</sup>) эффективность размножения осетра существенно снизилась.

По эффективности размножения осетра в условиях зарегулированного стока Дона можно выделить три периода. Высокий уровень отмечается в годы с наибольшим весенним стоком (более 12,5 км<sup>3</sup>), уловы поклатной молодежи составляют в среднем 1300 экз., а промысловый возврат поколения — 3,6 тыс. т.

Годы с весенним стоком 7,5—12,5 км<sup>3</sup> характеризуются средним уровнем воспроизводства. Уловы поклатной молодежи составляют в среднем 860 экз., промысловый возврат поколения — 1,3 тыс. т. В маловодные годы с весенним стоком ниже 7,5 км<sup>3</sup> эффективность естественного размножения осетра практически равна нулю.

Эффективность размножения кубанской севрюги после зарегулирования стока Кубани пока не поддается количественной оценке, поскольку поколения, полученные при повышении стока в 80-е годы, еще подлежат вылову.

Численность стада отдельных видов осетровых поддерживается за счет промышленного рыболовства. Однако масштабы искусственного воспроизводства к настоящему времени не могут компенсировать численность урожайных и среднеурожайных поколений, получаемых в прошлом на естественных

перестилищах в среднем и верхнем течении рек Дона и Кубани.

Таким образом, численность и структура современного стада осетровых в Азовском море определяется разной степенью пополнения запаса отдельных видов (табл. 2.2). Основу стада к концу 70-х годов составил осетр (72 %), значение севрюги снизилось до 24 % (с 78 % в 1929—1963 гг.), на долю белуги приходится 4 %. С увеличением запаса промыслового стада уловы осетровых в настоящее время составляют в среднем около 1 тыс. т (рис. 2.5). В ближайшие 10 лет уловы возрастут до 1,5—2,0 тыс. т за счет роста запаса осетра и вступления в промысловое стадо урожайных поколений 1979—1981 гг.

## 2.2. Влияние солености воды на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб

Показателем условий обитания в море проходных и полупроходных форм рыб, темпа их роста и созревания является такой интегральный показатель среды, как соленость воды Азовского моря и Таганрогского залива. Ареалы нагула судака, леща, тарани определяются площадью моря с благоприятной для их нагула соленостью, что в свою очередь связано с перераспределением основных объектов питания.

Минерализация воды на физиологическое состояние рыб воздействует главным образом через определяемые ею осмотическое давление и плотность. Большинство видов рыб приспособлено к жизни в растворах более или менее постоянного осмотического давления и при его резком повышении может погибнуть. При этом экологическая валентность даже одного и того же вида рыб варьирует в зависимости от стадии индивидуального развития. Наиболее низка она на стадии эмбрионального развития, а также для личинок и молодежи всех видов рыб, когда они скатываются с нерестилищ в море.

Вопрос об отношении азовских видов рыб к солености рассматривался многими исследователями: С. П. Воловиком, Т. М. Аведиковой, Е. Г. Бойко, Г. П. Дьяковой, Ю. И. Рековым, Л. И. Семененко, И. Ф. Ковтуном, Г. И. Луцом, С. Ф. Роговым и рядом других специалистов АзНИИРХ по материалам сезонных экспедиций 1960—1973 гг., в каждой из которых проводились параллельные ловы рыб и отборы проб на соленость. Результаты съемок наносились на карту, выделялись зоны вод одинаковой солености (изогалины проводились через 1 ‰). Для каждой из выделенных по солености зон составлялись вариационные ряды по данным отловов рыбы, т. е. характеризовалась плотность популяции. Эти зоны, на которые приходилась наибольшая численность (в сумме не менее 60 %), рассматривались как зоны оптимальной солености. За верхнюю границу для пресноводных и реликтовых видов рыб и за нижнюю границу благоприятной солености морских видов принималась такая, за пределами которой отмечалось не более 5—10 % всей популяции данного вида. Сильно осолоненные для проходных и солоноватоводных видов рыб, а для морских — опресненные участки моря к ареалу не относились. Соленость, при которой учитывалось менее 1 % популяции, рассматрива-

Таблица 2.2  
Динамика численности азовских осетровых (прямой учет в море, тыс. шт.)

| Годы      | Осетр | Севрюга | Белуга | Всего |
|-----------|-------|---------|--------|-------|
| 1958—1960 | 442   | 1325    | 18     | 1785  |
| 1961—1963 | 425   | 655     | 18     | 1103  |
| 1964—1966 | 774   | 683     | 195    | 1652  |
| 1967—1969 | 1179  | 1442    | 92     | 2713  |
| 1970—1972 | 2250  | 1763    | 97     | 4110  |
| 1973—1975 | 4129  | 2458    | 250    | 6817  |
| 1976—1978 | 6040  | 2650    | 262    | 8952  |
| 1979—1981 | 9780  | 3180    | 551    | 13511 |
| 1982—1984 | 10350 | 3130    | 330    | 13810 |
| 1985—1986 | 10690 | 3420    | 200    | 14310 |

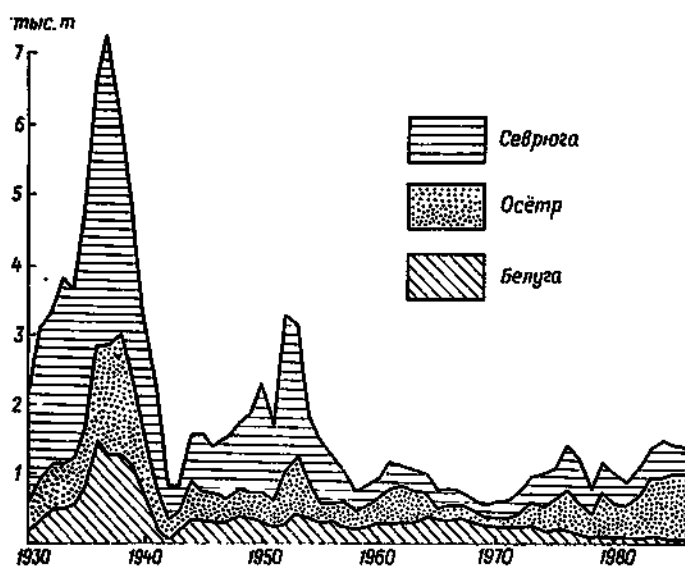


Рис. 2.5. Уловы (тыс. т) осетровых за 1930—1983 гг.



лась как летальная для данного вида в случае его длительного пребывания в этих условиях.

Для осетровых нижней границей оптимальной солености, по-видимому, можно принять 6‰, так как в более опресненных районах ежегодно отмечалось в среднем около 19 % осетровых. Верхней границей оптимальной солености можно принять 12‰. В 1960—1973 гг. в водах с соленостью 6—12‰ в среднем обитало 65 % осетровых. На ареале осетровых в указанный выше период средняя соленость составляла 8,8‰ в апреле, 8,3‰ в июле, 8,9‰ в октябре. А. Ф. Карпевич [35] отмечает, что граница благоприятной солености для осетровых может достигать 18‰. Э. В. Макаров за верхнюю границу благоприятной солености принимал 13‰. В 1974—1978 гг. осетровые распределялись достаточно равномерно по всей акватории и избегание ими районов с соленостью более 13—14‰ четко не прослеживалось. По данным А. Ф. Карпевич [36], благоприятной для осетровых на личиночной стадии соленостью является 0—7,5‰, для сеголетков 0—10‰. Наилучший рост и выживание личинок осетровых в экспериментальных условиях наблюдаются в случае, если соленость не превышает 5‰, при 7,5‰ их развитие замедляется и гибель более массовая. При солености выше 8,0‰ отмечается 100 %-ная гибель. Молодь осетра в возрасте 30—40 сут погибает уже только при солености 12‰, а у особей в возрасте 40—55 сут при подобной солености лишь подавляется темп развития. Выполненные Ленинградским государственным университетом исследования влияния высокой солености на молодь осетровых (белуги и осетра в возрасте 9—80 сут), выпускаемую Темрюкским осетровым заводом, показали, что молодь осетра при стандартных размерах успешно приспосабливается к обитанию при солености 12,0—12,5‰, а молодь севрюги и белуги — при солености до 15‰. Необходимым условием является хотя бы кратковременная адаптация мальков к промежуточной солености. Устойчивость молоди осетровых к солености повышается с увеличением размеров, массы и возраста.

По данным Е. Р. Сухановой, Д. Н. Логвинович, Г. Я. Семячко, оптимальная соленость для личинок рыба в условиях эксперимента равна 0,7—1,7‰. Личинки шемаи погибают при солености 7,2‰, а рыба — при солености 9,3‰ при условии, что они сразу попадают в воду с такой соленостью. В случае же постепенного перехода от низкой солености к более высокой солевой порог возрастает. Молодь рыба в возрасте четырех месяцев выносит уже соленость до 12,5—13,6‰. Экспериментальные данные А. Ф. Карпевич [35] показали, что при солености 10‰ и более выживание рыба снижается. По его мнению, для рыба на личиночной стадии благоприятные значения солености находятся в интервале 0—7,5‰. Верхней границей благоприятной для шемаи солености, по-видимому, является 13‰.

В районах, в которых соленость более 11‰, во все сезоны года численность судака невелика (менее 10 % от всего стада судака). Поэтому изогалина 11‰ принята в качестве верхней границы благоприятной для него солености. Для сеголетков судака в качестве такой границы принята соленость 7—8‰. По данным А. Ф. Карпевич [35],

благоприятные для личинок судака значения солености находятся в интервале 0—7,5‰, для сеголетков — 0—11‰, для половозрелых особей — 0—12,5‰. Распространение взрослого леща ограничивается соленостью 0—12‰. Однако во все сезоны года в районах, в которых соленость 11—12‰, обитает лишь 0,5 % стада леща. Следовательно, изогалину 10,5‰ можно принять за верхнюю границу благоприятной для него солености. Наибольшая плотность леща отмечается при солености 3—8‰, в таких районах насчитывается в среднем за год около 60 % всего стада взрослого леща. Верхней границей благоприятной для сеголетков-годовиков леща солености в среднем за год является соленость 7—8‰. Его массовые скопления наблюдаются в районах, в которых соленость составляет 0—4‰.

Материалы по распределению тарани в зависимости от солености воды на ареале ее обитания свидетельствуют о том, что наиболее высокая плотность рыб отмечается в районах, в которых соленость составляет 8—12‰, средняя соленость на ареалах рыб разных возрастных групп изменялась от 8,3 до 10,4‰, максимальная соленость, при которой встречалась тарань, составляла 13—14‰. Верхней границей солености, благоприятной для двухлетков тарани и более взрослых особей, следует принять соленость 11—12‰, а оптимальной — 9—10‰. Верхней границей благоприятной для сеголетков чехони является соленость 6‰, для взрослой чехони 9‰. Максимальная соленость, при которой встречалась эта рыба, равнялась 10‰ для сеголетков и 12‰ для особей других возрастных групп.

Сравнительный анализ многолетней динамики запасов проходных и полупроходных форм рыб и соответствующих изменений солености Азовского моря подтверждает изложенное выше.

Так, в годы естественного режима и оптимальной солености моря судак, лещ и тарань обитали практически на всей его акватории. С осолонением моря ареалы этих видов постепенно сократились и в годы максимального осолонения (1972—1977) ограничивались самой восточной частью Таганрогского залива (восточнее Беглицкой косы), причем большая часть стада обитала в дельте Дона (лещ) и в кубанских лиманах (судак, тарань) (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Ареалы (тыс. км<sup>2</sup>) полупроходных форм рыб в Азовском море

| Вид    | До зарегулирования рек | Максимальный ареал | После зарегулирования рек | Минимальный ареал |
|--------|------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Судак  | 24,3                   | 32,0               | 8,6                       | 2,4               |
| Лещ    | 17,0                   | 28,0               | 5,8                       | 2,6               |
| Тарань | —                      | 13 (1932 г.)       | 5,1                       | 1,6               |

Изменение общего запаса судака, леща и тарани отражает изменение как уровня воспроизводства, так и условий обитания рыб в море. Многолетняя динамика запаса этих рыб и солености вод Азовского моря и Таганрогского залива показана на рис. 2.6. Количественная связь между биомассой стада и показателем среды обитания представляет большую ценность в долгосрочном прогнозировании. Проверка установленных зависимостей

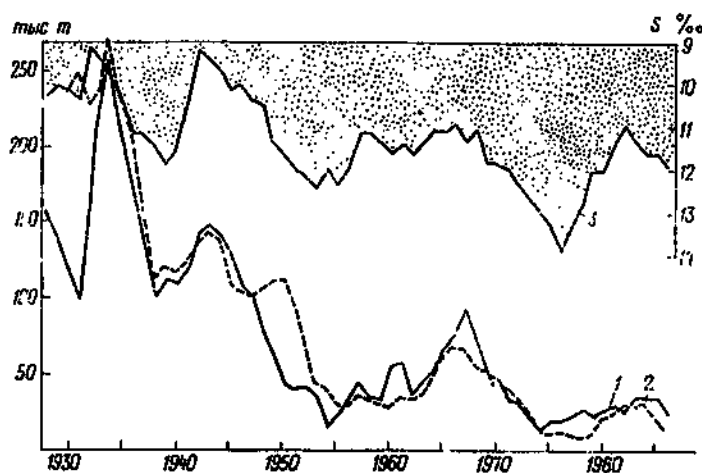


Рис. 2.6. Динамика общего запаса (тыс. т) судака (1), леща (2), тарани (4), а также изменение солёности Азовского моря (3) и Таганрогского залива (5) за 1927–1983 гг.

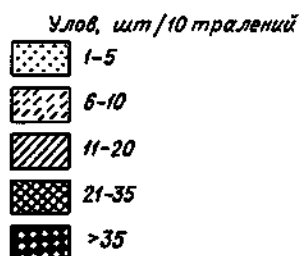
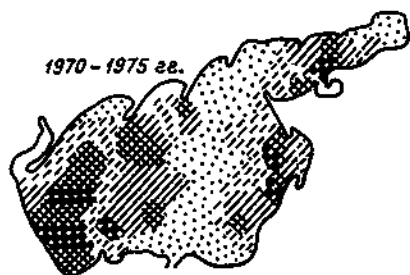
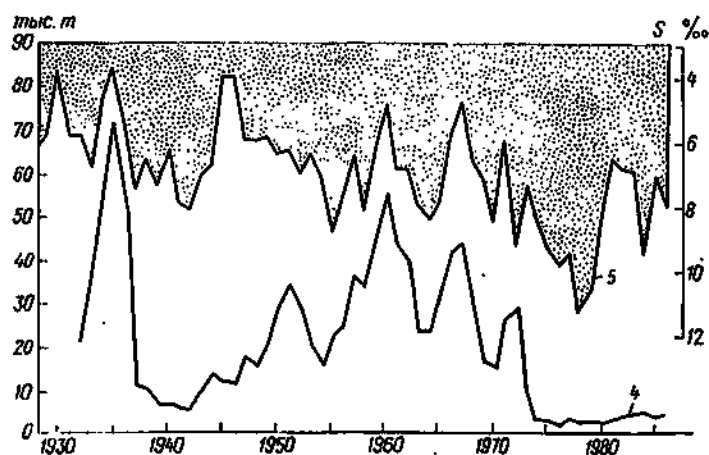


Рис. 2.7. Ареал и плотность распределения осетровых при различном режиме моря (данные учетной съемки в июле).

Таблица 2.4

Уравнения, отражающие зависимость общего запаса судака, леща, тарани от изменения солёности Азовского моря и Таганрогского залива

| Вид    | Уравнения регрессии                                      | Коэффициент корреляции |
|--------|----------------------------------------------------------|------------------------|
| Судак  | $\ln B = 14,13 - 7,46 \ln S_{i-2}$                       | 0,73                   |
| Лещ    | $\ln B = 15,006 + 0,583 \ln B_{i-1} - 5,178 \ln S_{i-1}$ | 0,94                   |
| Тарань | $\ln B = 6445 S^{-3,2}$                                  | 0,82                   |

Примечание. B — общий запас; S — среднегодовая солёность Азовского моря, для тарани — среднегодовая солёность Таганрогского залива;  $B_{i-1}$  — запас предыдущего года.

по данным фактических рядов наблюдений показала, что наиболее близкие значения дают уравнения, которые приведены в табл. 2.4 и использованы для расчетов на перспективу запаса и уловов полупроходных форм рыб. Из всех азовских проходных и полупроходных форм рыб только осетровые сохранили в условиях меняющегося режима бассейна

свой прежний ареал и основные пути миграций (рис. 2.7) при увеличении численности стада. Данные наблюдений последних лет и особенно периода осолонения моря подтвердили прогнозы возможного увеличения запаса осетровых в Азовском море при изменении его режима. За счет использования кормового бентоса осетровые могут давать годовую продукцию 26 тыс. т при средней солёности моря около 14 ‰ и 54 тыс. т при солёности 12,6 ‰.

### 2.3. Влияние температуры и ветровой активности на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных форм рыб

Большинство физиологических процессов в организмах холодокровных животных определяется температурой окружающей среды.

Длительность вегетационного периода характеризует условия нагула рыб в каждом конкретном сезоне. Для некоторых видов установлена количественная связь между показателями роста и условиями нагула. Уравнение для расчета средней



массы тарани в возрасте 3—5 лет имеет следующее выражение:

$$Y = 536,18 + 194,17S - 285,18t - 9,92S^2 + 16,20t^2,$$

где  $Y$  — средняя масса рыбы, г;  $S$  — средняя соленость моря, ‰;  $t$  — средняя температура воды, °C.

Термический режим и ветровая активность над акваторией Азовского моря зимой определяют ледовые условия в море и связанные с ними условия зимовки рыб. При устойчивом ледоставе зимовка рыб проходит в более благоприятных условиях, поскольку передвижки зимовальных скоплений не наблюдаются. В случае отсутствия ледостава или при неустойчивой ледовой обстановке в условиях повышенной ветровой активности происходят значительные перемещения зимовальных скоплений и частое расселение косяков зимующей рыбы. Повышенная активность рыб во время зимовки приводит к повышенным тратам энергетических запасов организма и в ряде случаев к истощению производителей к началу нерестового сезона.

Резкое понижение температуры воды при определенных условиях зимовки может вызывать массовую гибель рыб. Зимой 1968/69 г. вдоль всего кубанского побережья наблюдалась гибель в больших масштабах судака и тарани при сильных сгонно-нагонных ветрах и резком понижении температуры воды. В годы осолонения моря в юго-западных районах, в которых соленость воды пре-

вышала 13 ‰, при определенной ситуации отмечалась массовая гибель на местах зимовки всех видов и всех возрастных групп осетровых рыб.

Резкое понижение температуры воды при активном перемешивании соленых водных масс обусловило понижение температуры воды в придонном слое до  $-1,0 \dots -1,5$  °C, что оказалось критическим для осетровых рыб, и они гибли от переохлаждения.

Изменения температуры весной определяют начало и скорость прохождения всех жизненно важных процессов у рыб: начало и характер нерестового хода производителей, сроки нереста и развития икры, личиной и ранней молоди, начало кормовых миграций. Резкие перепады температуры в этот период взрослые рыбы, как правило, переносят без летального исхода. Ранние стадии развития рыб (эмбрионы, мелкая молодь) весной весьма чувствительны к большим колебаниям температуры. В годы неблагоприятного термического режима весной при прочих равных условиях выживаемость поколения всегда ниже, чем в годы с оптимальным режимом.

Повышенный фон температуры летом в условиях слабой ветровой активности обуславливает резкое уменьшение содержания растворенного в воде кислорода. При длительном воздействии этих факторов на обширной площади моря отмечается массовая гибель бентоса и рыб, ведущих придонный образ жизни: бычков, камбалы и других.

### 3. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА АБИОТИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЭКОСИСТЕМЫ АЗОВСКОГО МОРЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОКОЛЕНИЙ И ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ МОРСКИХ ВИДОВ РЫБ

В биологии морских видов рыб Азовского бассейна, которые размножаются в море, речной сток не играет столь существенной роли, как для проходных и полупроходных форм рыб. Несмотря на значительные изменения этого фактора, запасы морских видов рыб на протяжении рассматриваемого 70-летнего периода оставались довольно стабильными. Периодические колебания запасов закономерны и обусловлены в основном циклическими изменениями океанографических факторов. Однако изменения солевого режима моря, связанные с сокращением речного стока, оказали существенное воздействие и на популяции морских видов рыб. Изучение реакции морских видов рыб на изменения солености моря позволило выявить основные закономерности в формировании запасов этих видов, которые могут быть использованы и при долгосрочном прогнозировании.

Промысел массовых морских видов рыб Азовского моря базируется на предзимовальных миграциях (хамса) и зимовальных скоплениях (тюлька). В связи с этим особую значимость приобретает воздействие термического режима моря на поведение рыб во время зимовки. Подробное изучение этих взаимодействий используется в краткосрочном прогнозировании сроков и мощности образования зимних скоплений рыб, дислокации добывающего флота, загрузки береговых рыбообрабатывающих баз.

#### 3.1. Отношение морских видов рыб к солености

Тюлька — наиболее массовый вид Азовского моря. Ареал ее охватывает весь бассейн, встречается она и в нижнем течении р. Дона, а также в Керченском проливе. Однако ее требования к солености изменяются на разных этапах жизненного цикла, и места основных скоплений этого вида в разные сезоны года оказываются приуроченными к зонам с определенной соленостью, что обуславливает миграцию популяции в пределах ареала.

Весной, в апреле—мае, тюлька нерестится в опресненных зонах, преимущественно в Таганрогском заливе. Отнерестившиеся производители, так же как и молодь, к началу — середине лета в основном покидают Таганрогский залив и распространяются по акватории почти всего водоема. Поздней осенью тюлька концентрируется в центральных районах моря, где и зимует в плотных скоплениях. С весенним прогреванием воды зимовальные скопления распадаются, и тюлька начинает нерестовую миграцию. Материалы по распределению тюльки показывают, что весной до 80 % популяции обитает на акватории с соленостью воды до 7—9 ‰, в августе — 9—13 ‰ и в октябре — 10—12,5 ‰.

Приведенные данные существенно не отличаются от известных ранее [35, 58, 61]. Сеголетки

тюльки имеют практически те же границы солевой устойчивости, что и половозрелые особи, однако летом они обитают в основном в пределах опресненных зон Таганрогского залива.

По результатам исследований, приведенным в работах [35, 36, 48, 49], четко видно, что оптимальной для размножения производителей тюльки, развития ее икры и личинок является соленость 2—7‰. Аналогичные результаты были получены при изучении подвижности сперматозоидов тюльки и способности ее икры к оплодотворению при солености от 0 до 17,8‰ с интервалом 2,5‰ [43]. В этой работе указывается, что наиболее высокая выживаемость личинок тюльки после выклева отмечалась в экспериментальных емкостях, где соленость составляла 3,1—7,8‰.

**Бычки.** В бассейне Азовского моря обитает 16 видов бычков [40], которые встречаются по всей его акватории — от Керченского пролива до аванделты Дона. Из всех видов бычков только несколько имеют высокую численность и являются промысловыми объектами или же важной пищей для хищных рыб.

**Бычок-кругляк** — абориген Азовского моря, типичный представитель солоноватоводного pontического фаунистического комплекса, обитает в водах Средиземного, Черного, Каспийского и Азовского морей, встречается в районах, в которых соленость составляет 0—20‰.

В Азовском море бычок-кругляк может иметь высокую численность и является промысловым объектом. Известно, что для бычка-кругляка благоприятной считается соленость, равная 1—13‰, а в нерестовый и нерестовый периоды (апрель—июль) — 10—13‰ [62].

В 1962—1973 гг. основная часть популяции бычка-кругляка обитала в районах Азовского моря, в которых соленость составляла 9—15‰, однако отмечались существенные сезонные вариации. Весенне-летние скопления бычка были небольшими в местах, где соленость вод составляла 9,5—12‰, а осенне-летние скопления — в районах с более высокой соленостью вод (рис. 3.1). Однако его скопления в той или иной зоне обусловлены также рядом других факторов среды: характером грунта, содержанием кислорода, относительным количеством доступной пищи. Как правило, скопления бычка-кругляка отмечаются в районах с плотными грунтами, в которых содержание кислорода в воде бывает не меньше 60% насыщения.

В предзимовальный период (октябрь) в связи с охлаждением вод в прибрежной части моря бычок-кругляк мигрирует в прибрежные районы, в которых соленость воды несколько выше. Основные скопления как сеголеток, так и взрослых отмечаются в зонах, в которых соленость воды составляет 11—14‰.

Сопоставляя распределение бычка по акватории в годы меньшего (1965—1969) и большего (1970—1973) осолонения, мы можем отметить, что места зимовок бычка не изменялись, несмотря на повышение солености воды в этих районах на 1—1,5‰. Поэтому можно считать, что соленость воды, равная 13—14‰, для бычка-кругляка не может быть лимитирующим фактором в осенне-летний период.

На основе многолетних данных о распределении бычков видно, что в период их размножения бла-

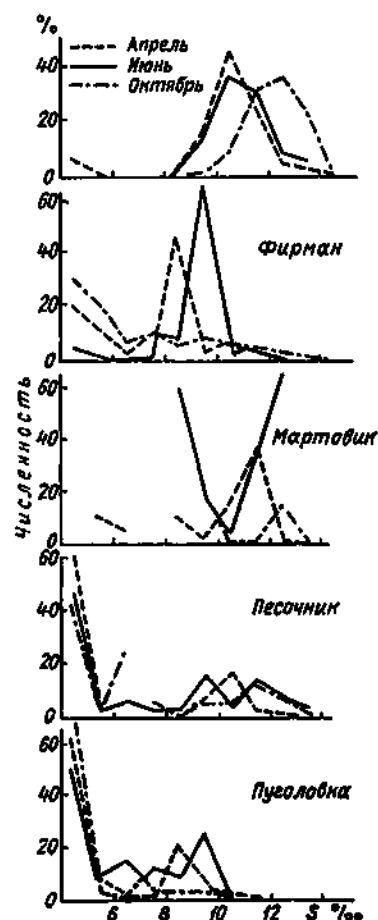


Рис. 3.1. Отношение азовских бычков к солености S.

гоприятной является соленость, равная 9,5—12‰, а оптимум находится на уровне 10—11,5‰. Это подтверждается появлением средне- и высокоурожайных поколений, когда максимальная численность производителей отмечалась в районах, где соленость вод была 10—11,5‰. Важным подтверждением изложенным фактам является и тесная зависимость между урожайностью поколений бычка и соленостью водоема (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Урожайность поколений бычка-кругляка в Азовском море в разные периоды

| Годы      | Средняя площадь акватории, на которой соленость воды 10—12‰ | Средняя численность поколений, млн. шт. |
|-----------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1961—1963 | 42,8                                                        | 6 925                                   |
| 1964—1967 | 83,3                                                        | 19 870                                  |
| 1968—1970 | 57,5                                                        | 3 170                                   |
| 1971—1977 | 12,0                                                        | 5 401                                   |

Так, численность сеголеток бычка-кругляка, определенная по учету их бимтралом в октябре, находится в прямой зависимости от площади акватории, ограниченной изогалинами 10—12‰ ( $r = 0,6$ , длина ряда наблюдений — 15 лет). Следует подчеркнуть, что в действительности связь должна быть более тесной, так как рассматриваемый ряд включает период интенсивных заморных явлений, охватывающих до 60—70% акватории водоема и вызвавших интенсивную гибель бычков. Так,

в 1972 г. только в районе Бердянской косы от замора погибло 2,0 тыс. т бычков, что равно их годовому вылову в этот период.

Необходимо особо отметить встречаемость значительного количества бычков летом в районах, в которых соленость воды превышает 12‰. Однако этот факт не может служить доказательством того, что такая концентрация солей является для бычка благоприятной. Об этом свидетельствует резкое снижение темпов роста бычков, особенно существенное в последние годы, когда средняя масса особей различных возрастных групп снизилась на 30—60 %.

Аналогичные выводы, показывающие, какую роль для бычка и его воспроизводства играет перемещение зон, в которых соленость составляет 9—12‰, позволяет осуществить анализ районирования промысла за период с 1930 г. Так, в 1930—1937 гг., когда соленость в юго-западной части моря весной находилась в пределах 9—10‰, а средняя соленость по морю — 10,0—10,5‰ [70], вылов бычка в районе Казантипа составлял 50—70 % от его общей добычи в бассейне [57].

После зарегулирования р. Дона наиболее высокая плотность бычка отмечалась в северной части моря (район Бердянского и Белосарайского заливов), где соленость опять же находилась в пределах до 12‰.

В 1969—1973 гг. бычок концентрируется преимущественно в северо-восточном районе моря (районы Бердянского и Белосарайского заливов, Железинской банки). Очевидно, что одной из причин такого смещения районов скопления бычка является общее осолонение водоема и его миграции в районы, в которых соленость менее 12‰, сначала в северном, а потом и в северо-восточном направлении. В последующий период (1974—1977 гг.) районы скопления бычков смещались вслед за продвижением солености уже и в Таганрогском заливе.

Экспериментальное изучение эффективности размножения и выживаемости молоди бычка-кругляка при разной солености (0,3—25‰) показало, что наиболее благоприятными для него значениями солености в нерестовый и эмбрионально-личиночный периоды жизни являются 10—11,5‰ (выживаемость в разных партиях икры и молоди 48—77 %); при более высокой и более низкой солености (соответственно 13,5 и 8,6‰) выживаемость бычков снижается (10—38 %) и совсем невелика при остальных значениях солености [38, 39].

Таким образом, наиболее благоприятной для размножения бычка является соленость 10—12‰, а для нагульного периода — не более 13‰.

Хамса — эвригалинный вид, икра и личинки которого могут развиваться в условиях, в которых соленость изменяется в больших пределах [24, 36, 56]. Экспериментальными исследованиями установлено, что оптимальной для развивающейся икры азовской хамсы является соленость 9—15‰ [24, 35, 36], однако имеются указания и на более узкий интервал — 10—12‰ [8, 56, 63].

Данные наблюдений в Азовском море показывают, что икра анчоуса встречалась в районах, где соленость была 7‰ и выше. За период 1967—1977 гг. в 90 % случаев она отмечалась на акватории, где соленость воды 10‰ и более (рис. 3.2). Несмотря на это, нижней границей, оптимальной

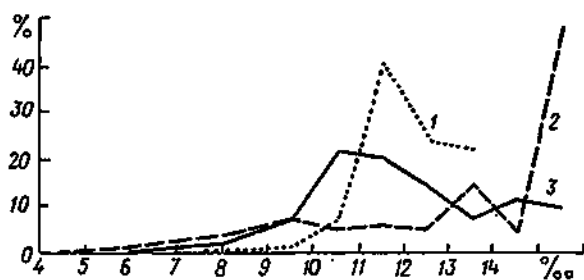


Рис. 3.2. Распределение (%) икры в мас-шоне (1), сеголетков в августе (2) и крупной хамсы в июне, августе (3) в зависимости от солености (‰). 1965—1973 гг.

для развития икры хамсы, следует считать соленость 8—9‰, что подтверждается успешным воспроизводством этой рыбы в 30-е годы, когда средняя соленость вод Азовского моря составляла 9,4—10,5‰.

В период нагула (август — начало сентября) отнерестившиеся производители занимают практически ту же самую акваторию, что и во время размножения. Только в конце сентября — октября в связи с охлаждением вод моря хамса мигрирует в южную часть водоема, а затем в Керченский пролив. Это обуславливает осенью повышение плотности хамсы в наиболее осолоненных зонах Азовского моря, в которых, однако, соленость все-таки значительно ниже (на 2—8‰) солености черноморской воды в местах зимовки.

Достоверный учет численности сеголетков хамсы, проводимый в августе, показывает, что численность молоди, обитающей в несколько более осолоненных районах, превышает численность половозрелых рыб в этот же период.

Таким образом, имеются все основания полагать, что соленость вод 8—9‰ и выше, до максимальных, отмеченных в Азовском море, является благоприятной для развития икры, обитания сеголетков и половозрелых особей азовской хамсы.

С 1976—1977 гг. в АЗНИИРХ проводились опыты по оценке выживаемости хамсы в условиях резкой смены солености среды обитания. Рыбы отлавливались ставными неводами, расположенными в районе, в котором соленость вод составляла 12,5—13,4‰. После доставки на прибрежный пункт они помещались в емкость с более соленой водой (18‰), что соответствовало верхнему пределу солености воды в северо-восточной части Черного моря. После адаптации к этой солености (3—5 ч) отбирались особи, поведение которых каким-либо образом отличалось от остальной группы, а также погибшие. Из оставшихся рыб по 3—5 особей переносили в емкости с соленостью 16—8‰, т. е. перепад составлял соответственно 2, 4, 6 и 8‰. Как в контроле (соленость 18‰), так и в районе экспериментов рыба содержалась 3—5 ч. Результаты многократных пересадок показали, что хамса способна без заметного угнетения переносить резко (2—8‰) смену солености.

Одновременно осуществлялась и вторая серия опытов. При этом рыба, обитавшая и выдерживавшаяся после поимки в условиях при солености 13,4‰, помещалась в сосуды, в которых соленость составляла 10, 9, 8, 6 и 4‰ и в которых выдерживалась в течение 3—5 ч. Следует отметить, что

в трех первых партиях опыта (соленость 10—8‰) гибель и угнетение хамсы в течение эксперимента не наблюдалось, а в емкостях с соленостью 6—4‰ все особи погибли в течение 1 ч.

Несмотря на то что данный материал не подкреплен исследованиями физиологии обмена, он подтверждает более ранний вывод: хамса весьма пластичный эвригалинный вид, который в пределах его солевого диапазона (от 8 до 17—20‰ — значения, характерного для Черного моря) сохраняет высокую выживаемость и способность к нормальному существованию.

### 3.2. Урожайность поколений хамсы, тюльки, бычков

Хамса — один из наиболее многочисленных пелагических видов рыб, теплолюбивая форма, относится к временным обитателям Азовского моря и осваивает всю его акваторию в теплый период года. Она обладает большой воспроизводительной способностью (1,6—80 млрд. шт. сеголетков), коротким жизненным циклом (3—4 года), ранним созреванием (в возрасте одного года), растянутостью и порционностью икрометания (в течение мая—июля до трех порций). Запас хамсы зависит от суммарного стока Дона и Кубани (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Состояние запасов и урожайность хамсы в Азовском море

| Показатель                        | 1931—1951 гг. | 1952—1955 гг. | 1956—1969 гг. | 1970—1977 гг. | 1978—1985 гг. |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Суммарный сток Дона и Кубани, км³ | 40,6          | 32,9          | 35,8          | 27,4          | 34,5          |
| Запасы, тыс. т                    | 260           | 135           | 170           | 230           | 186           |
| Урожайность, млрд. шт.            | 32            | 17,4          | 18,5          | 25            | 28,6          |

Развитие икры и личинок происходит при температуре воды 18—26°C, но оптимальным условием для оплодотворения является температура воды 22,5—24°C (по экспериментальным данным А. С. Лещинской), летальной температурой является 6—7°C [46, 72].

Одной из причин, определяющей выживание эмбрионов азовской хамсы, являются оптимальные температурные условия [23], а также состояние кормовой базы в период нереста [21]. Выживание личинок связано с доступностью корма (науплий и копепод) во время перехода их на активное питание. Экспериментальными данными установлено, что наиболее благоприятные условия для выживания личинок создаются при концентрации корма (науплий и копепод) не ниже 30 тыс. шт/м³.

Исследователи, анализируя влияние различных факторов на численность сеголетков азовской хамсы, установили зависимость между запасом органического вещества в море в текущем году и численностью сеголетков через два года. Запас органического вещества в текущем году определяет развитие зоопланктона в следующем году [27].

На кормовую базу летом прямое влияние оказывает и характер зимы [44, 65]. В годы с теплой зимой в период нагула рыб биомасса зоопланктона

выше. К концу нагула жирность рыб оказывается максимальной, что и определяет воспроизводительную способность стада в будущем году. Прямую зависимость численности потомства от качества производителей отмечают также в работе [69]. Кроме указанных факторов, пополнение азовской хамсы зависит и от условий зимовки в Черном море. Жизнестойкость рыб в холодный период года поддерживается за счет использования жировых запасов, накопленных во время нагула. Расходование жира во время зимовки у хамсы колебалось от 49 до 90%, что связано как с прекращением интенсивного питания, так и тратой энергии на развитие и построение гонад. При относительно высокой температуре воды потеря жира выше, чем при низкой. Анализируя данные о влиянии зимних температур воды на характер расходования жировых запасов и сравнивая их с размером особей нового поколения, можно заметить, что в годы с относительно высокой температурой воды и большими потерями жира у производителей численность нового поколения пелагических рыб выше и наоборот. Это подтверждается как количеством выловленных личинок на нерестилищах, так и результатами учета сеголетков.

Для выживаемости личинок азовской хамсы большое значение имеют пищевые отношения с другими рыбами-планктофагами, а также в последние годы и с медузами, биомасса которых с 1973 по 1981 г. колебалась от 0,5 до 13,5 млн. т. Тюлька размножается в Таганрогском заливе в апреле—мае, после чего выходит в море для нагула. Нерест у хамсы происходит в более поздние сроки, в мае—июле по всей акватории моря. После нереста оба вида начинают активно питаться, в результате чего создают пищевую конкуренцию личинкам хамсы. Взрослая хамса, добывая пищу, фильтрует определенный объем воды, и при большом количестве ее производителей происходит значительное выедание развивающейся икры и личинок. Масштабы выедания иногда значительны. На обратную зависимость между численностью сеголетков (производителей хамсы и тюльки) указывают многолетние материалы (1931—1981 гг.), представленные в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Зависимость урожайности азовской хамсы от численности планктофагов

| Урожайность сеголетков, млрд. шт. |         | Численность потребителей корма (хамса, тюлька), млрд. шт. |
|-----------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|
| диапазон                          | средняя |                                                           |
| 2—11                              | 6,5     | 132                                                       |
| 12—19                             | 15,0    | 91                                                        |
| 23—32                             | 27,0    | 70                                                        |
| 37—80                             | 50,0    | 65                                                        |

Кроме того, сравнение численностей популяций бычка-поматосхистуса и хамсы показывает, что они всегда находятся в обратной зависимости. Поскольку ареалы и сроки нереста бычка и хамсы полностью совпадают, а их молодь ведет пелагический образ жизни и питается одними и теми же организмами, можно с достоверностью предположить, что этот бычок является пищевым конкурентом, определяющим численность поколений хамсы. Численность бычка поматосхистуса в отдельные

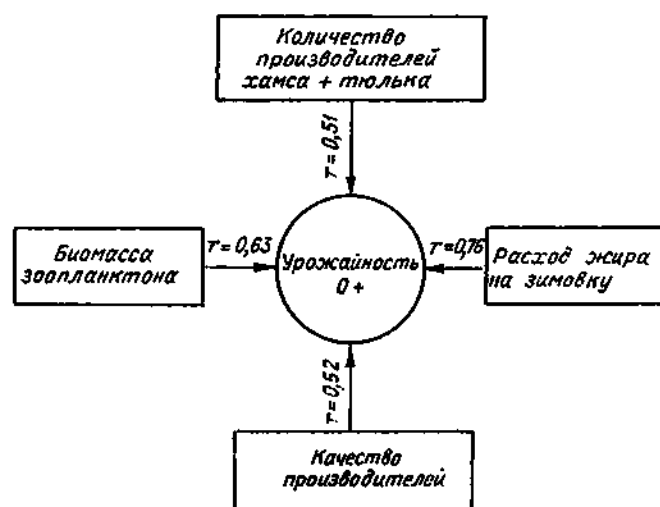


Рис. 3.3. Влияние биотических и абиотических факторов среды на урожайность хамсы.

Таблица 3.4

Биомасса и урожайность хамсы на 1 сентября в различные годы

| Год  | Биомасса хамсы, тыс. т | Урожайность молоди, млрд. шт. | Год  | Биомасса хамсы, тыс. т | Урожайность молоди, млрд. шт. |
|------|------------------------|-------------------------------|------|------------------------|-------------------------------|
| 1932 | 140,0                  | 47,1                          | 1962 | 149,0                  | 19,6                          |
| 1933 | 116,0                  | 12,0                          | 1963 | 256,0                  | 10,7                          |
| 1934 | 116,0                  | 17,6                          | 1964 | 59,3                   | 2,9                           |
| 1935 | 132,0                  | 56,0                          | 1965 | 58,5                   | 42,2                          |
| 1936 | 154,0                  | 36,1                          | 1966 | 337,6                  | 35,2                          |
| 1937 | 288,0                  | 46,7                          | 1967 | 562,2                  | 7,5                           |
| 1938 | 214,0                  | 30,4                          | 1968 | 275,8                  | 16,0                          |
| 1939 | 254,0                  | 30,0                          | 1969 | 93,5                   | 27,0                          |
| 1940 | 214,0                  | 32,9                          | 1970 | 163,2                  | 11,2                          |
| 1946 | 82,9                   | 14,1                          | 1971 | 280,7                  | 40,0                          |
| 1947 | 370,8                  | 41,4                          | 1972 | 186,5                  | 17,2                          |
| 1948 | 250,0                  | 17,7                          | 1973 | 189,8                  | 64,4                          |
| 1949 | 330,0                  | 51,9                          | 1974 | 375,9                  | 3,3                           |
| 1950 | 81,0                   | 34,4                          | 1975 | 304,4                  | 32,0                          |
| 1951 | 422,0                  | 12,2                          | 1976 | 223,0                  | 20,0                          |
| 1952 | 220,0                  | 15,6                          | 1977 | 117,0                  | 23,0                          |
| 1953 | 130,0                  | 45,4                          | 1978 | 85,0                   | 10,0                          |
| 1954 | 146,5                  | 5,9                           | 1979 | 90,3                   | 23,8                          |
| 1955 | 47,0                   | 2,7                           | 1980 | 277,7                  | 1,6                           |
| 1956 | 32,0                   | 18,9                          | 1981 | 169,1                  | 40,0                          |
| 1957 | 58,0                   | 0,8                           | 1982 | 124,2                  | 1,5                           |
| 1958 | 107,0                  | 23,6                          | 1983 | 191,0                  | 55,0                          |
| 1959 | 92,0                   | 3,3                           | 1984 | 288,0                  | 17,0                          |
| 1960 | 135,7                  | 36,9                          | 1985 | 160,0                  | 47,0                          |
| 1961 | 160,0                  | 14,4                          | 1986 | 145,0                  | 15,0                          |

годы достигает весьма больших значений — более 17—26 млрд. шт.

С учетом вышесказанного была выполнена блок-схема влияния биотических и абиотических факторов среды на урожайность хамсы (рис. 3.3) и получено следующее уравнение связи (коэффи-

циент множественной корреляции равен 0,83):

$$Y = 0,42X_1 + 0,34X_2 + 1,56X_3 - 0,41X_4 - 106,02,$$

где  $Y$  — урожайность сеголетков, млрд. шт.;  $X_1$  — биомасса копепоид в июне—августе, мг/м<sup>3</sup>;  $X_2$  — суммарная численность производителей хамсы и тюльки, млрд. шт.;  $X_3$  — расход жира у хамсы за зимовку, %;  $X_4$  — жирность производителей хамсы осенью предшествующего года, %.

Колебания биомассы и урожайности азовской хамсы показаны в табл. 3.4. В период естественного стока рек запасы хамсы колебались от 83 до 420 тыс. т, составляя в среднем 260 тыс. т. В последующие годы происходит снижение урожайности и запасов хамсы, за исключением 1970—1977 гг., когда в 1973 г. появилось весьма урожайное поколение (80 млрд. шт.). Минимальные (85—90 тыс. т) запасы наблюдались в 1978—1979 гг., что было вызвано слабым пополнением.

Изменения общей биомассы хамсы носят циклический характер, периоды колебаний составляют 4—6 и 18—20 лет. Минимальные значения биомассы хамсы отмечались в 1946, 1951, 1959, 1965, 1969, 1973, 1978, 1983 гг.; максимальные — в 1949, 1952, 1958, 1962, 1968, 1974, 1980 гг.

С. П. Воловик [13] сопоставил циклические вариации численности хамсы с ходом кривой, построенной на основе 4—6, 8—10 и 18—20-летних периодов изменения интенсивности биологических процессов, установленных Г. К. Ижевским [33] для Европейско-Азиатской системы. В результате Воловик определил, что чаще всего экстремумы численности запаздывают на год по отношению к экстремумам периодов, установленных Ижевским. Это подтверждает периодичность воспроизводства азовской хамсы, равную примерно 20 годам. Еще более убедительным подтверждением такой цикличности является изменение важнейших характеристик популяций хамсы в периоды, различающиеся развитием макросиноптических планетарных явлений (табл. 3.5).

Наиболее значительная урожайность хамсы и ее продукции отмечены при стационарировании полюса циркуляции в секторах ГК и ТБ (табл. 3.5). Исключение составляет увеличение продукции в 1938—1942 гг. при стационарировании полюса циркуляции в секторе АЧ. Однако в этот период условия среды приближались к климатической норме и особенно благоприятно отразились на продукции хамсы.

Выход половозрелой хамсы и ее молоди из Азовского моря различается по срокам. Молодь начинает мигрировать в конце июля — начале августа. Ее массовая миграция отмечается в середине сентября — первых двух декадах октября (табл. 3.6). Последние косяки молоди мигрируют вместе с половозрелой хамсой в середине второй половины ноября.

Таблица 3.5

Урожайность поколений и продукция хамсы в разные периоды макросиноптических процессов

| Показатель             | Первый цикл |           |           | Средний | Второй цикл |           |           | Средняя |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|---------|-------------|-----------|-----------|---------|
|                        | 1932—1937   | 1938—1942 | 1943—1949 |         | 1950—1955   | 1956—1960 | 1961—1967 |         |
| Урожайность, млрд. шт. | 36          | 27        | 32        | 32      | 19          | 17        | 19        | 18      |
| Продукция, млн. т      | 140         | 186       | 178       | 165     | 110         | 62        | 110       | 113     |

Сроки осенней миграции азовской хамсы

| Год                | Молодь          |               | Половозрелая хамса |                |                |  | Продолжительность, число дней |                |
|--------------------|-----------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|--|-------------------------------|----------------|
|                    | Начало миграции | Массовый ход  | Начало миграции    | Массовый ход   | Конец миграции |  | всего                         | массового хода |
|                    |                 |               |                    |                |                |  |                               |                |
| 1930               |                 |               | 20 IX              | 25 X           | 27 XI          |  | 67                            | 23             |
| 1931               |                 |               | 29 IX              | 3—30 X         | 6 XI           |  | 38                            | 28             |
| 1932               |                 |               | 30 IX              | 11 X—8 XI      | 17 XI          |  | 48                            | 29             |
| 1933               |                 |               | 28 IX              | 11 X—3 XI      | 18 XI          |  | 51                            | 24             |
| 1934               |                 |               | 23 XI              | 11 X—3 XI      | 24 XI          |  | 62                            | 24             |
| 1935               |                 |               | 20 XI              | 11 X—3 XI      | 5 XI           |  | 46                            | 24             |
| 1937               |                 |               | 13 X               | 23 X—3 XI      | 18 XI          |  | 36                            | 12             |
| 1938               |                 |               | 31 X               | 13 XI—3 XII    | 6 XII          |  | 36                            | 21             |
| 1939               |                 |               | 13 X               | 27 X—1 XI      | 22 XI          |  | 40                            | 6              |
| 1910               |                 |               | 13 X               | 22 X—10 XI     | 15 XI          |  | 33                            | 20             |
| 1941               |                 |               | 25 IX              | 17—30 X        | 15 XI          |  | 33                            | 20             |
| 1945               | 14 VIII         | 7 IX—17 X     | 17 X               | 20 X—10 XI     | 15 XI          |  | 29                            | 22             |
| 1946               | 15 VIII         | 12 IX—22 X    | 5 X                | 2—20 X         | 1 XI           |  | 26                            | 16             |
| 1917               |                 |               | 6 X                |                | 2 XI           |  | 26                            | —              |
| 1948               | 24 VIII         |               | 9 X                |                | 10 XI          |  | 32                            | —              |
| 1949               |                 |               | 9 X                |                | 30 XI          |  | 52                            | —              |
| 1950               | 4 VIII          |               | 22 X               |                | 20 XI          |  | 29                            | —              |
| 1951               | 10 VIII         |               | 6 X                |                | 9 XI           |  | 33                            | —              |
| 1952               | 17 VIII         |               | 13 X               |                | 19 XI          |  | 37                            | —              |
| 1953               | 21 VII          | 1 IX—10 X     | 5 X                | 23 X—10 XI     | 30 XI          |  | 57                            | 19             |
| 1954               | 9 IX            |               | 3 XI               |                | 1 XII          |  | —                             | —              |
| 1955               | Ход не выражен  |               | 6 XI               | Ход не выражен |                |  | —                             | —              |
| 1956               | 1 VIII          | 15 IX—15 X    | 10 X               |                | 27 XI          |  | 48                            | —              |
| 1957               | 28 IX           | 1—20 X        | 14 X               |                | 20 XI          |  | 37                            | —              |
| 1958               | 16 VIII         | 7—16 IX       | 2 X                | 13—26 X        | 6 XI           |  | 35                            | 14             |
| 1959               | 18 VIII         | 15—30 IX      | 2 X                | 11—19 X        | 3 XI           |  | 32                            | 9              |
| 1960               | 6 VIII          | 15 IX—30 X    | 7 X                | 15—26 X        | 9 XII          |  | 33                            | 12             |
| 1961               | 3 IX            |               | 29 IX              | 10 X—5 XI      | 20 XI          |  | 52                            | 27             |
| 1962               | 27 VII          |               | 12 X               | 17 X—4 XI      | 24 XI          |  | 43                            | 19             |
| 1963               | 26 VII          |               | 16 X               | 16—30 X        | 24 XI          |  | 39                            | 15             |
| 1964               | 3 VIII          | 15 IX—15 X    | 17 X               | 19—30 X        | 22 XI          |  | 36                            | 12             |
| 1965               | 10 VIII         | 15 IX—15 X    | 21 X               | 21—23 X        | 15 XI          |  | 25                            | 3              |
| 1966               | 4 VIII          | 1 IX—30 X     | 8 X                | 20 X—10 XI     | 5 XII          |  | 28                            | 22             |
| 1967               | 23 VIII         | 20 IX—20 X    | 13 X               | 15—29 XI       | 3 XII          |  | 51                            | 15             |
| 1968               | 31 VII          | 25 IX—20 X    | 15 X               | 30 X—15 XI     | 25 XI          |  | 41                            | 17             |
| 1969               | 28 VII          | 1—30 X        | 13 X               | 20 X—10 XI     | 15 XI          |  | 33                            | 22             |
| 1970               | 30 VII          | 15 IX—13 X    | 9 X                | 11 X—5 XI      | 12 XI          |  | 34                            | 26             |
| 1971               | 8 VIII          | 13—20 X       | 10 X               | 17 X—9 XI      | 15 XI          |  | 36                            | 24             |
| 1972               | 16 VIII         | 15 IX—10 X    | 19 X               | 27 X—25 XI     | 27 XI          |  | 39                            | 30             |
| 1973               | 19 VII          | 16 VIII—20 XI | 9 X                | 22 X—25 XI     | 30 XI          |  | 52                            | 35             |
| 1974               | 10 VIII         | 10 IX—20 XI   | 12 X               | 23 X—24 XI     | 30 XI          |  | 49                            | 30             |
| 1975               | 15 VIII         | 15 IX—15 XI   | 12 X               | 20 X—24 XI     | 15 XII         |  | 64                            | 35             |
| 1976               | 30 VII          | 20 IX—21 X    | 6 X                | 15 X—21 X      | 10 XII         |  | 65                            | 6              |
| 1977               | 31 VII          | 20 VIII—10 X  | 13 X               | 18 X—31 X      | 20 XI          |  | 38                            | 13             |
| Наиболее ранние    | 19 VII          | 16 VIII       | 20 IX              | 3 X—19 X       | 1 XI           |  | 28                            | 3              |
| Средние показатели | 12 VIII         | 16 IX—19 X    | 10 X               | 19 X—6 XI      | 19 XI          |  | 42                            | 19             |
| Наиболее поздние   | 28 IX           | 20 XI         | 6 XI               | 15 XI—3 XII    | 15 XII         |  | 65                            | 35             |

Механизм миграции молоди в достаточной степени не изучен. Существует мнение [77], что миграция сеголетков в относительно ранние сроки (конец июля — начало августа) является кормовой. В пользу этой гипотезы свидетельствует факт интенсивного роста молоди азовской хамсы в северо-восточной части Черного моря. Импульсом к началу миграции служит переход температуры воды в южной части Азовского моря через 22°C.

Половозрелая хамса мигрирует обычно в конце первой декады октября, значительно реже — с конца сентября (1930 г.) и в первой декаде ноября (1955 г.) (см. табл. 3.6). Начало хода крупной хамсы определяется ее физиологическим состоянием (упитанностью и жирностью) и темпе-

ратурным режимом водоема. Внутренний и внешний факторы миграции находятся друг с другом в тесном взаимодействии. При высоком содержании жира (примерно 22—30 % от массы тела) любой сколько-нибудь незначительный перепад температуры воды (в любом диапазоне, но не выше 18°C) приводит к началу миграции. Хамса со средним содержанием жира 17—21 % начинает миграцию при температуре перепада в пределах 14—15°C. Рыба, не накопившая достаточного количества жира (содержание жира ниже 12 %), вообще не способна воспринимать внешний температурный раздражитель, она остается в Азовском море и погибает от переохлаждения. Подобные ситуации имели место в первые годы после заре-

гулирования реки Дона (1954—1955 гг.) и в 1975 и 1976 гг., когда количество погибшей хамсы в Азовском море оценивалось в 20 тыс. т.

Как правило, температура воды в период массовых выходов хамсы варьирует от 16 до 7°C, при средней за год 15—9°C. Заканчивается осенняя миграция взрослой хамсы при температуре воды 7—10°C в середине или конце ноября.

В последние годы были сделаны попытки получить зависимости, позволяющие рассчитывать дату начала осеннего хода хамсы [75]. В дальнейшем были рассмотрены зависимости начала сроков промысловой путины, а также резкого усиления подходов рыбы к проливу от ряда биотических и абиотических факторов [59]. В результате исследований было получено несколько уравнений с высокими статистическими характеристиками, которые с 1977 г. дали возможность практически точно определять сроки миграций хамсы. Уравнения имеют вид:

$$Y_1 = 70,41 + 0,127X_1 - 0,023X_2, R = 70,$$

$$Y_2 = 36,01 + 0,648X_3 - 0,159X_2, R = 56,$$

где  $Y_1$  и  $Y_2$  — даты начала хода и начала массовой миграции;  $X_1$  и  $X_3$  — соответственно даты начала окончательного перехода температуры воды через 16 и 14°C (гидрометстанция Мысовое);  $X_2$  — число рыб с коэффициентом упитанности 0,90 и более на 1,09 (по Фультону).

Заблаговременность прогноза по указанным формулам составляет для начала миграции 10—15 дней, для начала массового хода — 20—25 дней, а отклонение расчетных значений от фактических сроков соответственно 2 и 5 дней. Наиболее существенной причиной, побуждающей хамсу к выходу из Азовского моря, является ее подготовленность к зимовке, температура воды при этом играет значительно меньшую роль [7].

Как показала Н. Ф. Тараненко [68], обособление крупной хамсы от молоди в период промысла происходит при разнице в их жирности не менее 10% и наоборот. Так, в 1981 и 1982 гг. жирность сеголетков и крупной хамсы находилась на сходном и относительно высоком уровне. В связи с этим разделения косяков молоди и взрослой хамсы не происходило и промысел базировался в равной степени на всех возрастных группах.

Степень подготовленности рыб к осенней миграции определяет их плотность в мигрирующих скоплениях. На многолетнем материале установлено, что эффективность промысла хамсы — вылов ее на судосутки, отнесенный к запасу — зависит от жирности промысловой части стада. Это позволяет заблаговременно прогнозировать промысловое усиление в предстоящей путине, что необходимо для организации бесперебойной работы обрабатывающей базы.

Физиологическое состояние хамсы в конце нагула в Азовском море наряду с термическими условиями зимы определяют и характер ее распределения на местах зимовок в Черном море, которые из года в год остаются непостоянными. Как правило, в северных участках зимовок распределяется взрослая, более жирная хамса, в южных — сеголетки. Для определения границ зимовального ареала была решена математическая модель, ко-

торая имеет вид:

$$Y = (X_1 X_2 X_3),$$

где  $Y$  — расстояние от пролива до границы зимовки, мили;  $X_1$  — жирность хамсы в конце нагула ( $IX-X$ ), % к сырой массе;  $X_2$  — средняя за зиму температура воды (I—III), гидрометстанция Туапсе;  $X_3$  — число дней с ветром 8 м/с и более (I—III), гидрометстанция Туапсе.

Для северной границы зимовки зависимость описывается уравнением

$$Y = 453 - 12X_1 - 14,4X_2,$$

где  $X_1$  — жирность крупной хамсы; для южной

$$Y = 88X_1 - 3X_2^2 - 238,4,$$

где  $X_1$  — жирность сеголетков.

Отмечалось, что жирность хамсы всегда играет решающую роль в выборе популяцией границ зимовального ареала. Температура же воды влияет на распределение хамсы на северной границе зимовки, а ветровая активность не оказывает заметного влияния. Указанные особенности поведения хамсы объясняются ее способностью при штормовой погоде опускаться в более спокойные глубинные горизонты или заходить в защищенные от ветров бухты [67]. Зависимость удаленности северной границы ареала также от температуры воды объясняется тем, что в районе Анапа—Туапсе особенно в суровые зимы температура воды может понижаться до 5—6°C (летальные значения для хамсы). Зимовка молоди на юге ареала при всех типах зим происходит при более высокой температуре воды 8—10°C.

Таким образом, приведенные материалы свидетельствуют, что физиологическое состояние хамсы в конце нагула играет решающую роль в формировании ее поведения как в период миграций через Керченский пролив, так и на местах зимовок. Указанная закономерность наиболее четко проявляется в годы с различным гидробиологическим режимом Азовского моря.

Состав кормовой базы рыб-планктофагов формируется в зависимости от солености вод. При естественном режиме стока (до 1952 г.) соленость Азовского моря составляла в среднем 10—10,5‰, доминирующую роль в составе зоопланктона занимали высококалорийные организмы реликтового и пресноводного происхождения. Их биомасса в целом находилась на относительно высоком уровне, в связи с чем в пищевом рационе хамсы преобладала *Copepoda* — 46,2%. Жирность хамсы в конце нагула как показатель подготовленности к миграции и зимовке была достаточно высокой — 25%. Средние сроки миграции и массового выхода рыбы из Азовского моря составляли соответственно 6 и 9 октября (табл. 3.7). Ход рыбы был дружным, а промысловые уловы наибольшими за весь период наблюдений. Гибель хамсы осенью в Азовском море практически не наблюдалась. Зимовки отмечались в основном у берегов Северного Кавказа от Анапы до Туапсе, и лишь в отдельные годы у берегов Крыма и Грузии [54].

Сокращение биогенного стока и увеличение солености вод в 1952—1955 гг. привели к резкому уменьшению биомассы зоопланктона, в связи с чем удельный вес веслоногих раков в рационе хамсы



Таблица 3.7

Влияние условий нагула хамсы в Азовском море на сроки миграции, промысловые усилия и распределение на местах зимовок

| Период    | Биомасса зоопланктона, мг/м <sup>3</sup> (июль—октябрь) | Жирность в конце нагула, % к сырой массе | Сроки миграции |                       | Промысловое усилие, т | Встречаемость зимовальных скоплений по районам, % |       |                     |        |      |
|-----------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|-------|---------------------|--------|------|
|           |                                                         |                                          | начало хода    | начало массового хода |                       | Анапа—Туапсе                                      | Адлер | Сухуми              | Батуми | Крым |
| 1946—1952 | 460                                                     | 26,0                                     | 6 X            | 9 X                   | $\frac{20}{3-97}$     | 80                                                | —     | Отдельные годы — 20 |        |      |
| 1953—1955 | 187                                                     | 15,2                                     | 22 X           | 25 X                  | $\frac{8}{7-10}$      | 40                                                | 30    | 15                  | —      | 15   |
| 1956—1968 | 526                                                     | 22,0                                     | 10 X           | 19 X                  | $\frac{18}{8-34}$     | 30                                                | 30    | 20                  | 10     | 10   |
| 1969—1978 | 195                                                     | 18,9                                     | 14 X           | 21 X                  | $\frac{14}{5-19}$     | 20                                                | 25    | 25                  | 25     | 5    |
| 1979—1982 | 335                                                     | 23,0                                     | 8 X            | 17 X                  | $\frac{23}{14-33}$    | 20                                                | 50    | 20                  | 10     | —    |

уменьшился почти в 3,5 раза по сравнению с таковым в предыдущий период, а основным компонентом в пище явились личинки усоногих раков, моллюсков, мизиды и полихеты, т. е. низкокалорийные и трудноусвояемые корма. Жирность хамсы в конце нагула составляла всего 15 %. Слабоупитанная хамса откармливалась в Азовском море до критических для ее жизни температур воды. В эти годы отмечалась значительная гибель хамсы в Азовском море [6, 60]. Сроки миграций были поздние (22 октября — начало хода и 25 — начало массового выхода). Рыба мигрировала мелкими разрозненными косяками, в связи с чем эффективность ее лова оказалась весьма низкой. Именно в этот период наметилась тенденция к зимовке хамсы у берегов Грузии, т. е. в более удаленных от Керченского пролива районах.

Период 1956—1967 гг. характеризовался значительным улучшением гидробиологического режима моря за счет появления многоводных лет. Биомасса зоопланктона в этот период достигла уровня бытового режима моря, однако она возросла в основном за счет морских форм зоопланктона, которые по калорийности уступают пресноводным и солоноватоводным формам. Жирность мигрирующей хамсы в среднем составляла 22 %. Сроки осенней миграции приходились в целом на среднепогодные даты — 10 октября начало выхода и 19 октября начало массовой миграции. Плотность мигрирующих скоплений была относительно высокой, гибель хамсы в Азовском море осенью не отмечалась. Зимовки хамсы наблюдались на значительной акватории от Анапы до Сухуми и даже до Батуми. Появление хамсы в водах Грузии в этот период связано не с массовыми зимовками азовской хамсы в районе Сухуми — Батуми, а с расширением зимовального ареала за счет появления в анализируемые годы высокоурожайных поколений. Зимовальный ареал сеголеток высокоурожайных поколений, в первую очередь их слабо-нагулявшейся части, может распространяться вплоть до Батуми. В целом численность зимующей хамсы в водах Грузии в эти годы была невелика.

Отрицательное воздействие изъятия речного стока на продукцию зоопланктона, а следовательно, на обеспеченность хамсы пищей наиболее ярко проявлялось в период 1968—1978 гг. Био-

масса зоопланктона в это время уменьшалась почти в три раза по сравнению с естественным режимом моря. Столь резкое ее уменьшение связано также с прогрессирующим возрастанием численности черноморских медуз, являющихся активным потребителем зоопланктона.

В связи с весьма низкой биомассой зоопланктона, несмотря на схожесть пищевого спектра хамсы с таковым в предыдущий период, ее жирность в осенний период составляла в среднем всего 18,9 %. Сроки миграций оказались сдвинутыми на более поздние даты. В 1975 и 1976 гг. отмечалась гибель хамсы осенью. В эти годы количество рыбы, зимующей в водах Грузии, составляло в среднем около 50 %, а зимой 1977 и 1978 гг. практически вся популяция азовской хамсы зимовала южнее м. Пицунда.

Период 1979—1982 гг. характеризовался резким улучшением продукционных процессов в Азовском море за счет повышения объема речного стока. Биомасса зоопланктона возросла до уровня 1968—1972 гг., а его качественная структура стала приближаться к наблюдавшейся при естественном режиме моря. Физиологическое состояние хамсы к осени значительно улучшилось. Ее жирность составляла в среднем 23 %, плотность рыб в скоплениях была относительно высокая. Сроки начала и массового хода рыбы сдвинулись в сторону ранних дат и по своим значениям приблизились к периоду до зарегулирования р. Дона. Районы зимовки азовской хамсы в последние годы находятся преимущественно у берегов Северного Кавказа (Туапсе—Адлер), и лишь незначительная часть популяции зимует у берегов Грузии.

Вывод о влиянии условий существования хамсы в Азовском море на ее распределение на местах зимовок в Черном море имеет важное значение с точки зрения оценки естественной и промысловой смертности за период жизни в Черном море. При зимовках в водах Грузии азовская хамса образует как самостоятельные, так и смешанные промысловые скопления с черноморским анчоусом. Допустимый улов азовской хамсы при промысле черноморского анчоуса может составлять не более 25 % по счету, что равно примерно 20—25 тыс. т на каждые 100 тыс. т выловленной черноморской хамсы. Если учесть, что в современный период вылавли-



вается в среднем 170—190 тыс. т черноморского анчоуса, то разрешенный прилов азовской хамсы в водах Грузии может составлять порядка 30—40 тыс. т. Указанное значение дополнительного изъятия азовской хамсы в Черном море и особенно в годы низкого запаса может привести к перелову популяции, а, следовательно, и к резкому сокращению ее улова в традиционных районах промысла — в Керченском проливе.

Такое явление наблюдалось в 1977—1978 гг. — годы массовых зимовок азовской хамсы в водах Грузии, когда ее дополнительное изъятие на промысле черноморского анчоуса достигало 50—85 тыс. т, в результате в Керченском проливе вылов снизился до 15—20 тыс. т при среднемноголетнем изъятии в этом промысловом районе 70 тыс. т.

Таким образом, в настоящее время есть все основания утверждать, что в ближайшей и отдаленной перспективе в связи с уменьшением речного стока, а следовательно, и в связи с увеличением солености вод Азовского моря пищевые потребности хамсы будут удовлетворяться неполностью. Жирность хамсы как показатель ее подготовленности к осенней миграции и зимовке вероятно на уровне ниже среднемноголетних значений. Слабо упитанная хамса будет начинать миграцию в относительно поздние сроки (вторая половина октября — начало ноября) и мигрировать относительно небольшими скоплениями. Не исключаются и годы с массовой гибелью рыбы осенью. Зимовальный ареал будет приурочен к повышенной промысловой смертности в Черном море и уменьшению численности популяции. Как следствие указанного, объем добычи азовской хамсы в традиционных районах лова — Керченском проливе и предпроливных участках морей — будет ниже среднемноголетнего (70 тыс. т), вероятно, в пределах 20—40 тыс. т.

**Тюлька** — пелагическая стайная, планктонная рыба. Это эвритермная форма, которая переносит колебания температуры воды от  $-0,5$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ . Относится к мигрирующим видам, размножается преимущественно в Таганрогском заливе, пагул и зимовка — в собственно Азовском море. Нерест тюльки начинается в апреле при температуре воды  $6^{\circ}\text{C}$ , его интенсивность возрастает с повышением температуры, и при  $15-18^{\circ}\text{C}$  становится массовым.

Продолжительность развития икринок при  $11,3^{\circ}\text{C}$  составляет 92 ч, при  $13,2^{\circ}\text{C}$  — 59 ч, а при  $18,1^{\circ}\text{C}$  — 33 ч. Нерест у тюльки порционный, она выметывает до трех порций икры.

Тюлька — эвригалинный вид. Ее икра и личинки могут развиваться при солености 0—13,1 ‰. В диапазоне солености 0—14,5 ‰ сперматозонды тюльки одинаково активны, при солености 17 ‰ и выше они погибают.

После зарегулирования Дона весенний паводок в годовом объеме стока уменьшился с 70 до 40 %, в другие сезоны приток возрос в среднем на 50 % [26, 64]. В первую очередь это сказалось на солености вод Таганрогского залива — основного нерестового района тюльки. Увеличение солености привело к ежегодному сокращению ареалов размножения этого вида, ограниченного изогалиной 7 ‰.

Сокращение зоны с благоприятной соленостью вызвало изменение распределения нерестовой по-

пуляции во время размножения и ухудшение условий ее воспроизводства, о чем свидетельствуют большие годовые колебания численности поколений. Так, поколение, численность которого была низкой (68 млрд. экз.), появилось в 1972 г. при весьма низком стоке Дона ( $8,5 \text{ км}^3$ ) в период размножения, когда тюлька концентрировалась на малой нерестовой акватории ( $1,6 \text{ тыс. км}^2$ ). Поколение 1967 г., численность которого была высокой (231 млрд. экз.), появилось при значительном распреснении мест размножения (5,5 ‰) и расширении нерестовой акватории до 3,3 тыс. км<sup>2</sup>. В годы наибольшего осолопления (1972—1976 гг.) особенно значительно сократилась акватория размножения.

Повышение солености на нерестилищах существенным образом повлияло на пополнение тюльки. Так, средняя соленость до зарегулирования (1931—1951 гг.) составляла 6,2 ‰, урожайность сеголеток колебалась от 100 до 520 млрд. экз. (в среднем 325 млрд. экз.); после зарегулирования стока рек (1952—1980 гг.), когда средняя соленость была равна 8,1 ‰, численность поколений изменялась в пределах 27—290 млрд. экз., т. е. в среднем уменьшилась почти в три раза (110 млрд. экз.).

Исследования показали наличие связи между урожайностью и температурным режимом весной на местах нереста, а также физиологическим состоянием производителей, характеризующимся их жирностью, обусловленной характером пагула в предшествующий летний сезон и условиями зимовки.

Жизнедеятельность рыб в холодный период года поддерживается за счет использования жировых запасов, накопленных во время пагула. Расходование жира во время зимовки колеблется у тюльки от 25 до 66 %, что связано как с ослаблением интенсивности питания, так и с тратой его на развитие и построение гонад.

Из приведенных данных (рис. 3.4) видно, что при относительно высокой температуре воды потери жира больше, чем при низкой. В условиях более высокой температуры рыбы подвижнее, что ведет к интенсивному расходу жировых запасов на движение, на построение и созревание половых продуктов.

Расходование энергии зимой идет только на поддержание жизнедеятельности. На местах нереста производители тюльки оказываются менее жирными при высокой температуре воды, что связано с интенсивным расходованием жировых веществ на дальнейшее созревание гонад и на сам процесс нереста.

Анализируя данные о влиянии температур воды зимой на характер расходования жировых запасов и сравнение их с численностью особей нового поколения, можно заметить, что в годы с относительно высокой температурой воды зимой и большими потерями жира у производителей тюльки численность нового поколения выше, и наоборот. Это подтверждается как количеством выловленных на нерестилищах личинок, так и результатами учета сеголетков (рис. 3.5). Вероятно, в такие годы икра рыб при ее формировании интенсивнее снабжается резервами энергетического материала. Повышенное содержание жира в икре определяет дальнейшую жизнестойкость личинок: при большем запасе питательных веществ они

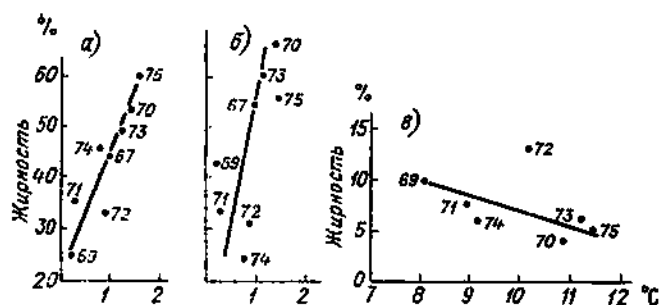


Рис. 3.4. Изменение жирности тюльки в зависимости от температуры воды (°C).

а — размерная группа 61—70 мм, б — размерная группа 71—80 мм, в — связь жирности с температурой воды на местах нереста.

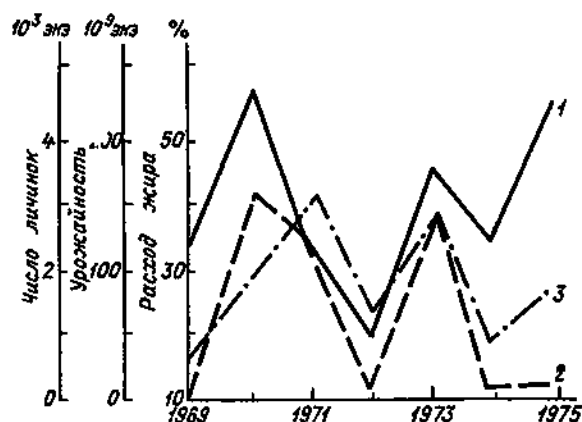


Рис. 3.5. Связь расхода жира с воспроизводительной способностью тюльки.

1 — расход жира, %; 2 — число личинок, тыс. шт.; 3 — урожайность, млрд. экз.

лучше переносят длительное вынужденное голодание, и, следовательно, их естественная смертность резко снижается.

Температура воды зимой влияет на характер жиронакопления рыб в период нагула. После теплых зим рыба подходит к нерестилищам более подготовленной к нересту, сроки икротетания сокращаются, продолжительность нагула увеличивается.

Рассматривая роль температуры воды в жизнедеятельности тюльки, нельзя не указать и на ее определяющее влияние на кормовые организмы, используемые этим видом рыб на разных этапах их жизненного цикла. Установлено непосредственное влияние характера зимы на продуктивность водоема [42, 45] (рис. 3.6).

В годы с теплой зимой в период нагула рыб биомасса зоопланктона выше. К концу периода нагула их жирность максимальна, и это определяет воспроизводительную способность стада в будущем году. Это позволяет по температурным условиям зимовки почти с двухгодичной заблаговременностью прогнозировать урожайность пополнения. Указанная связь подтверждается коэффициентом корреляции, равным  $0,72 \pm 0,17$ , и выражается уравнением регрессии

$$Y = 40,95 + 67,61X,$$

где  $Y$  — урожайность сеголетков, млрд. экз. в учетном году;  $X$  — средняя температура воды в предшествующие два года.

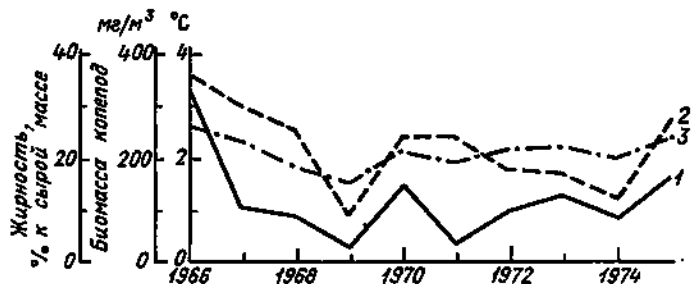
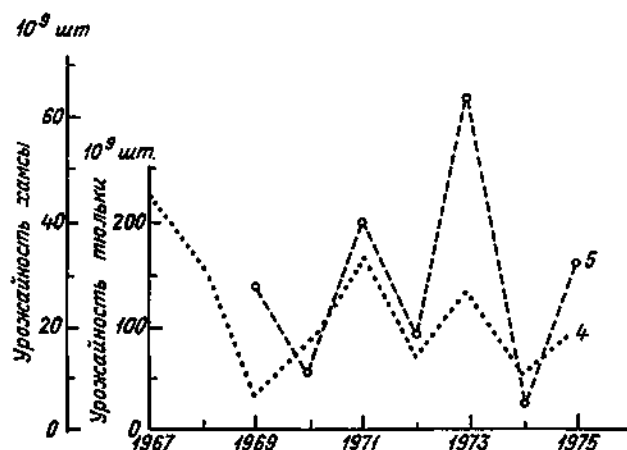


Рис. 3.6. Изменения температуры воды  $t$  на местах зимовки (декабрь — февраль) (1), биомассы копепоид в море летом (июнь — август) (2), жирности тюльки (3) и урожайности сеголетков тюльки (4) и хамсы (5).

С учетом определяющего влияния температуры и солености воды на местах зимовки и нереста построена математическая модель количественного соотношения этих независимых переменных с урожайностью сеголетков. С этой целью использованы материалы за 1954—1980 гг., уравнение имеет следующий вид:

$$Y = 43,44X_1 + 0,33X_2 - 7,75X_3 - 87,74,$$

где  $Y$  — урожайность сеголетков, млрд. шт.;  $X_1$  — средняя за зиму температура воды в предшествующие два года;  $X_2$  — сумма температур воды на местах размножения в мае;  $X_3$  — соленость в восточной части залива в период икротетания.

Дана оценка влияния различных абиотических и биотических факторов на урожайность тюльки (рис. 3.7, 3.8).

Колебания запасов азовской тюльки наблюдаются ежегодно (рис. 3.9): ее наибольшая биомасса отмечалась в 1949 г. (710 тыс. т) и в 1959 г. (890 тыс. т); в остальные годы запасы варьировали от 230 до 660 тыс. т. Необходимо отметить, что минимальная биомасса (230—250 тыс. т) отмечалась как в период до зарегулирования, так и после него. Однако начиная с 1959 г. наблюдается устойчивая тенденция понижения запасов.

Представленные материалы по биомассе и урожайности распределены по следующим периодам: 1931—1951 гг. (до зарегулирования Дона), 1952—1955 гг. (после зарегулирования Дона), 1956—1969 гг. (восстановительный период) — и, наконец, два периода современного режима: 1970—1977 (с маловодными годами) и 1978—1981 гг. (с многоводными годами) (табл. 3.8).

Как показывают приведенные данные, после зарегулирования Дона происходит снижение уро-

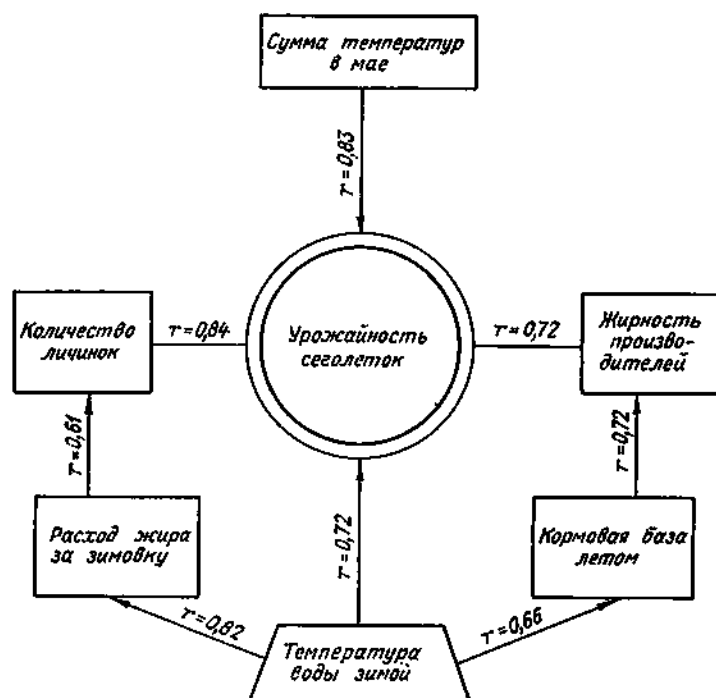


Рис. 3.7. Влияние абиотических и биотических факторов среды на урожайность тюльки.

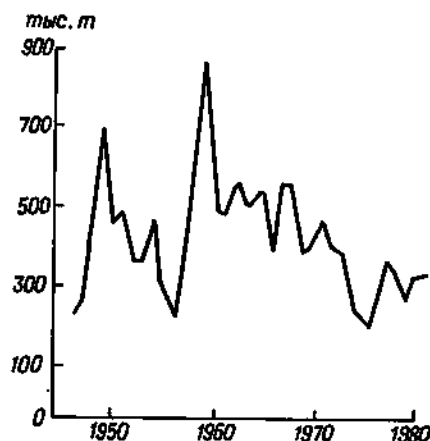


Рис. 3.9. Колебания запасов тюльки.

Таблица 3.8

| Период    | Суммарный сток Дона и Кубани, км³ | Масса, тыс. т | Урожайность, млрд. экз. |
|-----------|-----------------------------------|---------------|-------------------------|
| 1931—1951 | 40,6                              | 460           | 325                     |
| 1952—1955 | 32,9                              | 390           | 145                     |
| 1956—1969 | 35,8                              | 530           | 120                     |
| 1970—1977 | 27,4                              | 360           | 110                     |
| 1978—1981 | 40,5                              | 390           | 85                      |
| 1982—1986 | 29,7                              | 450           | 120                     |

жайности и запаса тюльки. Увеличение биомассы в 1956—1969 гг. объясняется отсутствием промысла с 1956 по 1964 г. и появлением высокоурожайных поколений в 1956, 1963 и 1967 гг. В последнее десятилетие отмечается уменьшение запасов за счет ухудшения условий обитания в море и появления низкоурожайных поколений, особенно в период интенсивного осолонения, вследствие чего сокращались районы размножения и снижалась биомасса кормового зоопланктона.

Распад зимовальных скоплений, которые наблюдаются в центральных районах моря, происходит в марте, но в разные годы при разных значениях температуры воды от 1,1 до 4,0 °C. Связано это с тем, что начало нерестовых миграций определяет температурный режим зимы. Между этим режимом и температурой воды, при которой начинаются миграции, обнаруживается обратная зависимость (рис. 3.10). Созревание гонад тюльки

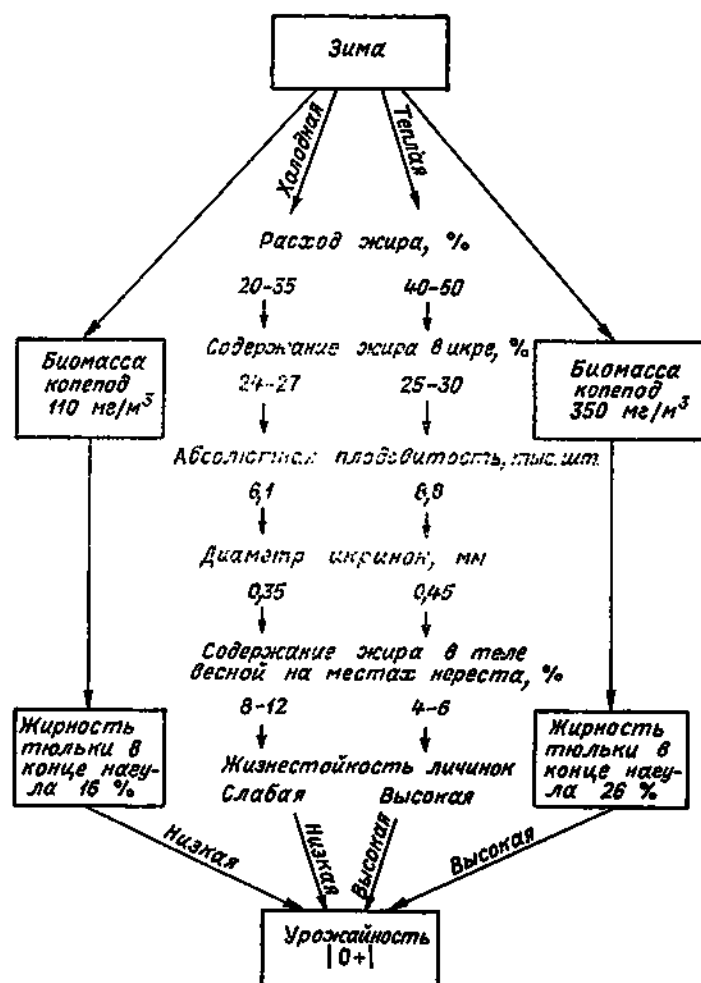


Рис. 3.8. Влияние характера зимы на урожайность тюльки.

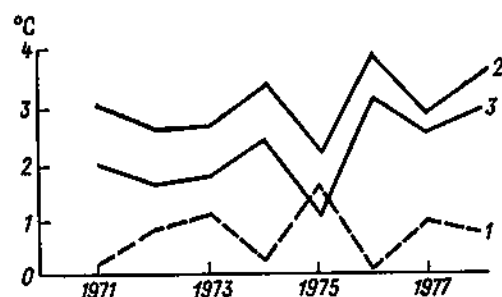


Рис. 3.10. Связь зимней температуры (°C) воды (1) с температурой, при которой распадаются скопления годовиков (2) и особой тюльки старших возрастов (3).

происходит в период зимовки, к концу которой зрелость гонад у старших рыб близка к IV стадии, а у годовиков — к III стадии. Однако интенсивность развития половых желез зависит от термических условий зимовки. В условиях более высокой температуры воды рыбы подвижнее, что ведет к интенсивному расходу жировых запасов на движение и созревание половых продуктов. Поэтому при теплых зимах уменьшение концентраций рыб происходит раньше, чем при более низкой температуре, и наоборот. У младших рыб (годовиков) распад скоплений происходит несколько позже и при более высокой, чем у старших, температуре. Таким образом, в зависимости от условий зимовки меняются сроки подходов тюльки к нерестилищам. Структура нерестового стада тюльки определяется соотношением пополнения и остатка. Пополнение зависит от урожайности поколения прошлого года, условий зимовки сеголеток, а также от интенсивности их отлова промыслом в зимнюю путину. На остаток помимо указанных причин оказывают влияние элиминирующие факторы — посленерестовая гибель, потребление хищниками, болезни и т. д.

Общее соотношение полов в популяции близко 1:1. Однако вследствие более раннего созревания самцов и меньшей продолжительности их жизни они преобладают среди рекрутов, а с увеличением длины и возраста наблюдается численное превосходство самок, которые в старшей возрастной группе (5-летки) составляют 100 %. Особенности размерно-половой структуры стада показаны по методу Ю. Е. Лапина [41]. Численность самцов и

самок выражена площадью геометрических фигур (рис. 3.11). При соотношении полов, близком 1:1, самцы мельче самок (средняя длина самцов 47,7 мм, самок — 66,8 мм). При сравнении длины самцов и самок видно, что среди мелких рыб средней и старшей возрастных групп самки крупнее самцов и в последней части ряда самок больше, что объясняется большей продолжительностью жизни и более высоким темпом роста самок. Повидимому, особи этих возрастных групп в воспроизводстве имеют главенствующую роль.

Первыми нерестовые миграции в восточную часть залива начинают крупные и более взрослые особи, несколько позже подходят более мелкие и молодые. Во время нереста производители объединяются по общности биологических признаков, в том числе и размеров, а так как самки у тюльки растут быстрее самцов, то среди более крупных рыб, нерестующих в восточном районе, преобладают самки, в центральном, где нерестятся средние по размерам особи, соотношение полов выравнивается, а в западном — среди мелких производителей преобладают самцы (рис. 3.14). Эта закономерность в ходе нереста частично нарушается, поскольку происходит отход старших и ранее отнерестовавших производителей. Таким образом, в восточной части залива размножаются наиболее крупные производители, с высокой индивидуальной плодовитостью и высоким качеством половых продуктов.

Изучение распределения тюльки по длине в разных частях залива показало, что в восточном районе как в апреле, так и в мае преобладают крупные особи, а в центральном и особенно в западном — мелкие рыбы. Подходы годовиков наблюдаются позже крупных рыб, обычно в мае. В августе средние размеры и возраст рыб в заливе снижаются, так как к этому времени появляются сеголетки (рис. 3.12).

Структура популяции рыб с коротким циклом жизни «жестко» связана с условиями существования [41], колебания которых непосредственно отражаются на соотношении полов, на скорости наступления половой зрелости [51]. Растяннутость нереста и порционность икрометания у тюльки определяют появление во время одного нерестового сезона нескольких отличающихся по времени вылупления и по размерам групп личинок, или генераций. Особи от раннего нереста, входящие в первые генерации, к концу нагула имеют наибольшую длину и массу (рис. 3.13). При этом прослеживается зависимость между ростом массы сеголеток и численностью впервые созревающих особей. Так, наименьшее пополнение отмечено

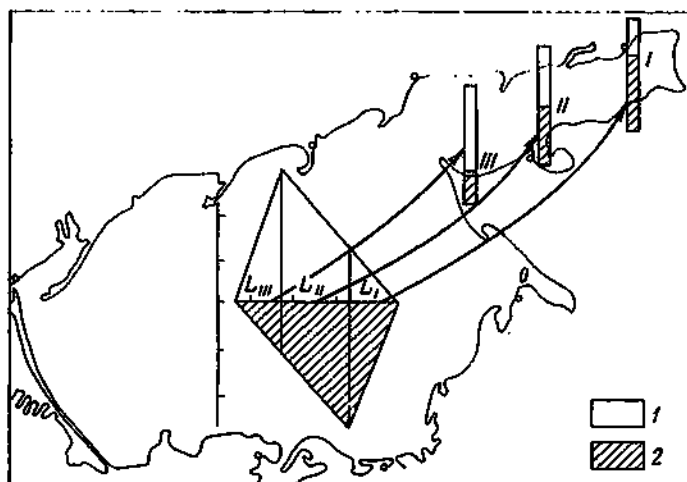


Рис. 3.11. Соотношение рыб разного размера и пола и схема формирования нерестовых стад тюльки.

$L_{II}$  — мелкие,  $L_{III}$  — средние,  $L_I$  — крупные рыбы; 1 — самцы; 2 — самки.

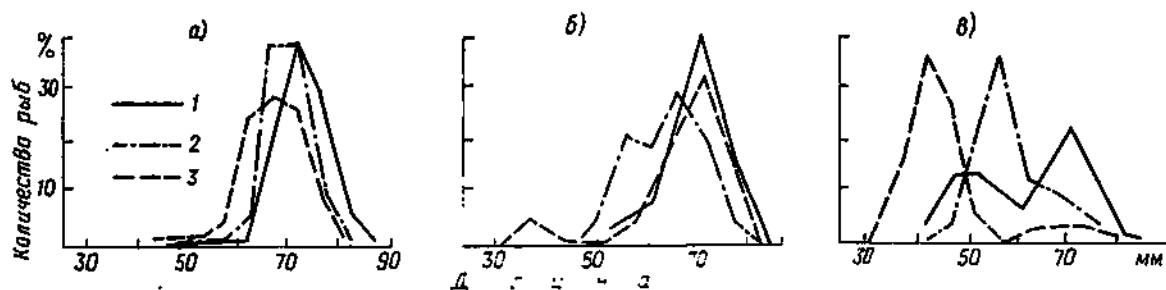


Рис. 3.12. Состав стад тюльки в зависимости от размера на нерестилищах Таганрогского залива.

а — восточная часть залива ( $n = 1982$  экз.), б — центральная ( $n = 1969$  экз.), в — западная ( $n = 2476$  экз.); 1 — апрель, 2 — май, 3 — август.

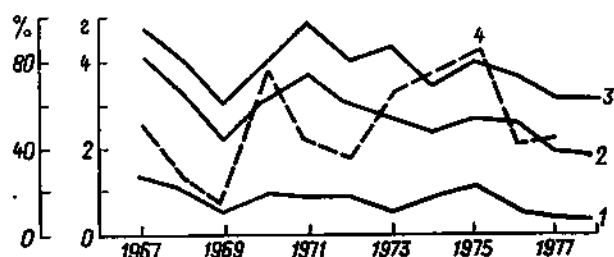


Рис. 3.13. Весовая характеристика тюльки разных возрастных групп в конце нагула в разные годы.

1 — средняя масса (г) сеголетков, 2 — двухлеток, 3 — трехлеток, 4 — количество рекрутов в мае следующего года, % от общей численности годовиков.

в 1970 г., когда условия нагула 1969 г. были неудовлетворительными, что отразилось на росте молоди. Особенности нагула сеголеток влияют на число половозрелых годовиков, численность которых колеблется по годам от 16 до 90 %.

При высокой кормовой базе линейные и весовые показатели тюльки значительно выше, чем в годы с низкой биомассой зоопланктона, что отражается на пополнении нерестового стада.

Таким образом, повышение солености моря приводит к сокращению нерестовых площадей тюльки, в результате чего чаще появляются низкоурожайные поколения, отмечается уменьшение запасов, особенно в период интенсивного осолонения.

Характер зимы определяет сроки распада зимовальных скоплений, начало нерестового хода, интенсивность посленерестового нагула и в целом эффективность воспроизводства.

Бычки в экосистеме Азовского моря занимают существенное место, являясь массовыми бентофагами. В свою очередь они являются важным ком-

понентом питания хищных рыб (судак, осетровые, камбала) и важным объектом промысла. Из 16 видов бычков, обитающих в Азовском море, самым многочисленным является бычок-кругляк, на долю которого в современный период приходится 81 % общей биомассы бычков.

Бычок-кругляк — абориген Азовского моря, типичный представитель солоноватоводного понтического фаунистического комплекса. Его жизненный цикл 4 года [40, 62]. Общая смертность на первом году жизни — 47 % [70]. Половозрелыми бычки становятся в конце первого — начале второго года жизни. Длина их в этом возрасте 5,5 см. Размножаются они в течение жизненного цикла 1—2 раза [70]. Массовый нерест происходит весной, однако сроки его растянуты до июля включительно, отдельные особи нерестятся и в августе. Воспроизводство популяции бычков базируется главным образом на поколении годовиков [57].

Рассматривая динамику биомассы бычка-кругляка за 1953—1977 гг., можно отметить, что она также не была стабильной и изменялась в широких пределах от 10,4 до 184,6 тыс. т (табл. 3.9). В эти годы отмечено два периода, существенно различающихся по уровню воспроизводства бычка, а следовательно, по темпу пополнения запаса, его состоянию и уловам.

Первый из них охватывает 1953—1966 гг. и совпадает со временем изменений режима моря под влиянием зарегулирования и сокращения стока р. Дона, а также становления нового режима моря, нового уровня развития биологических процессов. Несмотря на указанные преобразования, отмечавшиеся в экосистеме, условия воспроизводства и обитания бычков были благоприятными (произошло уплотнение грунтов, увеличились ареалы нагула и размножения, биомасса донной эпифауны

Таблица 3.9

Статистические характеристики некоторых показателей популяции бычка-кругляка

| Показатель            | Период                 | Минимум | Максимум | $\bar{x}$    | $\sigma$ | $C_v$ | $C_s$ | $E$   |
|-----------------------|------------------------|---------|----------|--------------|----------|-------|-------|-------|
| Биомасса, тыс. т      | 1953—1977<br>1972—1977 | 10,0    | 184,6    | 78,9<br>25,1 | 47,9     | 0,61  | 0,24  | 0,92  |
| Продукция, тыс. т     | 1953—1977<br>1972—1977 | 23,1    | 176,3    | 91,1<br>31,9 | 48,1     | 0,53  | —0,04 | —1,23 |
| Численность, млн. шт. |                        |         |          |              |          |       |       |       |
| общая                 | 1953—1957<br>1972—1977 | 72,1    | 10 118   | 4859<br>2169 | 2463     | 0,51  | 0,06  | —0,79 |
| сеголеток             | 1953—1977<br>1972—1977 | 258,0   | 36 620   | 8400<br>5784 | 7137     | 0,85  | 2,84  | 7,8   |

Таблица 3.10

Средние параметры популяции бычка-кругляка по данным учетных съемок в июле

| Показатель                  | 1957—1962 гг. |     |     | 1963—1969 гг. |    |     | 1970—1973 гг. |    |     | 1974—1977 гг. |    |    |
|-----------------------------|---------------|-----|-----|---------------|----|-----|---------------|----|-----|---------------|----|----|
| Общая численность, млн. шт. | 7270          |     |     | 4488          |    |     | 2173          |    |     | 2280          |    |    |
| Биомасса, тыс. т            | 102,6         |     |     | 78,8          |    |     | 25,8          |    |     | 26,1          |    |    |
| Ареалы, % от площади моря   | 86            |     |     | 72            |    |     | 60            |    |     | 43            |    |    |
| Возрастные группы           | 1+            | 2+  | 3+  | 1+            | 2+ | 3+  | 1+            | 2+ | 3+  | 1+            | 2+ | 3+ |
| Численность групп, %        | 65            | 31  | 4   | 62            | 35 | 3   | 79            | 19 | 2   | 80            | 18 |    |
| Длина, мм                   | 81            | 104 | 112 | 75            | 97 | 105 | 78            | 91 | 101 | 75            | 91 |    |
| Масса, г                    | 15            | 32  | 39  | 12            | 24 | 29  | 13            | 19 | 25  | 12            | 19 |    |

беспозвоночных и др.), что обусловило весьма быструю и интенсивную вспышку в их развитии. Популяция бычка-кругляка формировалась из урожайных поколений, которые имели хороший линейно-весовой рост, что привело к росту его запаса и биомассы. Средняя биомасса составила 116 тыс. т.

Улучшение состояния запасов бычка, которые в этот период достигли максимального уровня, а также внедрение с 1954 г. активного лова сейнерным флотом, вооруженного эффективными орудиями — механизированными драгами [62], — позволило увеличить районы и сроки промысла и привело к значительному росту добычи. Максимальный вылов бычка-кругляка отмечался в 1958 г. и составил 91,6 тыс. т. В 1959—1966 гг. уловы бычка снизились и стабилизировались на уровне 50—60 тыс. т. Средний за этот период вылов составил 44,3 % годовой продукции.

Преобразование и уменьшение кормовых ресурсов, а также ареалов нагула сопровождались изменением спектра и интенсивности питания бычка,

снижением темпов его роста. В 1974—1977 гг. средняя длина и масса бычка-кругляка по сравнению с таковыми в предшествующие годы снижались (табл. 3.10).

И. Ф. Ковтун [39], изучая причины смертности азовских бычков, установил, что в настоящее время промысел изымает в среднем 5 % численности поколений, а гибель от естественных причин составляет около 62 %. Необходимость перераспределения этого соотношения очевидна. Учитывая изложенное, а также материалы по характеристике промысла бычка-кругляка, можно полагать, что вылов в размере 50 % его биомассы может быть доступным.

Другие виды бычков имеют весьма ограниченное промысловое значение, хотя и являются важным компонентом экосистемы, участвуя в круговороте вещества и являясь объектами питания осетровых, судака, камбалы. В связи с их небольшим хозяйственным значением биология и динамика численности этих объектов не рассматриваются.

#### 4. ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АЗОВСКОГО МОРЯ ДЛЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА РЫБ

Изложенное ранее свидетельствует о том, что речной сток, составляя в современных условиях десятую часть объема Азовского моря, во взаимодействии с температурой и ветром формирует его физико-химический и гидробиологический облик. В настоящее время сток основных рек бассейна Азовского моря поддается сезонному и многолетнему регулированию. Следовательно, регулируя сбросы речных вод из Цимлянского и Краснодарского водохранилищ, можно в определенной степени управлять экосистемой бассейна Азовского моря в целом.

Для определения оптимального и экологически допустимого водного режима на русловых, пойменных и лиманных нерестилищах были выполнены специальные исследования по оценке и моделированию зависимости эффективности воспроизводства от колебаний абиотических факторов (речной сток, температурный режим, соленость и др.) в различные фазы онтогенеза и жизни рыб в Азовском море. В дальнейшем путем численных экспериментов, а также с помощью сравнительного анализа были определены гидрографы рыбохозяйственных попусков из Цимлянского и Краснодарского гидроузлов. Для Дона эта задача решалась В. Г. Дубининой, для Кубани — Ю. М. Гаргопа и С. В. Козлиной [11, 17—20, 25, 26].

В результате этих исследований были сделаны следующие выводы.

Весенний сток Дона (с 1 марта по 10 июня), обеспечивающий благоприятные условия для размножения на донских пойменных нерестилищах судака и леща и удовлетворяющий требованиям воспроизводства осетровых, составляет 14,5 км<sup>3</sup>. Минимальный рыбохозяйственный попуск — 12,2 км<sup>3</sup>. Годовой объем стока Дона должен быть на уровне соответственно не менее 20,0 и 17,6 км<sup>3</sup>. Согласно выполненным проработкам, оптимальный рыбохозяйственный попуск в низовья р. Дона характеризуется следующими показателями [11, 25, 26].

1. Начиная с даты перехода температуры воды через 1°C расход в реке должен постоянно повышаться с тем, чтобы к началу наступления нерестовых температур (9°C) в створе станции Раздорской он достиг 2000 м<sup>3</sup>/с.

2. Затопление займищ должно производиться постепенно с достиганием максимальных площадей и расходов (3200 м<sup>3</sup>/с) к периоду активного питания молоди (15—20 мая).

3. В последующие 8 сут (с 21 по 29 мая) до перехода температуры воды Дона через 19,5°C расходы должны быть снижены до 1800 м<sup>3</sup>/с. Среднепаводочный расход с 10 апреля по 31 мая при данном режиме водоподдачи составит 2600 м<sup>3</sup>/с.

4. К 10 июня сброс воды из Цимлянского водохранилища необходимо довести до навигационных попусков.

5. Общая продолжительность обводнения займищ должна быть не менее 50 сут.

Приведенные выше сроки наступления нерестовых температур, начало и конец затопления займищ указаны для средних условий. В каждом конкретном году в зависимости от складывающейся гидрометеорологической обстановки координаты гидрографа должны соответствующим образом корректироваться [11, 25, 26].

Оптимальные для рыб условия в гидрографической сети р. Кубани формируются при рыбохозяйственных попусках из Краснодарского гидроузла в январе—августе 8,0—8,1 км<sup>3</sup> (в том числе сток в Азовское море по Казачьему ерику, Петрушину рукаву, Протоке в апреле—августе около 6,0 км<sup>3</sup>, сток в Центральные и Ахтарско-Гривенские лиманы — 2,0 км<sup>3</sup>), а экологически допустимые — при попуске 5,4—5,5 км<sup>3</sup> (в том числе сток в Азовское море — 4,2 км<sup>3</sup>, в лиманы — 1,3—1,4 км<sup>3</sup>). Оптимальный для воспроизводства проходных и полупроходных рыб Азовского моря и развития товарного рыболовства в русловой сети и дельтовых лиманах годовой сток р. Кубани равен 10 км<sup>3</sup>, из которых примерно 7,2 км<sup>3</sup>, или 72 %, —

должен составлять сток в апреле—августе. Минимальный объем годового стока р. Кубани должен быть не менее  $7,2 \text{ км}^3$  [17—20].

В соответствии с особенностями воспроизводства осетровых оптимальный для него объем попусков по устьям в море ( $6,0 \text{ км}^3$  в апреле—августе) должен иметь следующее внутригодовое распределение.

В первых числах апреля, когда производители севрюги начинают мигрировать из моря в устья Кубани, суммарные расходы в них следует довести до  $350 \text{ м}^3/\text{с}$ . В первой десятидневке мая в связи с началом массового хода осетровых к местам размножения попуски по устьям в море должны составлять уже  $465 \text{ м}^3/\text{с}$ . Сток по устьям в море для формирования в его прибрежной части благоприятных условий выживания и нагула молоди рыб, скатившейся с нерестилищ и выращенной осетровыми заводами, должен быть максимальным ( $580—600 \text{ м}^3/\text{с}$ ) во второй и третьей декадах июня. В конце августа в связи с уменьшением интенсивности размножения и ската молоди осетровых расходы воды по устьям Кубани в море можно снизить до  $270 \text{ м}^3/\text{с}$ . Удовлетворительные условия в гидрографической сети и на взморье р. Кубани формируются при попуске по устьям собственно Кубани и Протоки, равном около  $4,2 \text{ км}^3$ . Наиболее значительный ( $350—360 \text{ м}^3/\text{с}$ ) вынос воды непосредственно в море следует поддерживать в мае—июле, когда наблюдается массовый ход производителей, пик нереста и скат основной части молоди осетровых. Расходы воды в апреле и августе составляют  $250$  и  $240 \text{ м}^3/\text{с}$  соответственно.

В дальнейшем в соответствии с экологическими особенностями нерестовых миграций производителей рыба и шемаи, а также вследствие усиления в последнее время миграций в реку осетровых в первой половине осени среднемесячные расходы воды в сентябре должны поддерживаться на уровне  $175 \text{ м}^3/\text{с}$ , в октябре —  $135 \text{ м}^3/\text{с}$ . С ноября по март во время нерестовых миграций рыба и шемаи среднемесячные расходы воды уменьшаются до  $85 \text{ м}^3/\text{с}$  [17—20].

В соответствии с особенностями естественного воспроизводства судака и тарани попуск в Центральные и Ахтарско-Гривенские лиманы объемом  $2,0—2,1 \text{ км}^3$  осуществляется следующим образом.

Основную часть суммарного притока пресных вод ( $78—80\%$ ) должен составлять сток в наиболее важный для естественного воспроизводства судака и тарани период: январь—июнь, когда происходят весенние миграции этих рыб, нерест, развитие икры, появление личинок и массовый скат молоди из лиманов в Азовское море. Причем в течение первых трех месяцев необходимо подавать около  $520—540$  млн.  $\text{м}^3$  воды для заполнения лиманов в целях создания благоприятных для начала нереста глубин и солености. Наибольший расход речной воды следует поддерживать соответственно в мае ( $155 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и июне ( $165 \text{ м}^3/\text{с}$ ) для формирования благоприятных гидролого-гидрохимических условий продолжающегося нереста, инкубации икры, развития личинок, массового ската молоди судака и тарани, создания для нее опресненных участков в предгирловых пространствах, покрытия значительных потерь на испарение и транспирацию растительностью. В дальней-

шем расходы воды уменьшаются и в сентябре—декабре находятся в пределах  $8—16 \text{ м}^3/\text{с}$ . Подача речных вод в это время необходима для обеспечения осеннего хода производителей судака и тарани из моря в лиманы [17—20].

Минимально допустимый попуск в рассматриваемые системы лиманов в исключительно маловодные годы принят равным  $1,3—1,4 \text{ км}^3$  с сезонным распределением, близким к оптимальному. К началу нереста приток речных вод в Центральные и Ахтарско-Гривенские лиманы должен составить не менее  $500$  млн.  $\text{м}^3$ . Остальную часть следует подавать в апреле—июне с максимумом расхода воды в мае. Во втором полугодии водоснабжение с расходом  $14—15 \text{ м}^3/\text{с}$  возобновляется лишь в период осеннего хода производителей судака и тарани [17—20].

Использование лиманов не только для воспроизводства полупроходных рыб, но и для выращивания товарной рыбы вызывает необходимость некоторой корректировки режима подачи воды в Центральные и Ахтарско-Гривенские системы лиманов. Основным требованием промысловых видов рыбы к гидрологическому режиму лиманов является поддержание в них постоянного уровня воды.

С помощью математического моделирования был уточнен оптимальный гидрограф водоснабжения лиманов в условиях их комплексного использования.

Основная масса воды (около  $70\%$  от годового) должна подаваться в Центральные и Ахтарско-Гривенские лиманы в первой половине года. Минимальная водоподача (несколько больше  $10\%$  от годового количества) осуществляется в период сентябрь—декабрь. Оптимальный попуск в Ахтарско-Гривенские и Центральные лиманы принят на том же уровне, что и в разработанном гидрографе попусков только для воспроизводства полупроходных рыб ( $2,1 \text{ км}^3/\text{год}$ ).

При всех низконапорных плотинах на Дону и Кубани должны быть построены обходные рыбоходно-нерестовые каналы. Должна быть предусмотрена ежегодная гидромеханическая очистка наиболее эффективных естественных нерестилищ, расположенных в межплотинных участках. Должны быть разработаны правила эксплуатации рыбопропускных сооружений (обходные каналы, рыбопропускные шлюзы и рыбоподъемники) при одновременном использовании всех низконапорных плотин в целях пропуска производителей осетровых рыб, где при минимальных объемах стока могут быть созданы благоприятные условия для нереста (глубина, скорость течения и т. д.) [11, 25, 26].

Таким образом, в целом суммарный попуск на расположенные в низовьях рек Дона и Кубани русловые, лиманные и пойменные нерестилища проходных и полупроходных рыб Азовского моря, для обеспечения благоприятных условий их размножения и миграций в гидрографической сети составляет около  $30 \text{ км}^3/\text{год}$ . Примерно половина этого объема ( $15,5 \text{ км}^3$ ) приходится на период апрель—май. В это время происходит массовый заход в реки производителей и пик нереста большинства видов рыб в гидрографической сети, поймах, лиманах и начало ската в море их молоди. Минимальный объем годового стока рек Дона и



Таблица 4.1

Внутригодовое распределение стока рек Дона и Кубани, обеспечивающее благоприятные условия для размножения проходных и полупроходных рыб Азовского моря на русловых, пойменных и лиманных нерестилищах, км<sup>3</sup>

| Вид попуска    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Год  |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| р. Дон         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Оптимальный    | 0,45 | 0,44 | 1,08 | 5,01 | 7,52 | 2,03 | 1,24 | 0,45 | 0,44 | 0,45 | 0,44 | 0,45 | 20,0 |
| Минимальный    | 0,45 | 0,44 | 1,08 | 4,08 | 6,09 | 1,30 | 1,24 | 0,45 | 0,44 | 0,45 | 0,44 | 0,45 | 17,6 |
| р. Кубань      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Оптимальный    | 0,34 | 0,40 | 0,56 | 1,26 | 1,70 | 1,77 | 1,43 | 1,06 | 0,51 | 0,42 | 0,29 | 0,28 | 10,0 |
| Минимальный    | 0,32 | 0,36 | 0,44 | 1,03 | 1,30 | 1,20 | 1,06 | 0,53 | 0,25 | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 7,2  |
| Суммарный сток |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Оптимальный    | 0,79 | 0,84 | 1,64 | 6,27 | 9,22 | 3,80 | 2,67 | 1,51 | 0,95 | 0,87 | 0,73 | 0,73 | 30,0 |
| Минимальный    | 0,77 | 0,80 | 1,52 | 5,11 | 7,39 | 2,50 | 2,30 | 0,98 | 0,69 | 0,71 | 0,68 | 0,70 | 24,8 |

Кубани для обеспечения указанных выше целей ориентировочно должен быть не ниже 24,8 км<sup>3</sup>/год, из которых, так же как и в случае формирования благоприятных условий, примерно половину (12,5 км<sup>3</sup>) должен составлять сток в апреле—мае (табл. 4.1).

В то же время суммарный годовой сток Дона и Кубани 30 км<sup>3</sup>, формируя благоприятные условия размножения проходных и полупроходных рыб в низовьях рек, не оптимизирует условия обитания рыб в Азовском море.

На основе данных п. 2.2 и 3.1 верхней границей солености, неблагоприятной для генеративно-пресноводных и солоноватоводных рыб, и нижней границы солености, неблагоприятной для генеративно-морских рыб, считаются следующие значения солености: для осетровых до 14—15 ‰, рыбца до 10 ‰, шемаи 13 ‰, сельди 17 ‰, судака 7—8 ‰ (сеголетки) и до 10,5 ‰ (крупные рыбы), тарани до 11 ‰ (сеголетки) — 12 ‰ (другие возрастные группы), чехони до 6 ‰ (сеголетки) — 9 ‰ (половозрелые особи), тюльки 14 ‰, бычка-кругляка 13 ‰, бычка сирмана 14 ‰, бычка-песочника 11 ‰, хамсы и атерины более 8 ‰, бычка-мартовника более 9 ‰. Благоприятной для калкана принята соленость 11—15 ‰, а для нерестовых популяций тюльки и бычка-кругляка соответственно 2—7 и 10—12 ‰. При колебаниях солености Азовского моря наибольшим изменениям в нем подвергаются ареалы генеративно-пресноводной и солоноватоводной фауны. Так, акватория, доступная полупроходным рыбам при средней солености 10 ‰, равна всей площади водоема, а при 12 ‰ и более она составляет лишь 1—5 тыс. км<sup>2</sup>, или примерно 2—13 % акватории Азовского моря. Ареалы половозрелых рыб представителей солоноватоводной фауны изменяются в меньшей степени. Так, при солености 9—13,5 ‰ они способны осваивать весь водоем, при 14—15 ‰ — только 66 % его акватории. Площадь, пригодная для размножения, имеет наибольшие размеры только при солености 10—11 ‰. При подобной солености суммарные ареалы всех представителей фаунистических комплексов будут наибольшими.

По данным исследований [15], где в качестве основного критерия антропогенного воздействия на уровень продуцирования биоты Азовского моря избрана соленость его вод, Азовское море может быть высокопродуктивным при солености 9,0—10,5 ‰, продуктивным при солености 10,6—11,5 ‰,

среднепродуктивным — при 11,6—12,5 ‰. При солености 12,6—14,0 ‰ Азовское море становится низкопродуктивным. Экосистема Азовского моря образуется фактически тремя подсистемами, занимающими акватории с определенной соленостью воды: 0—3 (5) ‰, где господствуют организмы пресноводного происхождения; 3(5) — 8(11) ‰, где преобладают реликтовые, а также эвригалмные организмы пресноводного и морского комплексов; более 8(11) ‰ — зона, в пределах которой резко доминируют организмы морского происхождения, в некоторых случаях локально могут иметь место относительно большие всплески реликтовых животных и растений. Наибольшая продуктивность всей экосистемы моря будет тогда, когда солевые условия водоема позволяют организмам всех трех генетических комплексов иметь наибольший ареал. Такие условия формируются при солености 9,5—11,5 ‰. В соответствии с минимальными уравнениями ограничений параметров управления продуктивностью экосистемы Азовского моря реально допускать колебания его средней солености в пределах 9—12,5 ‰, поддерживая ее предпочтительно в диапазоне 10—11,5 ‰. Именно при такой солености продуктивность экосистемы в современных условиях была бы наибольшей.

Как было показано в соответствующих разделах части II, касающихся оценки солености моря, при суммарном стоке Дона и Кубани, равном 30 км<sup>3</sup>/год, среднегодовая соленость Азовского моря в среднем составит 12,8 ‰ при возможных колебаниях в отдельные годы от 11,8 до 14,3 ‰. Это значительно превышает не только оптимальную соленость (10—11 ‰), но и ее современные (1969—1986 гг.) значения (в среднем 12,3 ‰ при колебаниях от 10,9 ‰ в 1982 г. до 13,8 ‰ в 1976 г.). Среднегодовая соленость Таганрогского залива составит в среднем 8,6 ‰ при вероятных колебаниях в отдельные годы 5,5—12,1 ‰, а среднегодовая соленость собственно Азовского моря соответственно 13,2, 12,1 и 14,6 ‰.

Таким образом, суммарный годовой сток Дона и Кубани 30 км<sup>3</sup>, формируя благоприятные условия размножения проходных и полупроходных рыб на русловых, пойменных и лиманных нерестилищах (при условии удовлетворения требований рыбного хозяйства к внутригодовому распределению), не оптимизирует солевые условия жизни указанных видов рыб в самом Азовском море. Рассчитанные с помощью уравнений площади зон



Таблица 4.2

Речной сток, необходимый для формирования различной продуктивности Азовского моря

| Продуктивность     | Соленость, ‰ | Приток речных вод, км <sup>3</sup> /год |                          |
|--------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------------------|
|                    |              | Дон и Кубань                            | Дон, Кубань и малые реки |
| Высокопродуктивная | 9—10,5       | 48,5—40,5                               | 50,6—42,6                |
| Продуктивная       | 10,6—11,5    | 40,0—35,0                               | 42,1—37,1                |
| Среднепродуктивная | 11,6—12,5    | 34,5—30,0                               | 36,6—32,1                |
| Низкопродуктивная  | 12,6—14,0    | 29,0—22,0                               | 31,1—24,1                |

Следствием качественных и количественных преобразований стока и гидрографической сети рек явились соответствующие изменения гидрологического и гидрохимического режимов Азовского моря.

Следует отметить, что уже сейчас годовой сток Дона и Кубани в Азовское море находится на уровне, приближающемся к минимально допустимому, и при внутригодовом распределении, не отвечающем требованиям рыбного хозяйства.

В последние годы XX в. следует ожидать еще большего увеличения использования речного стока и в первую очередь на нужды орошаемого земледелия. К 2000 г. площади, занятые под орошаемое земледелие в бассейне Азовского моря, намечено увеличить до 3,8—3,9 млн. га, т. е. более чем вдвое по сравнению с современными. По данным ГГИ, сокращение стока рек в бассейне Азовского моря под влиянием хозяйственной деятельности составит на уровне 1986—1990 гг. — 16 км<sup>3</sup>/год, 1991—2000 гг. — 19 км<sup>3</sup>/год, 2001—2010 гг. — 22 км<sup>3</sup>/год. Это обстоятельство определяет сокращение притока речных вод в Азовское море к 2001—2010 гг. до 22,8—19,5 км<sup>3</sup>, невозможность осуществления рыбохозяйственных попусков, повышение солености азовоморских вод почти до уровня черноморских и потерю рыбохозяйственной ценности Азовского моря.

В связи с этим необходима реализация комплекса радикальных мер по улучшению состояния экосистемы бассейна Азовского моря.

Безвозвратное водопотребление в бассейне не должно превышать 7—9 км<sup>3</sup>/год. Между тем вследствие экстенсивного использования водных ресурсов оно уже сейчас, по расчетам ГГИ, составляет 12—14 км<sup>3</sup>/год. Следует отметить, что непосредственное измерение водопотребления практически отсутствует. Нормы стока рек, используемые при подготовке различных схем и технико-экономических обоснований, отличаются более чем на 3 км<sup>3</sup>/год. Сохранение современной практики использования водных ресурсов приведет к еще большему обострению межотраслевых и внутриотраслевых противоречий в требованиях к объему и внутригодовому распределению стока рек и, как следствие, к дальнейшему углублению негативных для рыбного хозяйства тенденций изменения режима Азовского моря.

с соленостью 0—9 ‰ составят в среднем 3,4 тыс. км<sup>2</sup>, 0—10 ‰ — 4,2 тыс. км<sup>2</sup>, 0—11 ‰ — 6,2 тыс. км<sup>2</sup>, 0—12 ‰ — 13,2 тыс. км<sup>2</sup>, что лишь незначительно превышает средние значения указанных зон в исключительно маловодные 1969—1976 гг. (в среднем соответственно 2,7; 3,6; 5,0; 10 тыс. км<sup>2</sup>). Концентрация биогенных веществ в водной толще Азовского моря и первичная продукция органического вещества в нем также будет заметно уступать среднепогодовым значениям.

Содержание общего азота в среднем составит 1019 мг/м<sup>3</sup>, общего фосфора — 57 мг/м<sup>3</sup>, кремниевой кислоты — 505 мг/м<sup>3</sup>, уровень первичного продуцирования — 27,8 млн. т. В этих условиях сохраняется лишь нижний предел среднепродуктивного уровня биопродуктивности Азовского моря. Для достижения верхнего предела необходимо увеличение стока Дона и Кубани до 34,5 км<sup>3</sup>. Поэтому приток в Азовское море донских и кубанских вод на уровне 30 км<sup>3</sup>/год и соответствующем внутригодовом распределении может быть принят в качестве минимально допустимого для экосистемы его бассейна в целом. При учете стока малых рек он составит не менее 32 км<sup>3</sup>/год. Правомочность подобного вывода подтверждается и выполнением В. М. Шишкиным [76] анализом зависимости динамики уровня Азовского моря от колебаний притока в него речных вод. Для сохранения необходимых рыбохозяйственных условий в Азовском море очевидно, что при стационарном режиме моря его уровень должен держаться в пределах многолетних отметок. Именно тогда и формируется определенный режим стабилизации солености Азовского моря. Причем в отдельные периоды повышения материкового стока уровень моря в целом имеет тенденцию повышения и определенная часть вод через Керченский пролив сбрасывается в Черное море. В периоды пониженной водности уровень моря падает, а компенсирующий поток из Черного моря в Азовское стремится нивелировать отрицательные перепады в уровнях на концах Керченского пролива. В первом случае соленость Азовского моря понижается, во втором, наоборот, повышается. Для сохранения положительного знака в азовоморской составляющей в Азовское море следует подавать не менее 32 км<sup>3</sup> пресной воды ежегодно. Лишь в этом случае прерывается процесс осолонения и море попадает в фазу опреснения.

Таким образом, численные эксперименты показывают, что среднепродуктивный уровень Азовского моря может быть сформирован при суммарном стоке Дона и Кубани в пределах 34,5—30,0 км<sup>3</sup>/год (с учетом малых рек 36,6—32,1 км<sup>3</sup>/год), продуктивный — 40,0—35 км<sup>3</sup>/год (с учетом стока малых рек 42,1—37,1 км<sup>3</sup>/год), высокопродуктивный — 48,5—40,5 км<sup>3</sup>/год (с учетом стока малых рек 50,6—42,6 км<sup>3</sup>/год). Низкая продуктивность будет наблюдаться при стоке Дона и Кубани в пределах 29—22 км<sup>3</sup>/год (с учетом малых рек 31,1—24,1 км<sup>3</sup>/год (табл. 4.2).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные океанологические исследования, проведенные в Азовском море, позволили выявить изменения в его экосистеме за 1952—1986 гг.,

связанные с зарегулированием стока речных вод, установить основные закономерности формирования биологической продуктивности моря, уточнить

факторы, определяющие структуру и уровень продуцирования компонентов экосистемы.

В первый период (1952—1955 гг.), характеризующийся малым речным стоком, перераспределением его во времени, значительным использованием биогенных элементов в водохранилище, биомасса всех биологических параметров резко снизилась по сравнению с естественным режимом.

Во второй период (1956—1968 гг.) сложились благоприятные условия для формирования биологической продуктивности моря. Хотя уровень продукционных процессов был ниже по сравнению с естественным режимом, биологический потенциал моря оставался высоким. Биомасса зоопланктона и зообентоса в море была такой же, как при естественном режиме. В то же время увеличение численности морских видов в составе гидробионтов несколько снизило ценность кормовой базы для рыб. Но в целом период оценивается как продуктивный.

В третьем периоде (1969—1976 гг.) экосистема моря функционировала в условиях длительного маловодья и высокой солености воды, что вызвало глубокие структурные изменения флоры и фауны. В планктонных и донных комплексах снизилась роль солоноватоводных и пресноводных видов, возросла численность черноморских вселенцев, биомасса медуз в эти годы достигала максимальных значений, произошли изменения в сезонной динамике гидробионтов. Все это привело к снижению продуктивности моря и его кормового потенциала.

Распреснение моря в связи с возросшим поступлением речных вод в 1977—1982 гг. привело к расширению ареалов пресноводной и солоноватоводной фауны, частичному восстановлению структуры донных и планктонных сообществ, повышению интенсивности продукционных процессов. Приток пресных вод в море затормозил освоение моря медузой и мидией. Эти изменения в экосистеме начались через 2—3 года после начала распреснения. Однако тенденция снижения биологического потенциала моря сохранилась.

В последние годы гидробиологические процессы протекали в условиях снижения объема речного стока и повышения солености воды. В связи с инерционностью формирования гидробиологического режима, начинающееся осолонение моря еще не вызвало значительных изменений в экосистеме. Однако уже отмечены черты, характерные для периода осолонения.

На основе установленных закономерностей формирования биологической продуктивности моря и методов математической статистики дана оценка значимости отдельных факторов. Полученные многофакторные регрессионные уравнения были использованы в прогнозе изменений гидробиологического режима на перспективу.

Анализ воздействия океанографических факторов на популяции проходных и полупроходных азовских рыб показал, что наибольшее влияние оказало изменение естественного режима рек, связанного со значительным безвозвратным изъятием пресного стока и его сезонным регулированием.

Изменение этого фактора оказывает как прямое воздействие на популяции, сокращая их численность по мере ухудшения условий размножения, так и косвенное, ухудшая условия нагула в море вследствие сокращения опресненных зон.

В период естественного гидрологического режима бассейна условия воспроизводства в реках и жизнеобеспечения полученного потомства в море были взаимосвязаны и взаимообусловлены, поскольку все регулировалось объемом пресного стока. При больших паводках нараждалось многочисленное потомство. В море вследствие поступления больших объемов пресной воды расширились опресненные зоны, где после ската откармливалось урожайное поколение проходных и полупроходных рыб.

После строительства водохранилищ на Дону, Маныче, Кубани и всех малых реках бассейна (Миус, Кальмиус, Берда, Обиточная и другие) естественные нерестилища в зоне водохранилищ и на участках рек выше водохранилищ полностью и безвозвратно потеряны и благоприятные условия размножения складываются исключительно редко и только для отдельных видов.

В сложившейся ситуации даже тот низкий уровень промысловых запасов ценных видов, таких, как осетр, севрюга, судак, лещ, тарань в значительной степени (50—80 % промыслового стада) поддерживаются за счет промышленного воспроизводства.

Численность других проходных, полупроходных и пресноводных азовских видов рыб, которых не разводят (стерлядь, сом, сельдь, чехонь, жерех, вырезуб, берш, щука и др.) или масштабы искусственного воспроизводства которых незначительны (белуга, донская севрюга, рыбец, шемая, сазан), настолько сократились, что они практически утратили промысловое значение.

Требуется чрезвычайные меры по организации искусственного воспроизводства особо ценных видов, поскольку уже сегодня количество выращиваемой на рыбоводных предприятиях молодежи лимитируется заготовкой производителей.

В то же время в маловодные периоды при отсутствии паводков масштабы промышленного воспроизводства молодежи проходных и полупроходных рыб сдерживаются неблагоприятными условиями ее обитания в море. За счет ухудшения условий ската и нагула сеголеток промысловый возраст поколений осетровых и полупроходных рыб, полученных в маловодные годы, в два раза ниже чем в многоводные годы при одних и тех же объемах выпускаемой молодежи.

Таким образом, объем и сезонная динамика речного стока играют определяющую роль в формировании поколений проходных и полупроходных форм рыб и их жизнеобеспечении в Азовском море.

В биологии морских видов рыб Азовского бассейна, которые размножаются в море, речной сток не играет столь существенной роли, как для проходных и полупроходных форм рыб. Несмотря на значительные изменения этого фактора, запасы морских видов рыб на протяжении рассматриваемого 70-летнего периода оставались довольно стабильными. Периодические колебания запасов закономерны и обусловлены в основном циклическими изменениями океанографических факторов. Однако изменения солевого режима моря, связанные с сокращением речного стока, оказали существенное воздействие и на популяции морских видов рыб. Изучение отношения морских видов рыб к изменению солености моря позволило выявить основ-

ные закономерности формирования запасов этих видов и использовать их в долгосрочном прогнозировании.

Для видов с коротким циклом жизни выявление этих закономерностей имеет особое значение, поскольку позволяет с достаточной степенью достоверности прогнозировать численность еще не родившегося поколения.

Промысел массовых морских видов рыб Азовского моря базируется на предзимовальных миграциях хамсы и зимовальных скоплениях тюльки. В связи с этим особую значимость приобретает воздействие термического режима моря на поведение рыб во время зимовки. Подробное изучение этих взаимодействий используется в краткосрочном прогнозировании сроков и мощности образования зимних скоплений рыб, дислокаций добыва-

ющего флота, загрузки береговых рыбообрабатывающих баз.

Таким образом, проблема Азовского моря — это прежде всего проблема сохранения экосистемы его бассейна на необходимом для нормального функционирования уровне.

Оптимизация абиотической части экосистемы бассейна Азовского моря происходит при ежегодном поступлении в него в среднем 42 км<sup>3</sup> речных вод и многолетних колебаниях суммарного стока рек преимущественно в интервале 37,0—47,5 км<sup>3</sup>. Минимальный сток рек, необходимый для рыбного хозяйства бассейна Азовского моря, равен 32—34 км<sup>3</sup>/год. При этом весенний сток должен составлять 18—19 км<sup>3</sup>. Это означает, что безвозвратное водопотребление в бассейне не должно превышать 7—9 км<sup>3</sup>/год.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдакимова А. Я. Современное состояние кормовой базы рыб Азовского моря и предстоящие ее изменения в связи с водохозяйственными мероприятиями. — Труды Азовского научно-исслед. ин-та рыбного хозяйства, 1972, вып. 10, с. 52—67.
2. Алдакимова А. Я. О некоторых закономерностях внутригодовой динамики фитопланктона Азовского моря. — В кн.: Биологические ресурсы Азовского бассейна. Ростов-на-Дону, 1976, с. 3—13.
3. Александрова З. В. Влияние донных отложений на режим кислорода и содержание биогенных веществ в Азовском море. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук. — Ростов-на-Дону, 1980. — 23 с.
4. Берг А. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 1/4-е изд., испр. и доп. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — 466 с.
5. Берг А. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 2/4-е изд., испр. и доп. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
6. Беренбейм Д. Я. Направление движения косяков азовской хамсы на течение в Керченском проливе во время осеннего хода. — Рыбное хозяйство, 1953, № 10, с. 10—15.
7. Беренбейм Д. Я., Дубровин И. Я., Студеникина Е. И. О прогнозе начала осенней миграции хамсы через Керченский пролив. — Вопросы ихтиологии, 1973, т. 13, вып. 2, с. 374—377.
8. Бокова Е. Н. Питание азовской хамсы на разных этапах ее развития. — Труды ВНИРО, 1955, т. 31, вып. 1, с. 356—367.
9. Бронфман А. М., Макарова Г. Д., Ромова М. Г. Современные климатообусловленные изменения состава органического вещества Азовского моря. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1973, № 6, с. 39—48.
10. Бронфман А. М. и др. Статистическая структура океанологических и биологических параметров экосистемы Азовского моря. — Ростов-на-Дону, 1979. — 160 с.
11. Бронфман А. М., Дубинина В. Г., Макарова Г. Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 288 с.
12. Буткевич В. С. О бактериальном населении Каспийского и Азовского морей. Т. 2. — М.: Изд-во АН СССР, 1958.
13. Воловик С. П. Влияние климатических и антропогенных факторов на структуру и продукцию пелагического сообщества рыб Азовского моря. — Труды ВНИРО, 1974, т. 103, с. 107—119.
14. Воловик С. П., Дахно Б. Л. О составе ихтиофауны Азовского моря в условиях его осолонения. — В кн.: Тезисы докладов Областной научной конференции по итогам работы АзНИИРХ за 25 лет. Ростов-на-Дону, 1983, с. 21—23.
15. Воловик С. П. Основные черты преобразования экосистемы Азовского моря и состояния рыбного хозяйства в условиях интенсификации использования природных ресурсов. — Вопросы ихтиологии, 1986, т. 26, вып. 1, с. 33—47.
16. Воробьев В. П. Бентос Азовского моря. — Труды АзЧерНИРО, 1949, вып. 13, с. 1—192.
17. Гаргопа Ю. М. Зависимость уловов проходных и полупроходных рыб Азово-Кубанского района от абиотических факторов. — В кн.: Вопросы изучения и освоения Азовского моря и его побережий. Краснодар, 1974, с. 46—47.
18. Гаргопа Ю. М., Козлитина С. В. Моделирование естественного процесса воспроизводства проходных рыб Азово-Кубанского района. — Труды ВНИРО, 1976, т. 118.
19. Гаргопа Ю. М. Гидрологические основы рыбохозяйственного использования водных ресурсов Кубани и рек Восточного Приазовья. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук. — Одесса, 1979. — 24 с.
20. Гаргопа Ю. М. Эколого-географические аспекты рыбохозяйственного использования стока реки Кубани и рек Восточного Приазовья. В кн. Тезисы докладов секции V, VII съезда Географ. общества СССР. Л., 1980, с. 43—44.
21. Грудинин П. И. Прогнозирование запаса азовской хамсы. — Рыбное хозяйство, 1963, № 12.
22. Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 287 с.
23. Дементьева Г. Ф. Методика и результаты изучения причин колебания численности азовской хамсы. — Вопросы ихтиологии, 1957, т. 1. — 243 с.
24. Дементьева Г. Ф. Методика изучения влияния естественных факторов на численность азовской хамсы. — Труды ВНИРО, 1958, т. 24, с. 30—63.
25. Дубинина В. Г. Гидрологические основы увеличения масштабов естественного воспроизводства рыб в Азово-Донском районе. — Труды АзНИИРХ, 1972, вып. 10, с. 45—51.
26. Дубинина В. Г., Гаргопа Ю. М. Рыбное хозяйство в бассейне Азовского моря в условиях интенсивного использования водных ресурсов. — Труды ВНИРО, 1974, т. 103, с. 10—32.
27. Дубровин И. Я., Макарова Г. Д. К вопросу прогнозирования запаса азовской хамсы. — Рыбное хозяйство, 1972, № 9, с. 25—26.
28. Жукова А. И. Распределение и биомасса микроорганизмов в Азовском море. — Микробиология, 1959, т. 28, вып. 3, с. 407—413.
29. Жукова А. И. Распределение и биомасса микроорганизмов в грунтах Азовского моря. — Микробиология, 1959, т. 28, вып. 4, с. 581—586.
30. Закутский Н. П. и др. Изменения планктона и бентоса Азовского моря в условиях антропогенного воздействия. — Гидробиологический журнал, 1978, т. 14, № 1, с. 28—33.
31. Зенкович Л. А. Моря СССР, их флора и фауна. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 739 с.
32. Зозулина М. И., Толоконникова Л. И., Перскрестов О. В. О распределении бактериопланктона в Азовском море. — Микробиология, 1972, т. 41, вып. 3, с. 550—553.
33. Ижевский Г. К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб. — М., 1964.
34. Исаченко Б. Л. Микроскопический анализ грунтов Азовского и Черного морей. — Записки Гос. гидр. ин-та, 1933, вып. 10, с. 377—388.
35. Карпевич А. Ф. Экологическое обоснование прогноза изменений арсала рыб и состава ихтиофауны при осо-

лонении Азовского моря.—Труды ВНИРО, 1955, т. 31, вып. 2, с. 3—85.

36. Кариевич А. Ф. Влияние изменяющегося стока рек и режима Азовского моря на его промысловую кормовую фауну.—Труды АзНИИРХ, 1960, т. 1, вып. 1, с. 3—115.

37. Книпович Н. М. Гидрология морей и солоноватых вод в применении к промысловому делу.—М.—Л.: Пищепромиздат, 1938.—513 с.

38. Ковтун И. Ф., Некрасова М. Я., Ревина Н. И. О пищевых рационах бычка-кругляка в Азовском море.—Зоологический журнал, 1974, т. 55, № 5, с. 10—13.

39. Ковтун И. Ф. Состояние запасов промысловых объектов, прогнозы возможного изъятия и меры регулирования промысла в океанических районах и внутренних морях СССР.—АзНИИРХ, 1978.—22 с.

40. Костюченко В. А. О регулировании промысла бычка в Азовском море.—Труды ВНИРО, 1970, т. 71.

41. Лапин Ю. Е. Закономерности динамики популяций рыб в связи с длительностью их жизненного цикла.—М., 1971.—176 с.

42. Логвинович Д. Н. О некоторых факторах, определяющих урожайность молоди азовской тюльки.—Труды АзЧерНИРО, 1955, вып. 16, с. 241—251.

43. Луц Г. И. и др. Состояние запаса промысловых объектов, прогнозы возможного изъятия и меры регулирования промысла в океанических районах и внутренних морях СССР (Азовское море).—АзНИИРХ, 1977.—32 с.

44. Луц Г. И., Рогов С. Ф. Динамика жирности и формирования запасов тюльки и хамсы в Азовском море в зависимости от термического режима зимы.—Гидробиологический журнал, 1978, т. 14, вып. 2, с. 31—35.

45. Луц Г. И. Поведение и распределение азовской тюльки на местах зимовки.—Рыбное хозяйство, 1980, № 7, с. 45.

46. Майорова А. Н., Чугунова Н. И. Биология, распределение и оценка запаса черноморской хамсы.—Труды ВНИРО, 1954, т. 28, с. 3—33.

47. Мейснер В. И. Промысловая ихтиология.—М.—Л.: Снабтехиздат, 1933.—191 с.

48. Михман А. С. Влияние естественных факторов на численность азовской тюльки.—Труды ВНИРО, 1970, т. 71, с. 180—192.

49. Михман А. С. Закономерности колебания численности азовской тюльки.—Труды ВНИРО, 1972, т. 83, с. 235—242.

50. Мордухай-Болтовский Ф. Д. О годовых изменениях в бентосе Таганрогского залива.—Зоологический журнал, 1939, т. 19, вып. 6, с. 989—1009.

51. Никольский Г. В. Теория динамики стада рыб.—М., 1974.—444 с.

52. Пиццык Г. К. Фитопланктон Азовского моря в условиях зарегулирования р. Дон.—Труды Азовско-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии, 1955, вып. 16, с. 279—309.

53. Пиццык Г. К. О качественном составе фитопланктона Азовского моря.—Труды Севастопольской биол. станции, 1963, т. 16, с. 71—89.

54. Попов В. П. Черноморский период жизни азовской хамсы.—Труды ВНИРО, 1954, т. 28, с. 65—74.

55. Прошкина-Лавренко А. И. Днатомовые водоросли планктона Азовского моря.—М.—Л., 1963.

56. Пузинов И. И. Анчоус. Опыт научно-промысловой монографии.—Учен. зап. Горьковского ун-та, 1936, вып. 5.

57. Расщеперин Б. К. Особенности порционного

икрометания бычка-кругляка Азовского моря и численность его молоди.—Труды молодых ученых ВНИРО, 1964, с. 70—75.

58. Ревнина Н. И., Воловик С. П., Фильчагин Н. К. Состояние запасов азовских морских промысловых рыб (бычков, хамсы, тюльки) и возможные изменения их при различных водохозяйственных мероприятиях.—Труды АзНИИРХ, 1972, т. 10, с. 67—82.

59. Рогов С. Ф. Физиологические основы прогнозирования поведения азовской хамсы в осенне-зимний период.—В кн.: Тезисы докладов Областной научной конференции по итогам работы АзНИИРХ за 25 лет. Ростов-на-Дону, 1983, с. 89—92.

60. Сальников Н. Е. О случаях гибели хамсы в Азовском море.—Вопросы ихтиологии, 1957, вып. 9.

61. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря.—М.—Л.: Наука, 1964.—550 с.

62. Семенов Л. И., Ковтун И. Ф. О биологическом обосновании промысловой меры на бычка-кругляка.—Рыбное хозяйство, 1974, № 1, с. 11—14.

63. Смирнов А. Н. Биология и запасы азовской хамсы. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. биол. наук.—М., 1940.

64. Спичак М. К. Гидрологический режим Азовского моря в 1951—1957 гг. и его влияние на некоторые химические и биологические процессы.—Труды АзНИИРХ, 1960, т. 1, вып. 1, с. 115—143.

65. Спичак М. К., Шеломов И. К. Влияние характера зимы на первичную продуктивность водоемов.—Труды АзНИИРХ, 1960, вып. 3, с. 124—129.

66. Спичак М. К., Шеломов И. К. О причинах колебаний первичной продукции Азовского моря.—В кн.: Первичная продукция водоемов. Минск, 1961, с. 67—71.

67. Тараненко Н. Ф. Распределение и поведение азовской и черноморской хамсы в период зимовки 1954—1955 гг.—АзНИИРХ, 1955.—39 с.

68. Тараненко Н. Ф. Уровень жировых запасов в теле азовской хамсы как показатель воспроизводительных свойств стада и сроков миграции.—Труды АзЧерНИРО, 1964, вып. 22, с. 137—147.

69. Тараненко Н. Ф. К динамике численности азовской хамсы.—Труды АзЧерНИРО, 1966, вып. 24, с. 3—16.

70. Трифонов Г. П. Биология размножения азовских бычков.—Труды Карадагской биологической станции, 1955, вып. 13.

71. Усачев П. И. О фитопланктоне Азовского моря.—В кн.: Сборник в честь проф. Н. М. Книповича, 1885—1925. М., 1927, с. 405—429.

72. Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб.—М., 1959.—164 с.

73. Шеломов И. К., Алдакимова А. Я. О продуцировании органического вещества в Азовском море в 1960 г.—Труды АзНИИРХ, 1963, вып. 6.

74. Шеломов И. К., Федосов М. В. О круговороте органического вещества в водоемах.—Труды АзНИИРХ, 1961, вып. 4, с. 190—201.

75. Шилов В. Н., Шаболен Б. П. О прогнозировании сроков осенней миграции азовской хамсы.—Рыбное хозяйство, 1968, № 8.

76. Шинкин В. М. Опресненные зоны устьевых впадин Кубани в условиях меняющегося стока реки.—Изв. Северо-Кавказского научного центра Высшей школы. Серия естеств. наук, 1973, № 1, с. 76—80.

77. Шультман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб.—М., 1972.—366 с.

Справочное издание

Проект «Моря СССР»

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР

Том V

**АЗОВСКОЕ МОРЕ**

Редактор О. Д. Рейнговерц. Художник И. Г. Архипов. Художественный редактор Е. Н. Чукаева. Технический редактор Н. Ф. Грачева. Корректор Л. Б. Емельянова

Н/К

Сдано в набор 11.06.91. Подписано в печать 24.11.91. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага книжная. Литературная гарнитура. Печать высокая. Печ. л. 30,0. Кр.-отт. 30,0. Уч.-изд. л. 37,23. Тираж 500 экз. Индекс ОД-130. Заказ № 143. Цена 52 руб. Заказное.

Гидрометеондат. 199226, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38.

Типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой. 190000, г. Санкт-Петербург, Прачечный переулок, 6.