ПРОЕКТ «МОРЯ»

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОХИМИЯ МОРЕЙ

ТОМ VI

КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

ВЫПУСК 2

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Гидрометеоиздат

Федеральная служба России по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
Государственный океанографический институт
Комитет Российской Федерации по рыболовству
Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии
Каспийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства

ПРОЕКТ „МОРЯ"

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОХИМИЯ МОРЕЙ

ТОМ VI

КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

ВЫПУСК 2

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Под редакцией
канд. геогр. наук Ф. С. Терзиева,
д-ра геогр. наук М. П. Максимовой,
канд. биол. наук Е. А. Яблонской

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1996

УДК 551.46

Редакционная коллегия серии монографий
«Гидрометеорология и гидрохимия морей»:

Ф. С. Терзиев (отв. редактор), В. И. Калацкий, Н. П. Гоптарев, 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

В монографии освещен широкий круг вопросов по гидрохимии и океанологическим основам формирования биологической продуктивности вод Каспийского моря. Содержится анализ закономерностей формирования элементов гидрохимического режима: солевого состава, кислорода, активной реакции, щелочности, биогенных и органических веществ, а также исследуются факторы, их определяющие. Большое внимание уделено влиянию океанологических факторов на формирование биологической продуктивности вод, а также дается оценка оптимальных условий среды обитания организмов моря. Информационной основой работы являются данные регулярных гидрохимических и биологических съемок Астраханской ЗГМО, Дагестанского гидрометцентра, АзГоскомгидромета и КаспНИРХа, а также целевых комплексных экспедиций ГОИНа и РНИРО. Монография 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.

Ответственный редактор Ф. С. Терзиев

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

Книга подготовлена и издана при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований
и Министерства науки и технической политики Российской Федерации

1805040600-11
069(02)-96 Без объявл.

© Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

ЧАСТЬ I. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

1. Изученность гидрохимического режима. Материалы и методика 6
2. Солевой состав и электрическая проводимость морских вод 12
2.1. Основные итоги предшествующих исследований солевого состава и электрической проводимости вод . . . . . —
2.2. Основные природные факторы, влияющие на формирование солевого состава вод 14
2.3. Современный солевой состав и электрическая проводимость вод 15
2.4. Солевой состав льда Северного Каспия 17
2.4.1. Соленость льда 18
2.4.2. Солевой состав и pH льда 21
2.5. Современный солевой баланс моря 23
3. Газовый режим 26
3.1. Факторы, определяющие режим кислорода . . . —
3.2. Сезонные изменения содержания кислорода . . 27
3.3. Многолетние изменения содержания кислорода 54
4. Режим биогенных веществ 65
4.1. Биогенный материковый сток в Северный Каспий —
4.1.1. Многолетние изменения содержания биогенных веществ в волжском стоке . . . . —
4.1.2. Роль дельты и авандельты в трансформации соединений азота материкового стока 71
4.1.3. Роль взвешенных веществ дельты и устьевого взморья в трансформации соединений азота материкового стока 77
4.1.4. Роль грунтов дельты и устьевого взморья в трансформации соединений азота материкового стока 78
4.1.5. Роль дельты и авандельты в трансформации соединений фосфора материкового стока 80
4.2. Баланс биогенных веществ 82
4.3. Распределение и изменчивость содержания биогенных веществ 83
4.3.1. Основные закономерности пространственного распределения биогенных веществ в Северном Каспии . . . . . —
4.3.2. Биогенный состав льда Северного Каспия 87
4.3.3. Сезонные и многолетние изменения содержания фосфатов и их распределение . . . 92
4.3.4. Сезонные и многолетние изменения содержания форм минерального азота и их распределение 112
4.3.5. Сезонные и многолетние изменения содержания кремния и его распределение . . . 129
5. Органическое вещество 148
5.1. Органический материковый сток и его эволюция 149
5.2. Трансформация органического материкового стока в дельте Волги и на устьевом взморье . . . 152
5.2.1. Биохимический состав органического вещества и его трансформация . . . . . —
5.2.2. Роль продукционно-деструкционных процессов в трансформации стока органического вещества в дельте Волги и на устьевом взморье 157
5.2.3. Элементы баланса органического вещества в дельте и на устьевом взморье Волги 171
5.3. Баланс органического вещества 172
6. Элементы карбонатной системы 177
6.1. Сезонные и многолетние изменения pH . . . . —
6.2. Сезонные и многолетние изменения щелочности 189
7. Гидрохимический режим зал. Кара-Богаз-Гол . . . 195
7.1. Режим до прекращения стока каспийской воды 196
7.2. Режим после перекрытия пролива 200
7.3. Режим в условиях ограниченной подачи морской воды 222

Заключение 244

Список литературы к ч. I 246

ЧАСТЬ II. ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

8. Влияние океанологических условий на формирование фитопланктона 249
9. Влияние океанологических условий на формирование зоопланктона 254
9.1. Видовой состав, экологические комплексы и распределение зоопланктона . . . . . —
9.2. Сезонные и многолетние изменения зоопланктона Северного Каспия 257
9.3. Сезонные и многолетние изменения зоопланктона Среднего и Южного Каспия 260
10. Влияние океанологических условий на формирование бентоса 263
10.1. Видовой состав и фаунистические комплексы бентоса . . . . . —
10.2. Распределение бентоса 264
10.3. Экологические группы донных беспозвоночных и многолетние изменения их биомассы 267
10.4. Зависимость биомассы экологических групп донных беспозвоночных от факторов среды 271
10.5. Многолетние изменения кормовых ресурсов бентосоядных рыб 277
11. Ихтиофауна. Оптимальные условия для размножения рыб 278
11.1. Характеристика ихтиофауны . . . . . —
11.2. Оптимальные температурные условия 279
11.3. Оптимальный гидрологический режим для размножения рыб . . . . . —
12. Океанологические основы формирования запасов полупроходных рыб 282
12.1. Особенности размножения полупроходных рыб —
12.2. Распределение полупроходных рыб в Северном Каспии 284
12.3. Многолетние изменения урожайности и промысловых уловов полупроходных рыб Северного Каспия 286
13. Формирование запасов осетровых под влиянием гидролого-гидрохимических условий 291
13.1. Краткая биологическая характеристика осетровых . . . . . —
13.2. Влияние факторов среды на нерестовый ход и эффективность размножения осетровых . . 292
13.3. Влияние антропогенных факторов на физиологическое состояние и репродуктивные способности осетровых 297
13.4. Влияние промысла на запасы и состояние популяции осетровых 298
13.5. Многолетние изменения состояния популяции осетровых рыб 300
14. Влияние абиотических факторов среды на численность поколений анчоусовидной кильки 302
15. Влияние гидрологического режима на воспроизводство и численность проходных сельдей 304
16. Влияние гидрометеорологических условий на распределение, размножение и промысел тюленя . . . 305
16.1. Краткие сведения по биологии каспийского тюленя . . . . . —
16.2. Влияние ледовых и метеорологических условий на распределение детных и линных залежек каспийского тюленя 306
16.3. Влияние ледовых и погодных условий на развитие и выживаемость приплода тюленя . . . 311
16.4. Влияние ледовых и метеорологических условий на промысел каспийского тюленя 313
16.5. Влияние антропогенных факторов на состояние популяции каспийского тюленя 314

Заключение 316

Список литературы к ч. II 318

ПРЕДИСЛОВИЕ

Окраинные и внутренние моря обладают биологическими, минерально-сырьевыми, энергетическими, водными и другими ресурсами, которые используются многими отраслями народного хозяйства. К числу наиболее крупных отраслей относятся: рыбное хозяйство, морская нефтегазодобывающая промышленность, морской транспорт, гидроэнергетика, гидромелиорация, здравоохранение (рекреация), коммунальное и промышленное строительство на побережьях 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 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 ГОИНа с участием ААНИИ, ДВНИГМИ, ГГО, морских управлений по гидрометеорологии и ряда мореведческих организаций других министерств и ведомств. Первый этап заключался в исследовании прибрежной полосы моря и устьев рек, второй — в изучении шельфовой зоны моря, третий — в изучении открытых районов и моря в целом.

К основным компонентам системы 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.: Гидрометеоиздат, 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.: Гидрометеоиздат, 1972), содержащее методические рекомендации по организации и проведению полевых изысканий непосредственно в районе проектируемых гидротехнических сооружений.

4. Методы расчета основных характеристик гидрометеорологических элементов в шельфовых 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 проектом «Моря» научно-технической программы ГКНТ «Мировой океан» 39 организациями Госкомгидромета СССР, Минрыбхоза СССР, АН СССР и союзных республик и других ведомств под общим руководством ГОИНа и специализированным научно-методическим руководством ВНИРО (океанологические основы биопродуктивности морей), ГГО (метеорология и климат), ААНИИ (ледовые условия) подготовлена серия монографий «Гидрометеорология и гидрохимия морей».

Серия состоит из 10 томов, включающих около 20 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 океанологии, динамике вод, гидрохимии, океанологическим основам формирования 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

* В связи с тем что сбор и обработка данных проводились до 1991 г., в работе в ряде случаев используются прежние названия страны, организаций, учреждений и т. д.

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, атмосферные процессы, орография берегов, морские течения; климатическое районирование; режим ветра, местные его особенности, штормы; температура воздуха — средние, экстремальные, характерные значения; аномальные сезоны; влажность воздуха; атмосферные осадки и снежный покров; облачность — общая, нижнего яруса, число дней с ясным, полуясным и облачным небом; опасные и стихийные 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 смешения 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 балансов.

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, солевой баланс моря; режим кислорода, его межгодовая, сезонная и суточная изменчивость; активная реакция (pH); щелочность как показатель смешения и генезиса вод в море, изменение ее 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.

В разделе «Океанологические основы биопродуктивности», 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 полуэмпирические методы расчетов с привлечением натурных данных для оценки адекватности модели и натуры.

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

— определены условия формирования режима элементов климата, закономерности их изменения в пространстве и времени и различные вероятностные характеристики;

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

— получены 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 морских вод и минерализации речного стока под влиянием антропогенных факторов;

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

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

В целом настоящая серия монографий представляет собой естественное продолжение и развитие общей системы обеспечения режимной гидрометеорологической и гидрохимической информацией морских отраслей народного хозяйства и обороны страны.

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 более подробной информации по гидрологии, метеорологии, гидрохимии и загрязнению морей, она может быть получена в ГОИНе или других НИИ и морских управлениях по гидрометеорологии по специальному запросу.

Общее научно-методическое руководство исследованиями по проекту «Моря» и по подготовке серии монографий «Гидрометеорология и гидрохимия морей» осуществлялось ГОИНом. 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), Бакинское отделение ЗакНИГМИ (Каспийское море), ДВНИГМИ (Японское, Охотское и Берингово моря).

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

Том VI «Каспийское море» подготовлен в соответствии с общим планом серии монографий и состоит из двух выпусков: «Гидрометеорологические условия» и «Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биопродуктивности». Первый из них содержит комплексную характеристику метеорологических и гидрологических условий Каспийского моря, предназначенную для многоцелевого использования в научно-исследовательской работе и при гидрометеорологическом обеспечении народного хозяйства.

Данный выпуск разделен на две части: «Гидрохимические условия» и «Океанологические основы формирования биологической продуктивности», каждая из которых является самостоятельной работой и может рассматриваться независимо от другой. Сведения по гидрохимии и биопродуктивности моря, помещенные в этом выпуске, необходимы в настоящее время для решения комплексной проблемы рационального использования, охраны, прогнозирования, а в дальнейшем и управления природными ресурсами Каспийского моря.

На протяжении длительного времени исследования Каспийского моря проводятся организациями Росгидромета и АзГоскомгидромета под руководством ГОИНа и Минрыбхоза (КаспНИРХ) при активном участии ВНИРО. В результате этих исследований создан значительный информационный фонд по гидрохимии и гидробиологии Каспийского моря. Определенное представление об этом фонде дает библиография частей выпуска; достаточно полная характеристика информационной базы содержится в разделах работы, посвященных рассмотрению тех или иных элементов гидрохимического и гидробиологического режимов моря.

Настоящая монография является реализацией проекта «Моря» в области гидрохимии и гидробиологии Каспийского моря и существенно дополняет справочные данные, представленные в более ранних работах.

Структура монографии разработана в основном согласно типовой программе, предложенной ГОИНом, с некоторыми дополнениями.

Авторами глав и разделов части I монографии являются: гл. 1 — Б. М. Затучная; гл. 2 — Л. Б. Друмева, А. Г. Цыцарин (п. 2.4); гл. 3 — Б. М. Затучная, Т. А. Иванова; гл. 4 — Б. М. Затучная, И. В. Свиридова, Т. А. Иванова; пп. 4.1 и 4.2 — М. П. Максимова, Б. Д. Елецкий; п. 4.3.2 — А. Г. Цыцарин; гл. 5 — М. П. Максимова, М. П. Метревели; гл. 6 — Б. М. Затучная, Т. А. Иванова; гл. 7 — Н. А. Буйневич, В. П. Лучков, И. Н. Лепешков (под ред. В. Н. Бортника).

Следует отметить большую роль Т. Л. Байрамовой, Р. З. Рагимова и А. А. Клыковой (Азерб. УГМС), З. Ф. Луневой и Л. Ф. Непоменко (Астраханская ЗГМО), Ф. М. Ильзовой (Дагестанская ЗГМО) в подготовке и своевременном представлении информационной базы по гидрохимическому режиму моря для дальнейшего научного анализа и обобщения.

Авторами глав и разделов части II монографии являются: гл. 8 — В. И. Кузьмичева, В. Д. Левшакова; гл. 9 — В. И. Кузьмичева; гл. 10 — Е. А. Яблонская, В. Ф. Осадчих; гл. 11 — Д. Н. Катунин; гл. 12 — М. А. Сидорова, Л. А. Белоголова, Р. П. Алехина, В. И. Чернявский; гл. 13 — А. Д. Власенко, Р. П. Ходоревская, Г. Ф. Довгопол, О. Л. Журавлева, В. М. Распопов, П. В. Вещев, В. С. Лагунова, А. С. Новикова, П. П. Гераскин, Ю. В. Алтуфьев, А. А. Романов; гл. 14 — Ю. А. Парицкий, гл. 15 — В. В. Водовская; гл. 16 — В. И. Крылов.

В подготовке монографии к печати активное участие принимали Т. В. Кондратенко, О. А. Симонова, Л. Е. Лемехова, С. А. Косачева.

Часть I. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Задачи изучения Каспийского моря, рыбохозяйственное значение которого не вызывает сомнений, 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 Каспийского моря.

Заметное снижение рыбопродуктивности моря произошло в середине 30-х годов сначала под влиянием преимущественно природных условий, а впоследствии под влиянием совокупности антропогенных факторов, значение которых непрерывно возрастало. Гидротехническое строительство в бассейнах Волги и других рек, впадающих в Каспийское море, крупные водохозяйственные мероприятия в бассейне моря, а также ухудшение качества речных вод оказали существенное влияние на негативные изменения гидролого-гидрохимического режима моря.

В результате исследований, выполненных совместно ГОИНом, РНИРО, КаспНИРХом, Азергидрометом, Астраханской ЗГМО, Дагестанской ЗГМО в рамках проекта «Моря», были установлены некоторые закономерности формирования и изменения гидрохимических условий Каспийского моря под влиянием естественных и антропогенных факторов.

1. ИЗУЧЕННОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Первые научные результаты, основанные на наблюдениях за гидрохимическим режимом Каспийского моря, были получены в начале текущего столетия под руководством Н. М. Книповича [71].

В 1937 г. вышла в свет монография С. В. Бруевича [22], а затем и другие его работы [23—28], которые обобщили весь накопленный в 30-е годы опыт по изучению гидрохимического режима Каспийского моря.

К этому времени уже была организована постоянная гидрометеорологическая служба, которая вела систематические наблюдения на Каспийском море на станциях и постах. Тогда же КаспНИРХ организовал систематические морские наблюдения по гидрологии, гидрохимии, гидробиологии и ихтиологии.

Основные научные результаты исследований по гидрохимии были проанализированы М. В. Федосовым [131], Н. И. Винецкой [32—35] и Т. И. Горшковой [41] и явились последовательным продолжением работ, начатых С. В. Бруевичем, по изучению основных процессов, формирующих гидрохимический режим Каспийского моря.

В 30-е годы представление о стабильности водного баланса Каспийского моря было опровергнуто резким и существенным падением его уровня, значительно изменившим весь гидролого-гидрохимический режим моря.

С середины 50-х годов в системе Госкомгидромета под методическим руководством ГОИНа были организованы систематические гидролого-гидрохимические работы по всей акватории Каспийского моря. Эти исследования относятся к периоду интенсивного изменения его гидролого-гидрохимического режима под влиянием антропогенных факторов, которые в первую очередь воздействовали на волжский сток, питающий море: создание каскада водохранилищ на р. Волге, увеличение безвозвратного использования поверхностных вод в процессе хозяйственной деятельности, а также сброс бытовых и промышленных вод в водотоки и водоемы бассейна. Таким образом, изучение гидрохимического режима Каспийского моря приобрело особую актуальность, так как его изменения, как правило, являются отражением возможных отклонений в функционировании экосистемы моря в целом.

Особенности гидрохимического режима Каспийского моря, обусловленные падением его уровня, а также возникшие в результате хозяйственных мероприятий, которые осуществлялись в бассейнах рек, питающих Каспийское море, были проанализированы на основе многолетних наблюдений и результаты представлены в монографиях [66, 100]. В работе А. С. Пахомовой и Б. М. Затучной [100] приведен большой экспериментальный материал, полученный в результате систематических целенаправленных съемок в Каспийском море в 1958—1962 гг., когда исследовались солевой состав, соленость, элементы карбонатной системы, газовый режим и режим биогенных веществ.

Несколько позднее, исследуя массовый материал натурных наблюдений за 1840—1972 гг., коллектив авторов создал монографию [76], которая охватывает все аспекты многолетних изменений гидрологического режима Каспийского моря.

Цель данного исследования состояла в изучении генеральной циркуляции вод, создаваемой различными факторами — ветром и различной плотностью, конвекцией и влиянием берегов. Из гидрохимических характеристик в этой связи были привлечены данные, отражающие пространственно-временную изменчивость содержания кислорода в Среднем и Южном Каспии. В результате проведенного анализа было показано, что в верхнем слое Каспийского моря основными факторами, формирующими гидрологические поля, являются теплообмен с атмосферой, динамическое перемешивание, дрейфовые течения и геострофическая циркуляция, в глубинных слоях — интенсивно развитые процессы конвекции. Взаимодействие этих факторов является определяющим в гидролого-гидрохи-

мической структуре глубоководных районов моря в разные сезоны.

Исследования, развернувшиеся в последующие годы, явились основой для выявления закономерностей и факторов, формирующих изменения гидролого-гидрохимических основ продуктивности Каспийского моря в период активного антропогенного воздействия. Они нашли свое отражение в значительных публикациях монографического характера и фондовых материалах ГОИНа, КаспНИРХа, Азербайджанского и Северо-Кавказского УГКС, ИВП АН СССР, МГУ им. М. В. Ломоносова и других учреждений [40, 56, 57, 65, 68, 88]. Среди этих работ следует особенно выделить монографию, написанную коллективом специалистов, работавших в различных ведомствах и учреждениях страны [65]. В ней были обобщены итоги исследований Каспийского моря, отражающие основные изменения, происходившие в водоеме в 70-е годы. В эту работу были включены также материалы комплексных океанологических съемок 1976—1977 гг., во время которых была выполнена обширная программа гидрологических, гидрохимических, биологических наблюдений на большей части акватории моря. В работе показана взаимосвязь гидрологических и гидрохимических процессов, протекающих в море. Выявленные особенности и закономерности в распределении растворенного кислорода в значительной степени дополнили и уточнили представления о характере конвективного перемешивания вод, сезонной и межгодовой изменчивости гидрологических условий.

В связи с использованием шельфовой зоны морей нашей страны в народном хозяйстве уже в 70-е годы развернулись широкие исследования по изучению шельфа Каспийского моря по программе, согласованной с различными ведомствами в геологии, газовой и нефтяной промышленности и т. п. Материалы, представленные в «Справочнике по шельфу Каспийского моря», содержат обобщенные сведения по гидрологическому (уровень, волнение, течения, лед, температура и прозрачность воды), гидрохимическому (соленость, растворенный кислород, концентрация водородных ионов (pH), щелочность), метеорологическому (температура воздуха, ветер, комплексные метеорологические элементы) и ледовому режимам, полученные на метеорологических станциях и вековых разрезах Каспийского моря [38]. Из гидрохимических элементов в этом справочнике помещены те, наличие которых вызывает коррозию металлов и которые агрессивны по отношению к строительным материалам и в первую очередь к бетону.

Дальнейшие исследования по Каспийскому морю проводились в рамках проекта «Моря». Целью этих работ было установление закономерностей формирования и изменений гидрохимических условий Каспийского моря под влиянием естественных и антропогенных факторов. Многолетние режимные наблюдения Северо-Кавказского и Азербайджанского УГКС (1960—1985 гг.), которые были использованы для характеристики пространственно-временной изменчивости содержания кислорода, элементов карбонатной системы и биогенных веществ, выполнялись в системе Госкомгидромета под руководством ГОИНа.

В 80-е годы эти работы были дополнены исследованиями ГОИНа по химическому составу льда

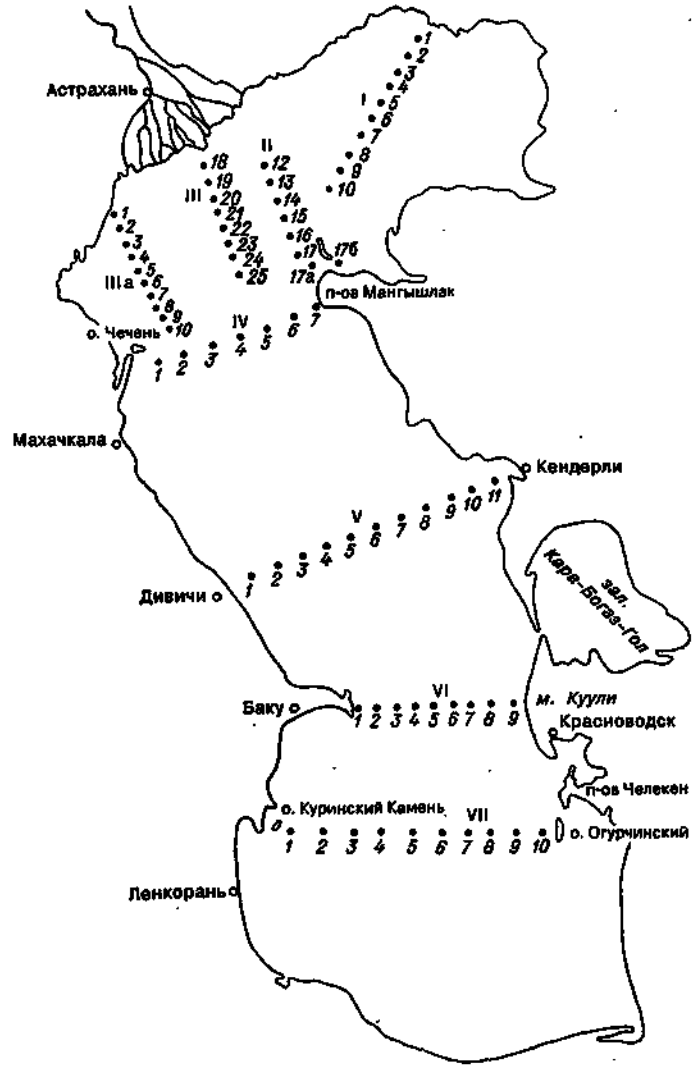


Рис. 1.1. Схема расположения разрезов и станций, на которых проводились гидрохимические наблюдения в Каспийском море в течение 1961—1985 гг.

и уточнению солевого состава вод Северного Каспия в связи с изменениями, происшедшими в его гидролого-гидрохимическом режиме.

Внутриматериковые моря и питающие их реки благодаря их большой роли в формировании гидрохимического режима морей принято рассматривать как единое целое.

Начиная с середины 70-х годов в районах дельты и авандельты Волги значительные гидрохимические исследования, проводимые под руководством М. П. Максимовой, были направлены на изучение биогенных элементов и органического вещества, что позволило охарактеризовать химизм вод материкового стока, условия и закономерности его формирования, а также влияние речных вод на гидрохимический режим Северного Каспия. Значительный вклад эти работы внесли в изучение процессов трансформации биогенных элементов и органического вещества в дельте и авандельте р. Волги.

Систематические сезонные экспедиции Астраханской зональной гидрометобсерватории (ЗГМО) и Азербайджанского УГКС проводились на вековых разрезах, которые располагались в различных районах Каспийского моря (рис. 1.1). Так, данные, полученные в результате наблюдений на разрезе I,

характеризуют степень влияния уральских вод на акваторию восточной части Северного Каспия; на разрезах III и IIIа — влияние волжского стока на западную часть Северного Каспия и степень проникновения вод из Среднего Каспия. Разрез II является пограничным между западной и восточной частями Северного Каспия и с помощью наблюдений, полученных на этом разрезе, можно охарактеризовать водообмен между ними.

Результаты исследований на разрезе IV (о. Чечень — п-ов Мангышлак) свидетельствуют о сложной динамике вод в районе водообмена между Северным и Средним Каспием. Данные, полученные на разрезе V (Дивичи — Кендерли) и VII (о. Куринский Камень — о. Огурчинский), показывают распределение гидрохимических показателей соответственно в Среднем и Южном Каспии, в то время как материалы наблюдений на разрезе VI (о. Жилой — м. Куули) характеризуют водообмен между глубоководными частями моря.

В мелководных прибрежных районах Каспийского моря, включая устьевые взморья рек Терека, Самура и Куры, также проводились многолетние сезонные наблюдения, которые в данной работе были использованы для характеристики пространственно-временной изменчивости гидрохимических показателей.

Пробы воды на химический анализ отбирались на стандартных горизонтах на всех станциях, расположенных на акватории Каспийского моря. Общее количество проанализированных проб представлено в табл. 1.1.

Отбор, консервация и гидрохимический анализ проб осуществлялись, как правило, согласно принятым в системе Гидрометслужбы методам [112].

Методы определения солевого состава основывались на общепринятых подходах: хлор определялся аргентометрическим методом, сульфаты — осаждением барием, гидрокарбонаты — ацидиметрическим методом, кальций и магний — комплексометрическим методом, калий и натрий — методом пламенной фотометрии.

До систематизации всех имеющихся гидрохимических материалов и расчета на их основе статистических характеристик был выполнен контроль качества данных, который проводился в два этапа.

На первом из них выяснялось, входит ли конкретное значение элемента в интервал между его верхним и нижним пределом, установленными для Каспийского моря исходя из опыта многолетнего его изучения, и если нет, то оно браковалось. Затем данные наблюдений интерполировались на те станции и горизонты, где значения были забракованы.

На следующем этапе «чистки» вначале проводилась разбивка всего имеющегося массива по сезонам, затем в каждом из них на конкретных станциях и горизонтах и для всех наблюдаемых гидрохимических элементов находились их средние значения, а также средние квадратические отклонения. Значения, которые в рассматриваемых сезонных выборках выходили за пределы $x \pm 3\sigma$, браковались.

Обработка гидрохимических материалов первоначально основывалась на их систематизации по отдельным станциям. Затем эти данные систематизировались по восьми вышеупомянутым разрезам, в результате чего были получены средние многолетние сезонные значения гидрохимических характеристик, их распределение и изменчивость по различным районам моря.

Был проведен также статистический анализ гидрохимических материалов, в результате которого были рассчитаны следующие характеристики: средние и средние взвешенные значения, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты вариации, доверительный интервал. В ряде случаев также уточнялись ошибки средней, строились гистограммы распределения и выявлялись тренды в многолетнем ряду сезонных гидрохимических характеристик. Средние взвешенные значения гидрохимических показателей, характеризующие различные районы моря, как правило, оказывались достаточно достоверными, поскольку ошибки средних, рассчитанные на основе многолетнего ряда систематических наблюдений, не превышали точности аналитических методов.

В Северном Каспии систематические гидрохимические исследования из-за ледовых условий проводились, как правило, только в период, свободный ото льда.

Таблицы и карты по данному региону включали осредненные гидрохимические данные за весну — лето — осень, исключая зимние наблюдения, и поэтому лишь с известным допущением они могут трактоваться в качестве средних годовых характеристик.

Структура каждой главы данной работы, в которой содержится характеристика какого-либо гидрохимического компонента, отражает следующие основные положения:

— анализ факторов, формирующих гидрохимический режим моря;

— детальный анализ сезонного хода средних многолетних гидрохимических характеристик в различных районах Каспийского моря;

— сравнительный анализ динамики гидрохимических показателей по данным наблюдений за 1960—1985 гг. в зависимости от различного состояния уровня моря (1960—1969 гг. — квазистационарное положение уровня; 1970—1977 гг. — понижение уровня; 1978—1985 гг. — повышение уровня);

— традиционно проводимое сравнение средних многолетних характеристик за 1961—1980 и 1981—1985 гг. с аналогичными данными предшествующих исследований. В основном с этой целью были использованы данные 1958—1962 гг. [100], но иногда привлекались для сравнения и более ранние обобщения, характеризующие либо резкое падение уровня моря в 30-е годы, либо периоды до и после зарегулирования волжского стока. В связи с этим в ряде случаев сравнение данных по периодам может быть весьма условным, так как результаты анализов проб, обработанных разными методами, оказываются несопоставимыми. Последнее положение требует более внимательного отношения к информационному массиву данных, полученных в течение 60-летнего периода наблюдений.

С выходом из печати Руководства [112] утратили силу «Руководство по морским гидрохимическим исследованиям» [113], а также Методические указания и Временные инструкции, составленные ГОИНом и действующие с начала 60-х годов, которые касались химического анализа морских вод.

Основные методические изменения имели место при анализе биогенных веществ. Так, вместо прež-

Таблица 1.1

Объем выполненных гидрохимических исследований в Каспийском море под руководством ГОИНа

Номер станции, район	Кислород				pH				*Alk*				Фосфаты				Нитраты				Нитриты				Аммонийный азот				Кремний			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Северный Каспий (1961—1983 гг.)																																
Разрез I																																
1	—	52	75	42	—	51	75	42	—	53	75	42	—	52	75	42	—	15	21	12	—	50	70	42	—	7	10	7	—	52	75	42
2	—	52	74	42	—	51	72	42	—	50	74	42	—	50	74	42	—	14	21	12	—	48	72	39	—	7	11	6	—	49	74	42
3	—	52	76	43	—	52	74	43	—	52	76	43	—	52	76	43	—	14	20	11	—	50	70	43	—	7	12	5	—	51	76	43
4	—	52	74	43	—	51	74	43	—	51	75	43	—	52	74	43	—	14	20	12	—	50	72	41	—	7	10	7	—	52	74	43
5	—	52	76	46	—	52	75	46	—	53	75	46	—	52	77	46	—	14	21	13	—	48	73	43	—	10	10	6	—	52	77	46
6	—	55	76	49	—	56	76	49	—	57	76	49	—	54	77	49	—	15	25	14	—	52	75	47	—	10	12	8	—	54	77	49
7	—	55	83	49	—	56	83	49	—	57	83	49	—	54	86	49	—	15	25	14	—	52	84	47	—	10	12	8	—	54	86	49
8	—	60	90	51	—	59	90	51	—	62	90	51	—	57	93	51	—	18	29	16	—	54	93	51	—	9	14	10	—	57	93	51
9	—	55	84	49	—	55	86	49	—	58	84	49	—	55	87	49	—	16	25	14	—	50	87	49	—	9	14	7	—	55	87	49
10	—	52	73	44	—	53	73	44	—	53	75	44	—	51	76	44	—	15	22	13	—	49	75	42	—	7	11	6	—	52	76	44
Разрез II																																
12	—	52	76	44	—	50	74	44	—	52	76	44	—	50	76	44	—	14	22	13	—	48	73	44	—	7	11	6	—	50	76	44
13	—	52	77	44	—	49	77	44	—	53	77	44	—	51	78	44	—	13	21	12	—	49	77	44	—	6	10	8	—	52	78	44
14	—	51	73	44	—	51	75	44	—	52	75	44	—	52	76	44	—	13	20	12	—	50	74	43	—	6	9	9	—	52	75	44
15	—	52	78	44	—	50	78	44	—	52	78	44	—	52	78	43	—	13	20	12	—	50	76	43	—	6	10	8	—	52	79	43
16	—	53	77	45	—	53	77	45	—	53	77	45	—	51	79	44	—	13	21	12	—	50	79	44	—	6	10	8	—	52	79	44
17	—	52	76	44	—	50	76	44	—	52	76	44	—	50	76	44	—	14	22	13	—	49	76	44	—	7	11	6	—	51	77	44
17а	—	16	44	16	—	16	44	16	—	16	44	16	—	16	32	16	—	10	20	10	—	16	32	16	—	10	10	4	—	16	32	16
17б	—	25	52	24	—	25	52	24	—	25	52	24	—	25	52	24	—	18	37	17	—	25	52	24	—	9	19	11	—	25	52	24
Разрез III																																
18	—	52	77	40	—	50	75	40	—	53	77	40	—	50	75	38	—	15	23	12	—	50	77	40	—	7	12	5	—	52	77	40
19	—	52	76	39	—	51	75	39	—	52	76	39	—	52	76	39	—	14	21	11	—	51	76	39	—	6	10	8	—	51	76	39
20	—	51	71	38	—	51	71	38	—	52	72	38	—	52	72	38	—	15	20	11	—	51	71	38	—	7	10	7	—	52	72	39
21	—	57	82	42	—	57	82	42	—	58	83	43	—	58	83	42	—	16	23	12	—	58	83	42	—	8	10	10	—	59	83	42
22	—	74	111	65	—	73	110	65	—	76	114	65	—	75	112	66	—	20	31	18	—	73	111	65	—	10	15	13	—	75	113	67
23	—	84	134	67	—	83	134	67	—	84	134	67	—	84	134	67	—	23	37	19	—	83	132	66	—	20	15	9	—	84	134	67
24	—	83	128	67	—	83	128	67	—	85	128	67	—	84	128	67	—	24	38	20	—	82	127	66	—	12	20	11	—	83	128	68
25	—	128	204	105	—	125	204	105	—	125	204	105	—	121	204	105	—	38	60	30	—	123	199	100	—	19	30	18	—	133	200	103
Разрез IIIа																																
1	—	27	58	28	—	28	58	28	—	28	58	28	—	28	58	27	—	14	30	14	—	27	58	27	—	6	12	6	—	28	59	27
2	—	28	58	27	—	29	58	27	—	28	58	27	—	28	57	26	—	15	30	14	—	29	58	27	—	6	12	6	—	29	58	27
3	—	28	54	28	—	29	55	29	—	28	55	29	—	28	57	28	—	14	30	15	—	27	57	28	—	6	12	6	—	28	57	28
4	—	30	56	28	—	32	56	28	—	32	56	28	—	29	58	27	—	16	30	14	—	30	58	27	—	6	12	7	—	30	58	27
5	—	33	65	29	—	33	65	29	—	33	65	29	—	32	66	29	—	16	35	15	—	31	66	29	—	6	14	9	—	32	66	29
6	—	36	82	37	—	37	83	38	—	36	82	36	—	37	82	36	—	19	43	19	—	37	82	36	—	8	17	12	—	37	82	36
7	—	40	85	38	—	42	87	39	—	40	85	39	—	39	87	39	—	20	46	20	—	38	87	39	—	10	20	10	—	39	87	39
8	—	46	97	49	—	47	99	50	—	45	97	50	—	45	99	49	—	22	47	23	—	46	99	49	—	12	28	12	—	47	99	49
9	—	50	108	52	—	51	110	54	—	49	108	54	—	49	112	51	—	23	53	24	—	49	112	51	—	14	32	14	—	49	112	51
10	—	52	114	52	—	53	115	52	—	52	113	51	—	50	116	52	—	24	55	25	—	50	116	52	—	14	32	14	—	50	116	52

Номер станции, район	Кислород				pH				*Alk*				Фосфаты				Нитраты				Нитриты				Аммонийный азот				Кремний			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Район водообмена между Северным и Средним Каспием (1969—1983 гг.)																																
Разрез о. Чечень — п-ов Мангышлак																																
1	14	25	30	29	14	19	23	23	6	8	16	11	12	23	27	22	—	—	—	—	16	22	28	21	—	—	—	—	14	23	32	29
2	20	26	41	37	20	21	34	32	11	9	20	14	16	23	35	31	—	—	—	—	25	27	35	25	—	—	—	—	20	26	41	37
3	20	37	47	40	20	28	35	34	11	16	25	16	17	31	44	33	—	—	—	—	20	28	41	28	—	—	—	—	20	31	43	40
4	23	27	43	40	19	23	33	34	11	12	20	16	16	27	43	33	—	—	—	—	23	31	38	27	—	—	—	—	20	29	42	40
5	23	34	46	43	20	28	34	33	8	16	24	16	17	29	45	37	—	—	—	—	23	32	40	30	—	—	—	—	19	34	43	42
6	23	28	42	38	20	24	34	32	11	13	17	15	17	24	42	31	—	—	—	—	23	31	36	27	—	—	—	—	19	30	44	38
7	14	24	31	29	14	19	24	23	8	14	17	11	12	23	30	25	—	—	—	—	15	22	26	21	—	—	—	—	14	22	30	29
Средний Каспий (1961—1985 гг.)																																
Разрез Дивичи—Кендерли																																
1	38	42	41	26	38	38	39	24	20	20	18	8	—	38	34	22	—	—	—	—	—	27	34	19	—	—	—	—	—	32	37	22
2	69	79	80	64	69	65	69	28	42	30	33	9	65	72	46	55	—	—	—	—	46	50	55	42	—	—	—	—	60	64	57	49
3	99	101	87	86	99	90	87	72	60	57	50	44	86	86	70	72	—	—	—	—	75	69	75	62	—	—	—	—	75	67	79	72
4	195	230	116	159	156	127	119	117	96	78	73	70	195	210	115	150	—	—	—	—	175	170	100	139	—	—	—	—	179	177	112	156
5	252	276	102	221	166	190	150	144	100	115	92	89	226	225	86	162	—	—	—	—	232	171	82	161	—	—	—	—	237	207	144	184
6	197	147	66	181	130	119	100	120	80	73	61	74	195	195	76	147	—	—	—	—	146	177	74	146	—	—	—	—	192	185	89	157
7	169	170	72	125	122	154	85	107	75	95	52	66	156	176	61	96	—	—	—	—	136	125	57	92	—	—	—	—	161	152	66	97
8	137	144	60	85	117	121	60	74	72	74	37	45	117	127	56	67	—	—	—	—	92	92	52	66	—	—	—	—	100	111	60	76
9	80	80	30	61	77	67	35	62	47	41	21	38	67	80	27	52	—	—	—	—	52	55	22	46	—	—	—	—	64	70	25	52
10	59	60	—	49	59	52	—	49	36	32	—	30	55	60	—	41	—	—	—	—	44	37	—	40	—	—	—	—	55	52	—	41
11	38	38	—	30	38	38	—	27	23	23	—	17	35	40	—	25	—	—	—	—	30	27	—	24	—	—	—	—	31	35	—	25
Район водообмена между глубоководными частями моря (1961—1985 гг.)																																
Разрез о. Жилой — м. Куули																																
1	60	62	55	64	49	55	—	64	30	34	—	39	34	51	41	51	—	—	—	—	42	41	40	36	—	—	—	—	65	45	47	44
2	132	148	102	141	96	120	—	144	59	74	—	87	126	134	91	109	—	—	—	—	88	107	81	85	—	—	—	—	120	132	100	91
3	157	180	134	145	117	150	—	126	72	92	—	77	167	157	114	116	—	—	—	—	104	109	95	92	—	—	—	—	154	154	110	100
4	175	199	162	176	139	166	—	152	95	102	—	93	151	157	129	154	—	—	—	—	127	140	121	100	—	—	—	—	155	170	151	126
5	145	155	124	140	101	130	—	120	62	80	—	74	141	135	100	122	—	—	—	—	114	111	94	105	—	—	—	—	134	130	115	114
6	125	134	95	130	95	112	—	127	58	69	—	78	112	114	89	111	—	—	—	—	82	96	66	92	—	—	—	—	122	116	91	99
7	104	102	89	106	77	94	—	105	47	57	—	65	95	86	77	94	—	—	—	—	67	74	66	75	—	—	—	—	104	96	85	81
8	79	90	71	87	59	70	—	80	36	43	—	49	47	71	67	67	—	—	—	—	61	55	56	52	—	—	—	—	74	75	71	67
9	42	45	37	45	32	37	—	45	20	23	—	28	37	37	35	37	—	—	—	—	35	29	27	32	—	—	—	—	41	37	32	36
Южный Каспий (1961—1985 гг.)																																
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский																																
1	80	95	101	75	79	79	90	75	48	48	55	46	70	100	91	70	—	—	—	—	61	67	67	65	—	—	—	—	71	82	96	65
2	107	132	125	107	106	111	110	106	65	68	65	60	95	129	112	100	—	—	—	—	80	96	82	89	—	—	—	—	76	120	111	92
3	185	222	204	65	167	202	104	105	103	124	64	64	175	235	167	140	—	—	—	—	149	172	130	132	—	—	—	—	157	227	182	130
4	270	325	307	209	220	270	196	162	135	166	121	100	249	281	252	224	—	—	—	—	215	234	179	226	—	—	—	—	214	271	271	227
5	204	310	235	209	186	236	132	184	114	145	81	113	249	236	241	227	—	—	—	—	185	217	204	239	—	—	—	—	211	231	271	227

Номер станции, район	Кислород				pH				*Alk*				Фосфаты				Нитраты				Нитриты				Аммонийный азот				Кремний			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
6	244	340	214	162	201	249	154	150	124	153	95	92	222	250	239	199	—	—	—	—	191	231	185	197	—	—	—	—	192	272	255	194
7	215	284	209	159	177	226	134	110	109	139	82	68	196	267	206	186	—	—	—	—	176	201	151	160	—	—	—	—	187	237	197	175
8	94	134	101	92	87	112	90	92	53	69	55	57	89	134	90	77	—	—	—	—	72	97	62	47	—	—	—	—	84	126	96	75
9	68	90	67	64	69	75	49	67	42	46	30	41	61	64	57	50	—	—	—	—	46	64	42	29	—	—	—	—	57	85	62	60
10	35	45	34	37	35	37	26	37	21	23	16	23	23	30	26	31	—	—	—	—	20	30	20	14	—	—	—	—	24	40	29	30
Прибрежные районы моря																																
Взморье р. Терека (1974—1984 гг.)	140	328	376	414	140	328	376	414	140	328	376	414	140	328	376	414	20	40	20	40	140	328	376	414	50	100	80	110	140	328	376	414
Район Махачкалы (1974—1984 гг.)	152	272	240	305	152	272	240	305	—	—	—	—	152	272	240	305	34	67	34	67	152	272	240	305	94	172	139	188	152	272	240	305
Взморье р. Самура (1974—1984 гг.)	52	98	92	116	52	98	92	116	52	98	92	116	52	98	92	116	—	—	—	—	52	98	92	116	28	56	48	68	52	98	92	116
Район Форт-Шевченко (1967—1985 гг.)	159	217	219	197	150	190	199	183	38	80	91	66	155	205	211	179	—	—	—	—	155	196	210	174	—	—	—	—	108	137	158	132
Район м. Бекдаш (1967—1985 гг.)	77	97	103	118	76	83	101	114	34	50	71	49	75	100	112	89	—	—	—	—	62	85	112	89	—	—	—	—	72	90	114	87
Бакинская бухта (1969—1985 гг.)	629	992	569	811	551	899	657	776	248	372	162	235	540	890	574	741	—	—	—	—	540	883	564	738	177	276	191	272	539	947	583	822
Сумгаит (1967—1985 гг.)	467	976	534	736	401	810	506	663	171	368	108	230	466	773	493	652	—	—	—	—	366	761	493	652	95	177	81	170	409	864	462	722
Нефтяные Камни (1967—1985 гг.)	247	419	287	382	275	455	348	452	86	88	88	60	275	478	345	449	—	—	—	—	275	475	338	430	67	88	71	74	246	327	237	330
Туркменский зал. (1969—1985 гг.)	193	274	341	308	120	155	196	172	50	99	134	140	100	174	196	172	—	—	—	—	170	174	196	172	25	30	40	36	120	173	196	172
Район п-ова Челекен (1967—1985 гг.)	56	77	74	72	40	48	68	71	28	37	34	38	50	66	73	73	—	—	—	—	50	66	73	73	—	—	—	—	55	62	71	62
Красноводский зал. (1967—1985 гг.)	140	186	213	172	116	107	129	106	53	69	41	32	114	110	122	139	—	—	—	—	88	139	130	143	—	—	—	—	88	139	130	143
Ленкорань (1967—1985 гг.)	132	150	108	125	117	143	102	108	60	70	35	24	116	147	107	116	—	—	—	—	116	147	107	116	—	—	—	—	114	152	108	120
Взморье р. Куры (1969—1985 гг.)	209	429	233	415	205	362	279	360	144	142	133	—	193	413	232	316	—	—	—	—	253	485	305	407	68	117	92	181	257	484	305	407

Примечание. Данные по щелочности в Среднем и Южном Каспии приводятся за период 1961—1976 гг.; данные по аммонийному азоту в Северном Каспии — за период 1975—1983 гг.

него определения фосфатов, где в качестве восстановителя использовалось двухлористое олово [113], в 60-е годы стали применять метод, использующий в качестве восстановителя аскорбиновую кислоту. Окраски водных растворов восстановленных гетерополикислот при применении этого реагента несколько слабее, чем в случае восстановления двухлористым оловом, однако они устойчивы в течение длительного времени и, кроме того, практически не зависят от температуры и солености морской воды. Данные, полученные обоими методами, оказываются хорошо сопоставимыми при анализе многолетнего информационного массива.

В Руководствах [112, 113] для определения кремния в морской воде использован метод, основанный на колориметрировании желтого кремнемолибденового комплекса в видимой области спектра. Однако в 50-е годы, как правило, колориметрирование производилось с помощью цилиндров Генера и лишь с начала 60-х годов его стали проводить на фотоэлектроколориметре. В 30-е годы при определении кремния в качестве искусственного стандарта применялся раствор пикриновой кислоты, в отличие от натурального стандарта — раствора силиката натрия. Данные по кремнию, полученные в 30-е годы, оказываются несопоставимыми с данными 60—80-х годов.

Для определения нитритов в Руководствах [112, 113] использован метод, основанный на диазотировании содержащихся в морской воде нитритов сульфаниловой кислотой при последующем взаимодействии образовавшегося диазосоединения с α-нафтиламином. В 30-е годы применявшийся метод определения нитритов был таким же. Однако в 30—50-е годы колориметрирование проб на определение нитритов, так же как и в случае с фосфатами и кремнием, проводилось с помощью цилиндров Генера, что вносило элемент субъективизма в химический анализ проб.

Согласно Руководству [113], определение нитратов в морской воде производилось дифениламиновым методом. В основе его лежит окисление нитратами дифениламина в кислой среде. В последующем Руководстве [112] был предложен метод восстановления нитратов до нитритов с помощью омедненного кадмия. Сравнение данных в многолетнем ряду наблюдений представляется весьма условным, так как результаты, полученные разными методами, оказываются, как правило, несопоставимыми.

С введением Руководства [112] с середины 70-х годов стали производить определение аммонийного азота, основанное на реакции аммиака в щелочном растворе с избытком гипохлорита с образованием монохлорамина, который в присутствии фенола и иона нитропруссида дает индофеноловый голубой. В данной работе использованы материалы наблюдений за содержанием аммонийного азота в водах Северного Каспия, полученные только этим методом.

Таким образом, в течение более чем 70 лет рядом исследователей изучался гидролого-гидрохимический режим Каспийского моря. Этот многолетний период исследования характеризовался различными колебаниями уровня моря и объемов речного стока, поступающего в него. Наиболее планомерные исследования гидролого-гидрохимического режима, начавшиеся в 60-е годы, проводились уже в условиях активного антропогенного воздействия на весь бассейн Каспийского моря.

В результате всех этих работ был получен весьма обширный информационный массив гидрохимических данных наблюдений в Каспийском море. Однако в различные периоды изучения гидрохимии морских вод исследователями использовались разные аналитические методы, которые в ряде случаев принципиально отличались друг от друга, и не проводились работы по определению степени преемственности и сопоставимости получаемых результатов с данными предшествующего информационного массива. В связи с этим традиционное сравнение по периодам разных этапов исследований для некоторых показателей гидрохимического режима Каспийского моря представляется весьма условным.

2. СОЛЕВОЙ СОСТАВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МОРСКИХ ВОД

2.1. Основные итоги предшествующих исследований солевого состава и электрической проводимости вод

Первые гидрохимические исследования Каспийского моря касались в основном солевого состава воды и были выполнены в 1897 г. А. А. Лебединцевым [80], который по сухому остатку (высушивание пробы воды с содой при температуре 180 °С) рассчитал хлорный коэффициент морской воды, равный 2,386.

В 1933 г. С. В. Бруевич [22, 23] на основании данных по солевому составу вод Каспийского моря определил хлорный коэффициент, рассчитанный по сумме солей, который оказался равным 2,396.

А. В. Трофимов [128], как и С. В. Бруевич, предполагал, что зависимость между хлорностью и соленостью имеет линейный характер. По двум опорным точкам, характеризующим среднюю соленость каспийской воды и среднюю минерализацию волжских вод, он получил следующее соотношение:

$$S = 0{,}14 + 2{,}36\mathrm{Cl}. \qquad (2.1)$$

Для вод Северного Каспия А. А. Мусина и Н. И. Микей [92] в 1939 г. подтвердили эту формулу с помощью метода Серенсена [149], а затем эта зависимость была подтверждена ими и для вод Среднего и Южного Каспия. Однако для района устьевого взморья р. Урала этими же авторами получена иная формула связи между соленостью и хлорностью:

$$S = 3{,}15 + 1{,}88\mathrm{Cl}. \qquad (2.2)$$

В Океанологические таблицы [94] вошли расчеты, выполненные по формуле (2.1) для вод с хлорностью ниже 5,25 ‰. Соленость вод более высокой хлорности была рассчитана по хлорному коэффициенту, полученному С. В. Бруевичем.

Следует отметить, что в районах моря, где имеют место низкие значения солености и хлор-

ности, зависимость между ними оказывается нелинейной. При этом следует иметь в виду, что соленость — условное понятие с допущениями, а под минерализацией подразумевается сумма главных ионов солевого состава [3, 137]. Эти характеристики различаются и по своим значениям, особенно в условиях сильного разбавления морской воды речной водой. А. А. Мусина и Н. И. Микей [92] подтвердили формулу (2.1), но только для вод, хлорность которых выше 1‰. Воду с более низкой хлорностью авторы не анализировали. Соленость, вычисленная по хлорному коэффициенту С. В. Бруевича, имела несколько завышенный результат, так как по существу представляла собой сумму солей.

Уравнение состояния воды, полученное для акватории уральского взморья (2.2), может быть использовано только для вод с повышенным содержанием хлора, так как свободный член этого уравнения оказывается очень высоким. Так, при хлорности, равной 1‰, соленость в этом районе, исходя из формулы (2.2), оказывается равной 5‰, что не является характерным для данного района [55]. Видимо, при получении уравнения (2.2) на результаты химического анализа проб повлияли талые воды из района пересыхающего мелководья восточной части Северного Каспия.

В работе, посвященной физико-химическим свойствам вод Каспийского моря [18], был сделан анализ солевого состава вод на основе материалов, полученных разными авторами и в разное время с помощью методов химического анализа, которые не имели принципиальных различий [22, 80]. Это, в свою очередь, позволило сделать вывод о сходстве результатов, характеризующих солевой состав моря в разное время (табл. 2.1). Для удобства

Таблица 2.1

Солевой состав вод Каспийского моря

Район	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Σсолей
				1897 г., по [80]				
Средний Каспий	5,30	3,03	0,22	3,14	0,08	0,34	0,72	12,83
	34,57	14,62	0,93	31,55	0,47	3,94	13,92	100,00
	—	0,572	0,041	0,592	0,015	0,064	0,136	2,420
				1933 г., по [21]				
Южный Каспий	5,36	3,04	0,21	3,16	0,10	0,33	0,74	12,94
	34,71	14,55	0,73	31,58	0,58	3,85	14,00	100,00
	—	0,567	0,039	0,590	0,019	0,062	0,138	2,414
				1961—1962 гг., по [100]				
Средний Каспий	5,43 *	3,03	0,22	3,24 **	—	0,35	0,74	13,01
	34,74	14,45	0,81	32,06	—	4,00	13,94	100,00
	—	0,557	0,040	—	—	0,064	0,136	2,396
Южный Каспий	5,46 *	3,06	0,22	3,25 **	—	0,36	0,75	13,10
	34,76	14,45	0,91	31,83	—	4,06	13,99	100,00
	—	0,560	0,040	—	—	0,066	0,137	2,399
				1962 г., по [57]				
Северный Каспий	4,51 *	2,59	0,21	2,71 **	—	0,30	0,63	10,95
	34,44	14,62	0,94	31,92	—	4,11	13,97	100,00
	—	0,574	0,047	—	—	0,066	0,140	2,428
				1980—1981 гг., по [50]				
				Предустьевое взморье р. Волги				
Северный Каспий	0,69	0,42	0,124	0,41	0,02	0,07	0,11	1,844
	32,19	14,47	3,84	29,32	0,85	5,36	13,97	100,00
	—	0,609	0,180	0,594	0,029	0,101	0,159	2,672
				Зона смешения морских и пресных вод				
	1,58	0,90	0,14	0,98	0,03	0,12	0,12	3,87
	33,58	14,19	0,81	32,08	0,53	4,45	13,36	100,00
	—	0,570	0,089	0,620	0,019	0,076	0,076	2,449
				Район водообмена между Северным и Средним Каспием				
	4,64	2,62	0,21	2,83	0,06	0,28	0,61	11,24
	34,66	14,42	0,92	32,59	0,40	3,65	13,36	100,00
	—	0,565	0,045	0,610	0,013	0,060	0,131	2,422
Устьевое взморье р. Урала	5,26	2,98	0,21	3,20	0,08	0,31	0,71	12,75
	34,53	14,47	0,79	32,36	0,49	3,63	13,73	100,00
	—	0,566	0,040	0,608	0,015	0,059	0,135	2,424
				1980—1981 гг., по [55]				
Средний и Южный Каспий	4,00	2,16	0,20	2,65	—	0,24	0,52	9,77
	34,14	13,60	0,91	34,74	—	3,62	12,99	100,00
	—	0,540	0,050	0,662	—	0,060	0,130	2,442

Примечание. 1-я строка — концентрация ионов, ‰ по массе; 2-я строка — относительная форма молярной концентрации эквивалентов, %-экв.; 3-я строка — отношение ион/Cl; звездочками отмечены данные для сумм ионов: $Cl^- + Br^-$ (*) и $Na^+ + K^+$ (**).

сравнения результатов рассчитаны концентрации компонентов солевого состава в форме %-экв и хлорных коэффициентов. Различия в этих результатах были невелики и, по-видимому, объясняются погрешностями в ходе эксперимента [18].

Сравнивая солевой состав вод Каспийского моря с солевым составом вод океана и некоторых других морей, Л. К. Блинов [18] показал, что существуют значительные различия в соотношениях концентраций солеобразующих ионов для вод районов, находящихся под непосредственным влиянием материкового стока. Процесс метаморфизации вод моря под влиянием материкового стока приводит к уменьшению относительного содержания хлоридов в общей сумме солей морских вод, увеличению относительного количества карбонатов, сульфатов, кальция, которые являются основными компонентами в химическом составе речных вод (см. табл. 2.1).

Работы, выполненные ГОИНом в 1961—1963 гг., значительно расширили существовавшие ранее представления о солевом составе, солености и электрической проводимости вод Каспийского моря [23, 57, 99, 100, 117, 118, 121, 124].

По результатам исследований [57], солевой состав вод Северного Каспия в диапазоне солености от 2 до 13,5‰ характеризуется следующими зависимостями между основными ионами и хлорностью:

$$SO_4^{2-} = 0{,}032 + 0{,}5666Cl;\ HCO_3^- = 0{,}092 +$$

$$+ 0{,}0135Cl;\ Ca^{2+} = 0{,}056 + 0{,}0538Cl;\ Mg^{2+} =$$

$$= 0{,}010 + 0{,}1341Cl;$$

$$Na^+ = 0{,}120 + 0{,}5643Cl;\ K^+ = 0{,}009 + 0{,}0141Cl. \quad (2.3)$$

Из табл. 2.1 видно, что соотношение концентраций солеобразующих ионов практически не менялось. Абсолютные значения содержания отдельных ионов в водах открытой части моря колеблются незначительно, и увеличение общей минерализации этих вод за 1897—1961 гг. составило 2 % [100].

2.2. Основные природные факторы, влияющие на формирование солевого состава вод

На формирование солевого состава вод Каспийского моря оказывает влияние ряд природных факторов.

Каспийское море относится к типу «море — озеро». По данным на 1960 г., его площадь составила около 367 тыс. км², объем — 77 тыс. м³, средняя глубина — 180 м [117]. Сокращение площади моря происходило в основном за счет мелководного Северного Каспия, средняя глубина которого 5—6 м, максимальная — 20—25 м [48, 117]. В настоящее время соленость вод Северного Каспия характеризуется диапазоном изменений в пространстве от 0,2—0,3 до 13,5‰ [57].

Реки, впадающие в Каспийское море, приносят свыше 270 км³ воды в год, из них на долю Волги приходится около 240 км³ в год, что составляет почти 90 % общего речного стока. Другие относительно крупные реки, впадающие в Каспийское море — Кура, Терек, Самур, Сулак, Урал, протекая по разнообразным скальным породам: от древнейших метаморфических пород (гранитов, сланцев, гнейсов, мрамора и др.) до третичных в предгорьях и четвертичных пород в низменностях [106, 107], оказываются весьма разнообразными по степени минерализации, но все эти реки относятся к карбонатному классу и кальциевой группе, за исключением р. Урала [2].

Солевой сток Волги очень велик (табл. 2.2), и массы волжской воды начинают свой путь от дельты Волги и продолжают его, правда, уже в сильно трансформированном виде, вдоль западного побережья Каспия [99]. Воды Терека, Сулака, Самура усиливают этот мощный поток. Влияние куринских вод прослеживается на расстоянии 5—6 миль от устья реки [98].

Таблица 2.2

Средняя многолетняя концентрация главных ионов, суммарная минерализация и ионный сток рек, впадающих в Каспийское море

Период, годы	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	Суммарная минерализация	Ионный сток, млн т
р. Волга (с. Верхнее Лебяжье)								
1951—1955	120,9	55,8	22,4	49,7	11,2	9,3	269,3	63,9
	26,2	15,4	8,3	32,9	12,3	4,9	100,0	
1976—1980	113,9	53,2	37,6	47,9	10,7	17,8	281,1	63,9
	23,3	13,8	13,2	29,9	11,0	8,8	100,0	
р. Урал (с. Тополи)								
1955—1965	240,3	109,6	172,6	89,9	18,6	127,0	758,0	2,0
	17,8	10,3	21,9	20,21	7,0	22,8	100,0	
р. Терек (станица Каргалинская)								
1930—1968	176,5	111,4	25,4	67,7	19,4	23,9	424,3	3,6
	24,3	19,5	6,0	28,5	13,6	8,1	100,0	
р. Сулак (пос. Миатлы)								
1951—1960	137,7	111,1	31,5	60,7	13,4	39,4	393,8	2,2
	19,9	20,4	7,8	26,9	9,9	15,1	100,0	
р. Самур (с. Ахты)								
1948—1962	110,5	31,1	2,6	28,9	8,4	10,6	192,1	0,4
	35,5	12,8	1,4	28,2	13,7	8,4	100,0	
р. Кура (г. Мингечаур)								
1930—1965	170,8	75,3	15,3	51,0	17,9	21,6	351,0	6,5
	29,1	16,3	4,5	26,5	14,8	8,8	100,0	

Примечание. 1-я строка — концентрация в мг/л, 2-я строка — в %-экв.

Сток Урала мало изучен. Осредненные данные за 1955—1965 гг. по с. Тополи свидетельствуют о том, что воды р. Урала относятся к хлоридному классу и натриевой группе с повышенной минерализацией около 760 мг/л [2, 3, 126]. При этом надо иметь в виду, что водный сток реки составляет около 3 км³/год, т. е. всего 1 % волжского стока. Поэтому влияние р. Урала имеет локальный характер [55].

Таким образом, на формирование солевого состава вод Каспийского моря и, прежде всего, его северной части оказывает влияние в основном сток Волги. Территория ее водосбора сложена разнообразными по возрасту и происхождению породами. Наличие хорошо растворимых и водопроницаемых пород способствует широкому развитию карстовых

явлений. Неоднородность геологического строения и значительная засоленность и закарстованность грунтовой толщи водосборов обусловливают неоднородность химического состава вод, питающих Волгу [108].

Волга имеет разветвленную дельту, вершиной которой условно считают [7, 8, 62] с. Верхнее Лебяжье. Ниже по течению Волга разветвляется на множество рукавов, проток, бывших в геологическом прошлом морским дном и сохранивших в связи с этим типично морские компоненты. Своеобразие водного режима р. Волги в период половодья обусловлено широкими разливами на огромной территории Волго-Ахтубинской поймы. Воды Волги относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе со средней минерализацией около 270 мг/л [2, 3]. После зарегулирования Волги, хотя и сохранилось преобладание карбонатов и кальция в минерализации волжской воды, отмечалось повышение концентраций хлора и щелочных металлов, сульфатов, что привело к некоторому увеличению общей минерализации воды (см. табл. 2.2).

Начиная с 30-х годов уровень Каспийского моря начал падать [48, 66, 76, 105]. Наряду с неблагоприятными климатическими условиями, а также тектоническими процессами, меняющими объем моря, одной из причин этого явления считают уменьшение стока Волги. Общий водный сток относительно объема Каспийского моря невелик и составляет всего 0,35 %, но в связи с тем что море является замкнутым водоемом, речной сток и все изменения, происходящие в нем, качественные и количественные, оказывают большое влияние на формирование современного солевого состава морских вод.

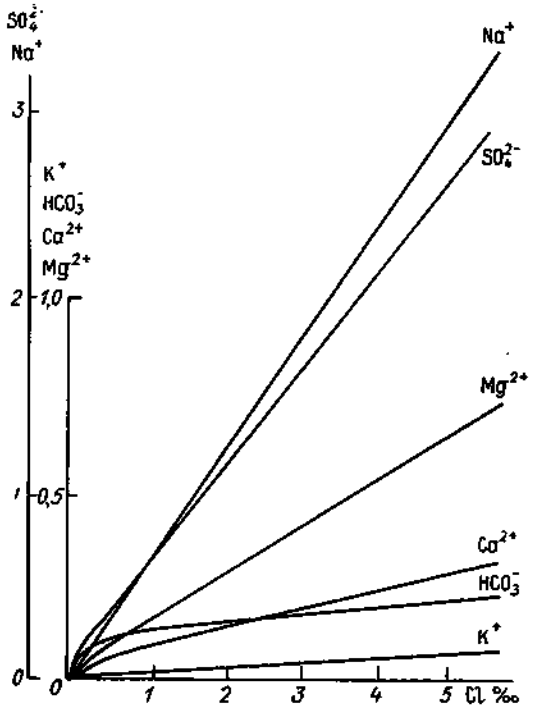


Рис. 2.1. Связь хлорности (Cl ‰) с концентрацией (‰ по массе) главных ионов солевого состава вод Каспийского моря.

2.3. Современный солевой состав и электрическая проводимость вод

В начале 80-х годов в ГОИНе были продолжены исследования минерализации и электрической проводимости вод Каспийского моря [49, 50, 54]. Для определения современного солевого состава его вод были использованы методы, описанные в ряде работ [50, 53]. Измерения относительной электрической проводимости производились с помощью электросолемера ГМ-65 [51, 52].

Минерализация и соленость вод Каспийского моря под влиянием речного стока оказываются гораздо ниже аналогичных параметров, характеризующих океанские воды (см. табл. 2.1).

В направлении от устья Волги в сторону моря в солевом составе вод наблюдается увеличение относительного содержания ионов натрия и хлора и уменьшение содержания гидрокарбонатов и кальция, что характерно для морских вод. Отношение суммы солей к хлорности для вод открытых акваторий Среднего и Южного Каспия равно 2,42 [50, 100].

Графические связи хлор-иона с концентрацией основных солеобразующих ионов обычно имеют линейный характер, что свидетельствует об относительном постоянстве солевого состава значительной части вод Каспийского моря (рис. 2.1). Несколько иной характер имеют графические зависимости, полученные для ионов кальция и особенно гидрокарбонатов, что объясняется существенным влиянием волжских вод на значительную часть акватории моря. Полученная графическая связь минерализации с ее отношением к хлорности показывает постоянство соотношения компонентов со-

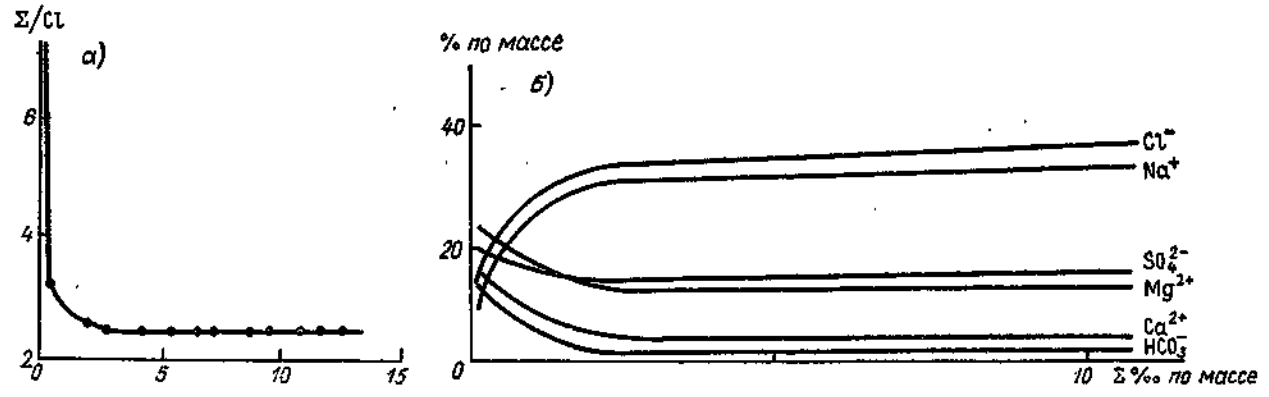


Рис. 2.2. Связь минерализации вод Каспийского моря Σ с отношением минерализации к хлорности Σ/Cl (*а*) и с концентрацией основных ионов солевого состава (*б*).

левого состава вод Каспийского моря, начиная с минерализации, равной 3‰ по массе. Перегиб гиперболы соответствует минерализации, равной 1‰ по массе. Переход от минерализации речных вод к минерализации морских происходит в диапазоне 0,3—3,0‰ по массе, в котором соотношения ионов оказываются непостоянными (рис. 2.2), что в основном имеет место в значительной части Северного Каспия и районах устьевых взморий других рек.

Сравнение относительной электрической проводимости вод Каспийского моря, измеренной в 50-е годы (R'_{20}) [124], с данными, полученными в 80-е годы (R_{20}) [49], показывает, что эта величина за указанный период времени не претерпела существенных изменений. При этом надо иметь в виду, что электрическая проводимость является тем свойством, которое очень быстро реагирует на изменения качественного состава природных вод.

Относительная электрическая проводимость R'_2 вод Каспийского моря была рассчитана по данным наблюдений, полученным в 50-е годы, с помощью океанологических таблиц [94, 95]. К сожалению, в этот период наблюдений отсутствуют сведения об электрической проводимости вод с хлорностью менее 2,5‰. Следует отметить, что значения K'_{20} и R_{20} практически совпадают (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Относительная электрическая проводимость вод Каспийского моря

Cl‰	R_{20}	R'_{20}	Δ
0,57	0,0504	—	—
1,13	0,0889	—	—
1,75	0,1335	—	—
2,28	0,1705	—	—
2,89	0,2094	0,2094	0,0000
3,39	0,2419	0,2408	0,0001
4,19	0,2917	0,2918	—0,0001
5,17	0,3506	0,3503	0,0003

Примечание. Измерения относительной электрической проводимости осуществлялись при температуре 20 °С.

Сравнение характеристик солевого состава вод открытой части Каспийского моря с солевыми составами вод океана и Азовского моря, имеющего опосредованную связь с океаном через Средиземное и Черное моря, показало, что на формирование минерализации вод полузамкнутых морей оказывают влияние как воды Мирового океана, так и материковый сток, который в свою очередь способствует метаморфизации морских вод (табл. 2.4). Ионы хлора постоянно поступают в моря, связанные с океаном, в результате водо- и солеобмена. В замкнутые моря-озера с материковым стоком поступает весьма ограниченное количество хлора.

Чем меньше связь моря с оксаном, тем выше концентрации солеобразующих ионов относительно хлорности и тем больше отношение суммы солей к хлорности — хлорный коэффициент [18, 19, 50]. В связи с этим резко увеличиваются значения относительного содержания солеобразующих ионов в водах Каспийского моря по сравнению с аналогичными значениями, рассчитанными для океана и Азовского моря.

Таблица 2.4

Относительное содержание солеобразующих компонентов в морских водах различной солености

SO_4/Cl	HCO_3/Cl	Na/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	Σ/Cl
Мировой океан					
0,1402	0,0073	0,5560	0,0213	0,0670	1,8156
Азовское море					
0,1664	0,0247	0,5691	0,0213	0,0638	1,8630
Каспийское море					
0,5665	0,0399	0,6074	0,0593	0,1357	2,4224

Таким образом, воды Каспийского моря весьма отличаются по солевому составу от вод океана и других морей, и в связи с этим специально для Каспийского моря были получены уравнения состояния воды.

По данным экспедиции, проведенной ГОИНом в 1983 г. в районе устьевого взморья Урала, влияние уральских вод прослеживается на расстоянии 10 миль от устья реки. Солевой состав вод в этом районе мало чем отличается от солевого состава вод Северного Каспия, являющегося обширной зоной смешения волжских и каспийских вод [63]. В дальнейшем в районах устьевого взморья Урала были использованы уравнения состояния воды, полученные для Северного Каспия.

Для вод Каспийского моря были получены уравнения связи хлорности с основными ионами солевого состава, с суммой солей, соленостью и электрической проводимостью (табл. 2.5) [49, 50, 52, 53].

Таблица 2.5

Уравнения связи компонентов солевого состава и электрической проводимости вод Каспийского моря

Уравнение связи	Номер формулы, используемой в расчете	σ‰
$HCO_3^- = 0{,}111 + 0{,}022Cl - 0{,}000Cl^2$	(2.4)	0,004
$O = 0{,}014 + 0{,}003Cl - 0{,}000Cl^2$		0,000
$SO_4^{2-} = 0{,}147 + 0{,}432Cl + 0{,}017Cl^2$		0,018
$Ca^{2+} = 0{,}022 + 0{,}066Cl - 0{,}002Cl^2$		0,008
$Mg^{2+} = 0{,}029 + 0{,}118Cl + 0{,}002Cl^2$		0,012
$K^+ = 0{,}011 + 0{,}010Cl + 0{,}000Cl^2$		0,004
$Na^+ = 0{,}089 + 0{,}546Cl + 0{,}007Cl^2$		0,006
$\Sigma = 0{,}408 + 2{,}199Cl + 0{,}023Cl^2$		0,028
$S = 0{,}311 + 2{,}176Cl + 0{,}023Cl^2$	(2.5)	—
$Cl = -0{,}074 + 12{,}748R_{20} + 6{,}522R_{20}^2$ для R_{20} от 0,02 до 0,12	(2.6)	0,010
$Cl = -0{,}101 + 13{,}023R_{20} + 5{,}792R_{20}^2$ для R_{20} от 0,12 до 0,40	(2.7)	0,030

Сравнение результатов, полученных с помощью последних уравнений, с результатами, полученными ранее по уравнениям (2.3) [57, 94, 124], подтвердило вывод о стабильности солевого состава вод

Таблица 2.6

Содержание основных солеобразующих ионов (‰ по массе), рассчитанное по формулам (2.3) (I) и (2.4) (II)

Cl^-	SO_4^{2-}		HCO_3^-		Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+		K^+	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1,00	0,60	0,60	0,11	0,13	0,11	0,08	0,14	0,15	0,68	0,64	0,02	0,02
3,00	1,73	1,60	0,13	0,18	0,22	0,21	0,41	0,40	1,81	1,79	0,05	0,04
5,00	2,86	2,74	0,16	0,22	0,32	0,31	0,68	0,66	2,94	3,00	0,08	0,07
5,54	3,17	—	0,17	—	0,35	—	0,75	—	3,25	—	0,09	—
(5,54)	(3,15)	—	(0,22)	—	(0,35)	—	(0,75)	—	(3,33)	—	(0,09)	—
5,26	—	2,90	—	0,22	—	0,33	—	0,70	—	3,16	—	0,08
(5,26)	—	(2,98)	—	(0,21)	—	(0,31)	—	(0,71)	—	(3,20)	—	(0,08)

Примечание. В скобках приведены концентрации ионов солевого состава, полученные из натурных наблюдений.

Каспийского моря (табл. 2.6, 2.7). Различия между фактическими и расчетными данными находятся в пределах точности химического анализа и расчета солевого состава (2 %).

Таблица 2.7

Соленость (‰) вод Каспийского моря, рассчитанная по заданной хлорности по формулам (2.1) и (2.5)

Cl ‰	По формуле (2.1)	По формуле (2.5)	Δ
0,5	1,32	1,40	—0,08
2,0	4,85	4,76	0,09
4,0	9,58	9,38	0,20

Измерения электрической проводимости вод Каспийского моря в широком диапазоне солености [формулы (2.6) и (2.7)] впервые были проведены только в 80-е годы. В этих исследованиях особое внимание было обращено на изучение электрической проводимости вод, хлорность которых была менее 3 ‰ (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Хлорность (‰) вод Каспийского моря, рассчитанная по [124] и по формулам (2.6) и (2.7)

R_{25}	По [124]	По формулам (2.6) и (2.7)	Δ
0,1	—	1,31	—
0,2	—	2,74	—
0,3	4,32	4,33	—0,01

Результаты расчетов солености по формуле (2.1) [128] существенно отличаются от результатов, рассчитанных по формуле (2.5) [50]. Имеющиеся расхождения значительно превышают точность аргентометрического метода определения солености (см. табл. 2.7). По-видимому, это можно объяснить тем, что формула (2.1) была получена на весьма ограниченном количестве данных, о чем упоминалось в начале данной главы. Уравнение (2.5) рассчитано по фактическим анализам проб воды Каспийского моря, выполненным в широком диапазоне хлорности вод — от 0,2 до 5,6 ‰. При этом надо иметь в виду, что получение аналогичных зависимостей для вод ряда внутренних морей было произведено по единым методикам и приведено к солености по методу Кнудсена [50], что в дальнейшем позволило корректно сравнивать результаты исследований солевых составов вод различных морей.

Таким образом, формула связи хлорности и солености вод Каспийского моря (2.5), рассчитанная на основе последних современных данных наблюдений в широком диапазоне солености, является более точной и может быть рекомендована к использованию в практике гидрохимических наблюдений. Применение современных и более точных методов исследований свойств вод внутренних морей, а также рекомендации группы экспертов ЮНЕСКО [93] способствовали в настоящее время созданию для Каспийского моря таблиц пересчета относительной электрической проводимости в соленость [125]. В основе расчета этих таблиц была формула (2.6). Использование электросолемера ГМ-65 позволило провести аналогичные дополнительные работы в диапазоне солености ниже 4 ‰.

2.4. Солевой состав льда Северного Каспия

Большинство ранних исследований было направлено на изучение физических свойств льда, в то время как химический состав льда Северного Каспия оставался малоизученным. Так, в литературе имеются некоторые сведения о хлорности льда [31, 77, 96, 138], его электрической проводимости [83, 84], о концентрациях кальция, магния и сульфатов, значениях щелочности и pH, а также солености льда, определенной по сухому остатку [77, 135], о содержании фосфатов, нитритов и нитратов [96]. Наиболее полные комплексные ледохимические наблюдения в Северном Каспии по определению основных ионов солевого состава, растворенных форм биогенных элементов и значений pH были проведены ГОИНом в 1985—1986 гг. [138, 139].

Существующие различия в наборе определяемых компонентов и в методиках отбора, хранения и анализа исследуемых проб, а также значительные временные интервалы в наблюдениях разных исследователей практически не дали возможности провести сравнение и всестороннее обобщение всего имеющегося массива данных. Только в ряде работ [138, 139] приводятся в аспекте трактовки по В. Л. Цурикову [135] данные по солености каспийского льда, которые наиболее близки к значе-

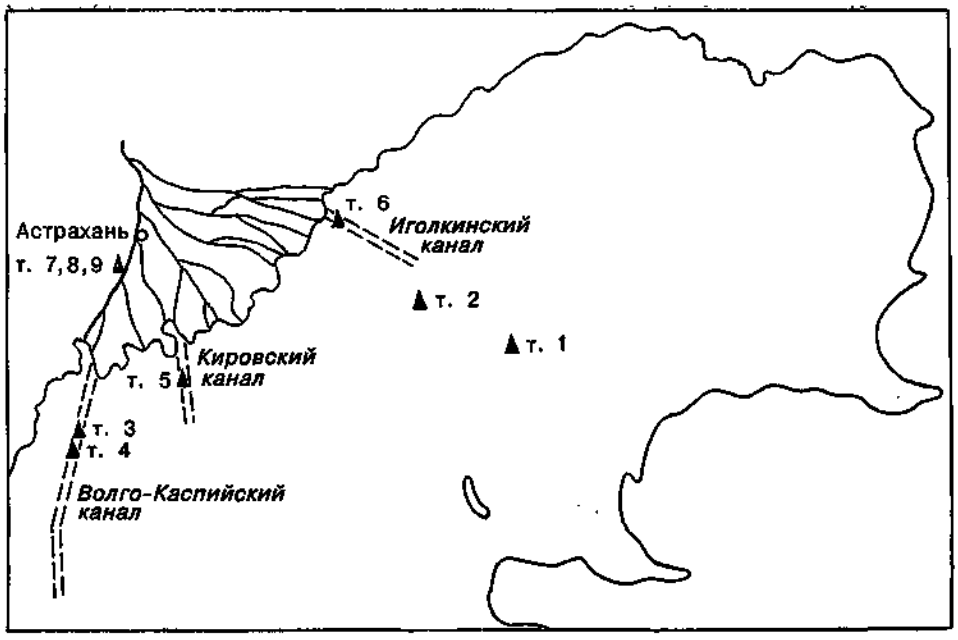


Рис. 2.3. Схема расположения пунктов ледохимических наблюдений в Северном Каспии в 1985—1986 гг.

Номер точки	Дата наблюдения	Номер точки	Дата наблюдения
	1985 г.		1986 г.
1	21 II	6	3 III
2	21 II	7	20 II
3	23 II	8	2 III
		9	12 III
	1986 г.		
4	18 II		
5	24 II		

ниям солености, определяемой по сухому остатку. В ряде случаев при типизации вертикального распределения солености льда [83, 84, 104] использовались такие показатели, как относительное изменение солености и электрическая проводимость расплава льда. В то же время рассчитать абсолютное значение принятой для льда солености не представляется возможным, так как формулы ее связи с электрической проводимостью или массой сухого остатка отсутствуют. На примере данных В. С. Красновой [77] показано, что нельзя использовать показатель хлорности льда Каспийского моря ни для расчета его солености, ни как показатель относительных изменений, так как коэффициенты корреляции между хлорностью льда и его соленостью, определенной по сухому остатку, меняются в разных точках отбора проб от — 0,17 до 0,39, т. е. связь практически отсутствует. Обоснованное и корректное сравнение данных разных авторов по отдельным компонентам солевого и биогенного состава льда без учета его солености невозможно, так как одним из основных параметров, определяющих концентрацию конкретного компонента химического состава во льду, является отношение значений солености, полученных для льда и воды [139, 140].

Химический состав льда волжских каналов и устьевого взморья Волги практически не изучен. Поэтому при проведении натурных исследований в Северном Каспии основное внимание в работах последних лет [138, 139, 140] было направлено на изучение состава льда в районе волжского взморья (рис. 2.3).

2.4.1. Соленость * льда

Для вод нижнего течения р. Волги и волжских каналов (точки 4—9) характерны льды соленостью менее 24 мг/л (табл. 2.9). Им соответствуют коэффициенты вовлечения $K_в$ (отношение средней концентрации химического компонента во льду к его концентрации в подледной воде), равные 1,3—4,8 %. Соленость нижних слоев льда, образовавшихся позднее, увеличивается (рис. 2.4, 2.5), поскольку она формируется из более минерализованной воды. Подтверждением этому служат более тонкие льды Кировского и Иголкинского каналов, соленость которых значительно ниже.

Изменение солености льда во времени было показано на примере проб, отобранных в точках 7—9 с интервалом в 10 сут. В первые 10 сут толщина льда увеличилась на 2 см, при этом соленость верхнего слоя льда понизилась на 1,5 мг/л за счет незначительной миграции солей, а нижнего — повысилась на 5,7 мг/л. В течение следующих 10 сут происходило ледотаяние, в результате которого толщина льда уменьшилась на 9 см, что в свою очередь сопровождалось опреснением льда и подледной воды (см. табл. 2.9). Аномальной по солености льда в этом районе является т. 3, где при том же порядке солености подледной воды наблюдается более соленый лед ($K_в = 11{,}5$ %), что объясняется, по-видимому, выпадением на лед кислых осадков, которые способствовали осолонению маломинерализованного льда.

По мере удаления от края дельты соленость подледной воды возрастает в точках 2 и 1 до 900 и 5000 мг/л соответственно, увеличивается в этих точках и соленость льда — до 70 и 400 мг/л соответственно.

Вертикальное распределение солености в т. 1 с максимумом в нижних слоях (см. рис. 2.6) характерно для полностью сформировавшихся льдов и является результатом интенсивной миграции солей из верхнего слоя в нижний. В Каспийском море такой тип распределения солености наблюдался исследователями и раньше [45, 83, 84, 135]. В т. 2, напротив, наблюдается уменьшение солености льда к нижним слоям (см. табл. 2.9, рис. 2.6), что связано с опресняющим действием речного стока, распространяющегося подо льдом. Такое распределение характерно для взморья реки.

В направлении от Северного Каспия к Среднему с ростом солености воды должна возрастать и соленость льда. Однако в этом же направлении

* По аналогии с принятым для льда определением солености [135] здесь и далее под соленостью снега и воды также подразумевается сумма ионов солевого состава.

Таблица 2.9

Ионный состав (мг/л) наледного снега, отдельных слоев льда (см) и подледной воды

Среда	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Σсолей	d *
Точка 1									
Снег	182	6	55	27	318	227	15	830	1,00245
Слой льда:									
0—17	38	2	19	7	61	74	18	219	1,00206
18—35	67	3	26	12	114	100	24	346	1,00214
36—53	130	5	43	16	229	155	28	606	1,00231
Вода	1060	50	295	158	2082	889	144	4678	1,00487
Точка 2									
Снег	18,5	0,4	7,3	0,0	2,0	64,3	1,2	93,6	1,00198
Слой льда:									
0—17	2,3	0,5	10,3	6,2	3,5	25,0	39,7	87,4	1,00198
18—35	11,4	1,2	9,4	0,0	15,4	34,3	9,2	80,9	1,00198
36—52	4,5	0,7	7,0	0,0	5,0	27,0	5,6	49,8	1,00196
Вода	134	4	72	68	452	38	104	872	1,00247
Точка 3									
Снег	1,2	0,8	8,7	0,0	1,3	36,0	0,0	47,9	1,00195
Слой льда:									
0—19	0,6	0,7	6,3	0,0	0,8	22,1	4,8	35,3	1,00195
20—39	0,8	0,6	6,1	0,0	0,6	21,3	5,6	35,0	1,00195
Вода	25	4	18	37	37	94	91	306	1,00211
Точка 4									
Слой льда:									
0—21	0,4	0,2	0,0	1,2	1,1	1,4	1,3	5,6	1,00170
22—43	0,7	0,2	0,6	1,9	2,8	2,7	2,8	11,7	1,00156
Вода	20	4	14	54	60	90	76	318	1,00200
Точка 5									
Слой льда:									
0—18	0,3	0,1	0,0	1,0	1,3	1,2	0,3	4,2	1,00093
Вода	19	3	7	62	32	109	88	320	1,00210
Точка 6									
Слой льда:									
0—17	0,2	0,2	0,0	1,2	1,1	1,2	1,0	4,9	1,00102
Вода	19	4	7	62	32	111	85	320	1,00195
Точка 7									
Слой льда:									
0—19	0,5	0,2	0,0	2,0	2,1	1,7	1,8	8,4	1,00170
20—39	0,7	0,3	0,7	3,8	4,6	4,6	3,7	18,4	1,00140
Вода	19	5	7	77	31	146	87	372	1,00180
Точка 8									
Слой льда:									
0—20	0,3	0,2	0,0	2,0	1,9	1,6	1,8	7,9	1,00133
21—41	1,5	0,7	1,0	4,2	6,4	6,0	4,3	24,1	1,00126
Вода	19	4	7	66	31	109	100	336	1,00182
Точка 9									
Слой льда:									
0—15	0,2	0,2	0,0	1,4	1,2	1,4	1,2	5,7	1,00156
16—32	1,5	0,5	0,7	1,7	3,5	3,9	2,4	14,4	1,00125
Вода	5	1	12	38	15	71	73	215	1,00197

* Все единицы объема жидкой пробы при температуре 20 °С.

процесс ледообразования замедляется, поэтому уменьшается количество рассола, захватываемого нарастающим льдом. Увеличение солености льда под влиянием солености воды может быть полностью компенсировано замедлением роста льда, что в свою очередь, подтверждается данными работы [77], согласно которым $K_в$ (для солености, рассчитанной по сухому остатку) увеличивается от 44 до 51 % при росте солености воды от $17 \cdot 10^2$ до $4 \cdot 10^3$ мг/л. Однако при дальнейшем увеличении солености до $11 \cdot 10^3$ и $12 \cdot 10^3$ мг/л отмечается уменьшение $K_в$ до 8 и 15 % соответственно. При этом необходимо отметить, что в феврале 1934 г., когда В. С. Краснова проводила наблюдения, на Северном Каспии были весьма суровые погодные условия, поэтому процессы ледообразования протекали интенсивнее и соленость льда в целом была выше.

В результате замедления процесса ледообразования в море по мере продвижения на юг соленость льдов, образовавшихся в Среднем Каспии, оказывается ниже солености льдов Северного Каспия. Например, в феврале 1969 г. соленость льдов в прикромочной области Северного Каспия изменялась от 4,0 до 5,0 ‰ [96], соленость прибрежных льдов Среднего Каспия составляла 2,0—4,5 ‰ в районе Махачкалы и 1,5—3,5 ‰ в районе Апшерона; в декабре 1969 г. соленость льдов в Красноводском заливе колебалась от 2,0 до 3,5 ‰, в районе Аладжа — порт — от 1,5 до 4,0 ‰ [45].

Соленость приносных льдов, наблюдавшихся в тех же районах Среднего Каспия, примерно в полтора раза ниже, чем соленость местных льдов [45]. Это объясняется тем, что в процессе дрейфа льда через открытые районы Среднего Каспия его температура при контакте с более теплыми

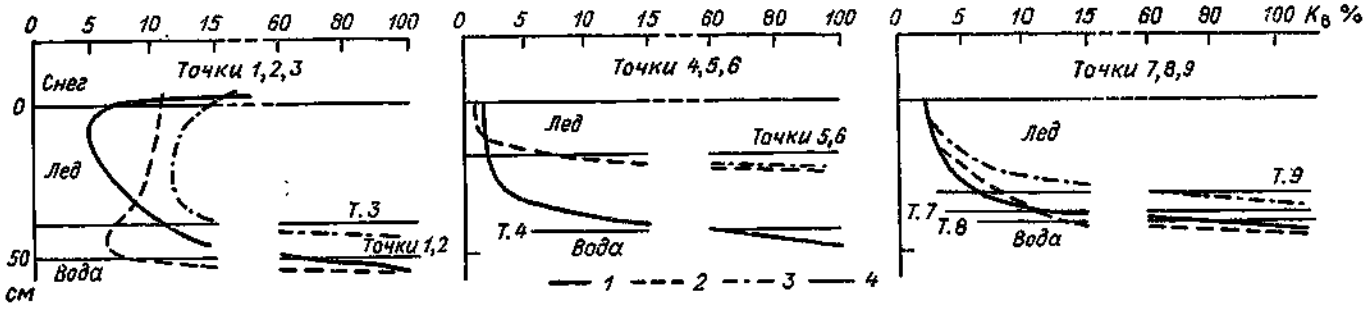


Рис. 2.4. Вертикальное распределение суммарного коэффициента вовлечения $K_в$ в системе снег — лед — вода.

1 — точки *1, 4, 7*; *2* — точки *2, 5, 8*; *3* — точки *3, 6, 9*; *4* — нижняя граница льда в точке наблюдения

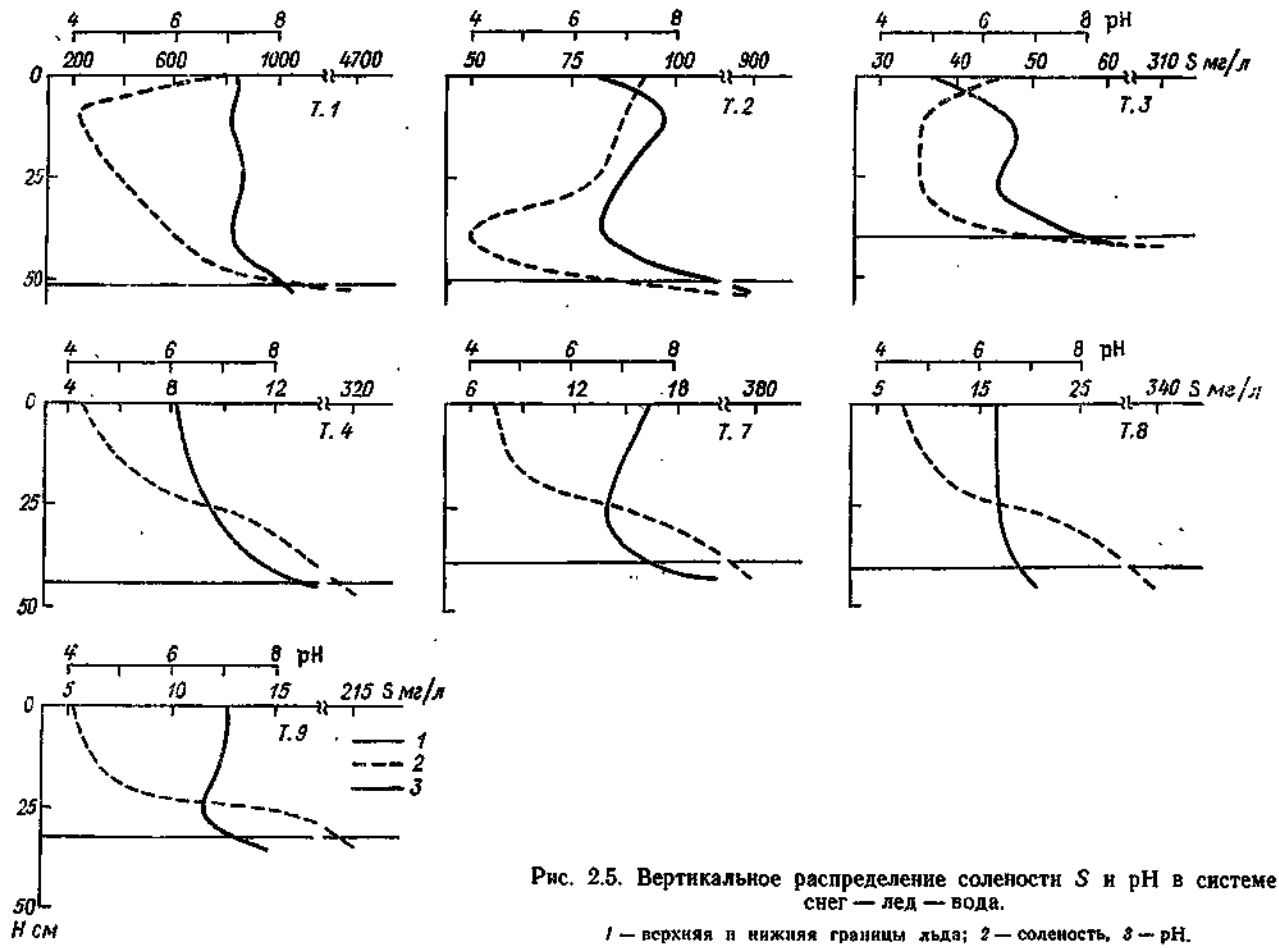


Рис. 2.5. Вертикальное распределение солености S и pH в системе снег — лед — вода.

1 — верхняя и нижняя границы льда; *2* — соленость, *3* — pH.

водами повышается, в результате чего происходит частичное опреснение льда.

В различные годы соленость льда в разных районах Каспийского моря может значительно меняться. Так, соленость льда в дельте Волги в 1952 г. была в два раза выше, чем в этом же районе в 1985—1986 гг. [138, 139]; соленость льда в прикромочной области в феврале 1960 г. составляла 0,05—3 ‰, а в феврале 1969 г. — 3,9—5,0 ‰. Столь значительные изменения солености льда во времени определяются в основном климатическими условиями, которые влияют на интенсивность ледообразования, гидрологические процессы, изменяющие соленость и химический состав замерзающей воды, структуру образующегося льда и т. д.

Следует помнить, что все проводимые сравнения являются весьма условными, так как в одних случаях соленость льда оценивалась по хлорности [96], в других — по электрической проводимости [83, 84], а в третьих — по сумме ионов солевого состава [139, 140]. Кроме того, наблюдения проводились в разные зимние месяцы. Все это позволяет получить лишь вероятностное представление о возможном характере пространственно-временной изменчивости солености каспийского льда.

Характер вертикального распределения солености льда в Северном Каспии очень разнообразен. Здесь встречаются все типы распределений [135], кроме профилей с двумя выраженными минимумами солености (типы 3 и 5 согласно В. Л. Цурикову), характерных для морских льдов.

Соленость наледного снега формируется под влиянием двух факторов: поверхностного рассола, выделяющегося изо льда, и солей, поступающих с атмосферными осадками. Степень влияния первого фактора зависит от солености льда, температуры его поверхности и возраста снега: в случае относительно соленого льда, температур, недостаточных для отвердевания рассола, и снега, давно выпавшего на лед, этот фактор является определяющим. Например, соленость снега и $K_в$ в т. 1 равны 830 мг/л и 17,7 % соответственно. В случае свежевыпавшего снега, особенно если он выпал на маломинерализованный лед, как это было в т. 3, его соленость, равная 48 мг/л ($K_в = 15{,}7$ %), определяется количеством солей, поступающих с атмосферными осадками. Соленость снега в т. 2, равная 94 мг/л, ($K_в = 10{,}7$ %) свидетельствует о том, что она была сформирована под влиянием обоих факторов. При этом надо иметь в виду, что выделение фактора, определяющего соленость снега, возможно лишь при всестороннем изучении химического состава снега.

2.4.2. Солевой состав и pH льда

Солевой состав льда нижнего течения р. Волги и волжских каналов существенно отличается от состава подледной воды. Для воды характерно преобладание сульфатных и гидрокарбонатных солей кальция (см. табл. 2.9, точки 4—9), для льда — примерное равенство концентраций всех солеобразующих ионов. Этому соответствуют следующие коэффициенты вовлечения ионов:

Ион...	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+
$K_в$ %...	0,3—3,2	1,1—3,8	3,3—14,8	0,7—7,1	1,6—4,7	1,0—16,3	3,0—26,9

Наиболее высокие значения $K_в$ хлора и калия могут быть связаны как с несовпадением составов исходной и подледной воды, так и с избирательным характером вовлечения ионов в лед. Так, в работе [73] было показано, что вовлечение анионов в маломинерализованных водах уменьшается в ряду $Cl^- — SO_4^{2-} — HCO_3^-$. В более соленых, относительно сформировавшихся льдах такая избирательность вряд ли может наблюдаться, так как хлориды в силу низкой температуры эвтектики обладают наибольшей миграционной способностью, что и подтверждается данными наблюдений в точках 1 и 2. Действительно, с увеличением солености воды и приближением ее состава к составу северокаспийских вод, во льду, хотя и наблюдается увеличение концентраций хлора, калия и натрия, их $K_в$ уже в т. 2 становится ниже, чем $K_в$ сульфатов и гидрокарбонатов, а в т. 1 и ниже $K_в$ магния и кальция.

Солевой состав льда в т. 3, в которой состав воды близок к составу воды в точках 4—9, оказывается аномальным, так как подавляющее количество солей в ней приходится на сульфат магния ($K_в$ магния — 35 %, $K_в$ сульфат-иона — 23 %). По-видимому, солевой состав льда этого района был сформирован под влиянием атмосферных осадков с подавляющим содержанием сульфатов.

Вертикальные изменения солевого состава льда и его отличие от солевого состава воды наиболее наглядны при рассмотрении солевого состава в %-эквивалентных концентрациях (табл. 2.10). Для состава вод в точках 3—9 характерно следующее соотношение ионов: анионы — $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$, катионы — $Ca^{2+} > Na^+ \approx Mg^{2+} > K^+$. Среднее по толщине льда соотношение ионов в точках 4—9 следующее: анионы — $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$, катионы — $Ca^{2+} > Na^+ > K^+$.

К нижним слоям льда относительные концентрации сульфат- и гидрокарбонат-ионов, кальция и калия уменьшаются, хлор-иона увеличиваются (рис. 2.6). Причем для тонких льдов Кировского и Иголкинского каналов и верхних слоев более толстых льдов в других районах оказывается характерным отсутствие магния, в то время как в нижних слоях льдов концентрации магния выше, чем натрия. Отчасти это может быть обусловлено миграцией солей и смещением равновесий при отрицательных температурах в основных солевых системах [144], но определяющим фактором, видимо, явилось образование верхних и нижних слоев льда из различных по происхождению и составу исходных вод, а также влияние атмосферных осадков.

Значимые вертикальные изменения в солевом составе льда в т. 3 не наблюдались: для верхнего и нижнего слоев льда относительные концентрации магния и сульфат-иона составили более 40 %-экв при малых относительных концентрациях остальных ионов и полном отсутствии кальция (см. табл. 2.10). Химический состав снега отличается от химического состава льда отсутствием гидрокарбонатного иона.

Для pH льда в точках 3—6 характерно изменение в диапазоне 6,23—6,89 (см. табл. 2.10), при

Таблица 2.10

Ионный состав (%-экв) и pH наледного снега, отдельных слоев льда (см) и подледной воды

Среда	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	pH
				Точка 1				
Снег	28,416	0,574	16,156	4,854	32,178	16,934	0,889	7,10
Слой льда:								
0—17	22,864	0,556	21,684	4,896	24,265	21,710	4,025	7,05
18—35	25,654	0,563	18,688	5,095	28,204	18,363	3,433	7,20
36—53	27,882	0,580	17,528	4,011	31,804	15,949	22,247	7,05
Вода	28,966	0,803	15,271	4,959	36,895	11,628	1,478	8,15
				Точка 2				
Снег	28,422	0,361	21,217	0,000	1,997	47,307	0,696	6,25
Слой льда:								
0—17	3,860	0,501	33,432	12,203	3,887	20,495	25,618	7,75
18—35	19,071	1,180	29,749	0,000	16,716	27,482	5,802	6,95
36—52	12,358	1,135	36,506	0,000	8,827	35,435	5,738	6,45
Вода	19,145	0,353	19,406	11,096	41,835	2,572	5,594	8,90
				Точка 3				
Снег	3,181	1,301	45,518	0,000	2,338	47,662	0,000	4,35
Слой льда:								
0—19	2,135	1,598	46,267	0,000	2,002	41,017	6,981	6,55
20—39	3,151	1,390	45,459	0,000	1,532	40,157	8,310	6,30
Вода	12,127	1,227	16,158	20,488	11,622	21,761	16,617	8,45
				Точка 4				
Слой льда:								
0—21	11,553	3,045	0,000	35,402	18,298	18,293	13,410	6,25
22—43	8,337	1,670	13,326	26,668	21,940	15,559	12,502	6,89
Вода	8,875	1,042	12,021	28,063	17,604	19,479	12,917	8,99
				Точка 5				
Слой льда:								
0—18	11,198	1,489	0,000	37,310	28,029	18,182	3,786	6,23
Вода	8,824	0,926	6,482	33,769	9,695	24,619	15,686	7,89
				Точка 6				
Слой льда:								
0—17	6,950	2,772	0,000	40,279	20,838	17,362	11,800	6,78
Вода	8,983	1,028	6,277	33,712	9,848	25,000	15,152	7,90
				Точка 7				
Слой льда:								
0—19	7,939	2,385	0,000	39,676	23,810	14,287	11,903	7,10
20—39	5,072	1,399	10,486	33,043	22,727	16,784	10,489	6,62
Вода	7,668	1,066	5,302	35,964	8,275	28,444	13,281	8,79
				Точка 8				
Слой льда:								
0—20	5,653	2,613	0,000	41,670	22,905	14,575	12,497	6,32
21—41	8,398	2,534	11,203	27,865	24,001	16,667	9,332	6,43
Вода	8,684	1,045	6,029	34,242	9,248	23,615	17,137	7,03
				Точка 9				
Слой льда:								
0—15	5,955	2,375	0,000	41,670	20,235	17,862	11,903	7,05
16—32	14,863	2,702	12,845	19,591	22,522	18,468	9,011	6,66
Вода	3,597	0,530	15,353	30,521	7,212	23,558	19,231	7,30

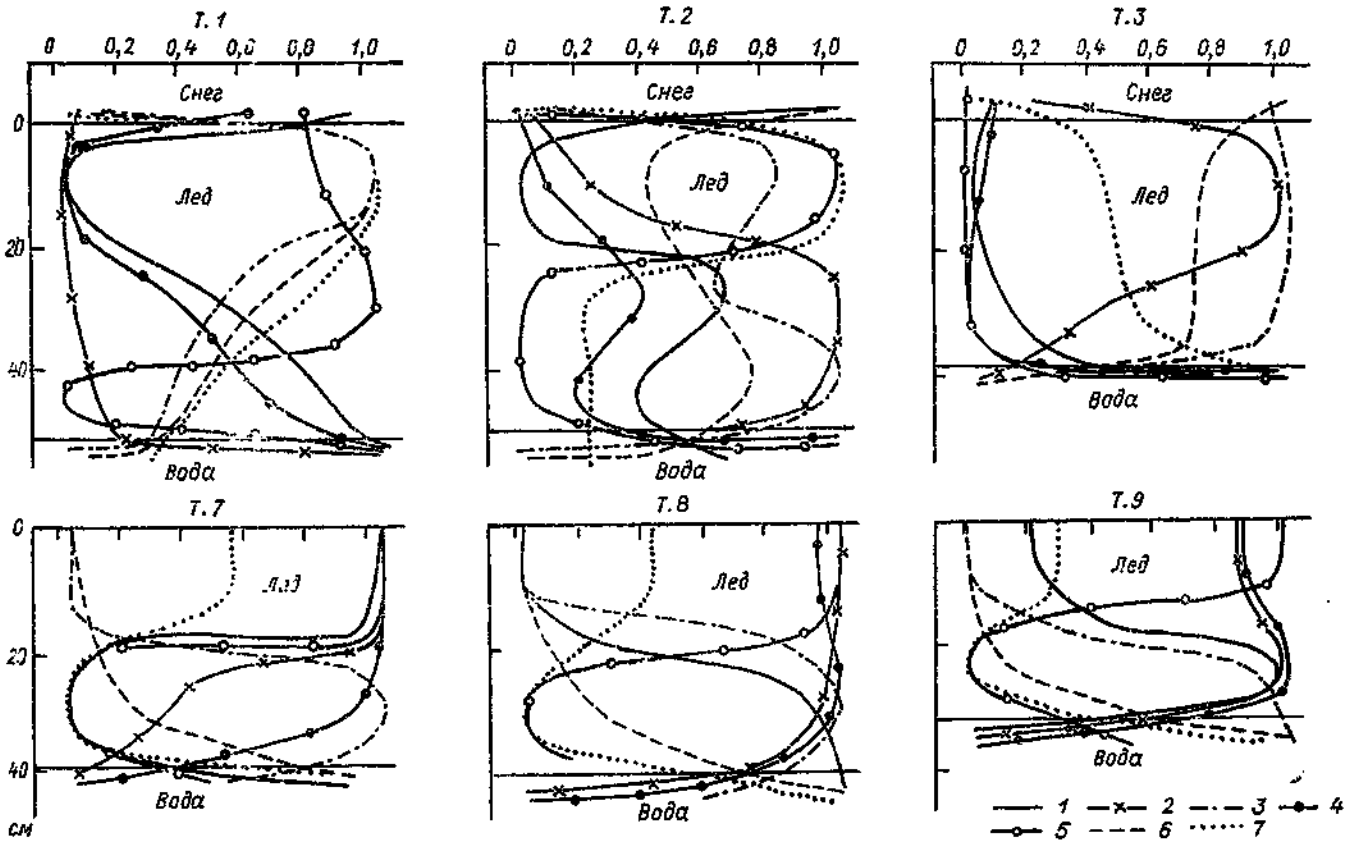


Рис. 2.6. Вертикальное распределение концентраций главных ионов солевого состава в системе снег — лед — вода (%), приведенных к безразмерному интервалу 0—1,0.

1 — Na^+; *2* — K^+; *3* — Mg^{2+}; *4* — Ca^{2+}; *5* — Cl^-; *6* — SO_4^{2-}; *7* — HCO_3^-.

этом слою с большей соленостью обычно соответствует большее значение pH. Исключением являются верхние слои льда в точках 7 и 9, где понижению солености соответствуют максимальные значения pH — 7,10 и 7,05. Значения pH в воде измерялись в широких пределах (7,03—8,99), но во всех случаях они оказывались выше pH льда. Снег, отобранный в т. 3, характеризовался наименьшими значениями pH (4,35), что свидетельствовало о выпадении здесь кислых атмосферных осадков.

Результаты анализов проб, отобранных в т. 1, показали, что составы льда и воды различаются здесь меньше, чем в других точках, несмотря на увеличение относительных концентраций магния, сульфат- и гидрокарбонат-ионов и соответствующего снижения относительных концентраций хлора и натрия (см. табл. 2.10) во льду (особенно его верхнем слое) по сравнению с водой. По-видимому, в данном случае определяющими факторами в формировании солевого состава льда были процессы механического вовлечения рассола и последующей миграции солей. Солевой состав наледного снега близок к солевому составу подледной воды, и это свидетельствует о преобладающем влиянии поверхностного рассола в формировании состава снега. В распределении pH по вертикали изменчивость небольшая: для снега pH = 7,05, для льда pH = 7,2, однако в воде значения pH повышаются до 8,15.

Изучение солевого состава воды и льда в т. 2 (см. табл. 2.10) показало, что здесь имеют место наибольшие вертикальные изменения от слоя к слою относительных концентраций ионов: до 10—15 %-экв натрия, до 7 %-экв магния, до 12 %-экв кальция и pH от 6,45 до 7,75. В этой точке наиболее явно проявилось изменение свойств исходной воды под влиянием гидрологических процессов. Кроме того, здесь также весьма существенное влияние на формирование состава льда оказывает механическое вовлечение рассола и миграции солей, что характерно для т. 1, а также проявляется и воздействие атмосферных осадков, характерное для т. 3. Это относится и к наледному снегу, солевой состав и pH которого по своим значениям занимают промежуточное положение между аналогичными химическими показателями точек 1 и 3 (см. табл. 2.10).

2.5. Современный солевой баланс моря

Солевой баланс Каспийского моря, рассчитанный в 1937 г. С. В. Бруевичем [22], учитывал около 70 млн т солей, поступающих со стоком рек, и вынос солей в зал. Кара-Богаз-Гол в количестве 260 млн т. Карбонаты, содержащиеся в речном стоке, составляют около 57,5 % минерализации речных вод [22], и основная их часть оседает в донных отложениях. Лишь 30 млн. т некарбонатных солей в растворенном виде поступает в море. Таким образом, годовое уменьшение солей в море достигает 230 млн. т, но в пересчете на соленость оно оказывается незначительным — 0,0029 ‰.

По другим данным [100], поступление солей с речным стоком за год составляет около 72 млн т, из них в осадок выпадает около 39 млн т. Средний годовой вынос солей в зал. Кара-Богаз-Гол при-

мерно равен 180 млн т. По этим данным ежегодное уменьшение солености вод моря будет равным 0,0019 ‰.

Необходимо отметить, что в работах [22, 100] авторы при расчете солевого баланса не учитывали то количество солей, которое поступает в море с подземным стоком, осадками, а также и ветровой вынос солей, т. е. те составляющие баланса, которые, как будет показано далее, оказываются весьма существенными для Каспийского моря.

Л. К. Блиновым [16] была проведена экспериментальная работа по исследованию ветрового выноса солей с поверхности Каспийского моря и их притока в море с атмосферными осадками. Автор представил береговую границу равной длине большой оси Каспийского моря (1200 км) и гипотетически рассчитал, что количество солей, выносимых с поверхности моря ветром перпендикулярно этой границе при средней годовой скорости ветра 6 м/с, равно 23 млн т в год. Это значение составляет 32 % количества солей, приносимых речным стоком [22], и представляется весьма условным по ряду причин:

— во-первых, благодаря допущениям в методике расчета, на которые указывает и сам автор;

— во-вторых, в связи с тем, что сумма солей в пробах воздуха рассчитана по хлорному коэффициенту, равному 2,39 и полученному для каспийских вод, в то время как в пробах воздуха и осадках автором были определены лишь хлориды и сульфаты. Хотя Л. К. Блинов и не производил расчет солевого баланса, но при этом он высказывал предположения о том, что ветровой вынос солей с поверхности моря будет компенсироваться поступлением солей за счет ветра.

Автор данного раздела не согласен с этим положением, так как ветер с суши, несомненно, несет значительно меньше солей, чем ветер с моря. Если взять за основу составляющую водного баланса за счет испарения и считать, что испаряющаяся влага уносится ветром и имеет среднюю минерализацию 0,206 мг/м^3 [16], то получим, что с поверхности моря уносится только 77 т солей в год, т. е. намного меньше того значения, которое приведено в работе Л. К. Блинова. По отношению к другим составляющим солевого баланса ею можно пренебречь, как, видимо, и поступлением солей с суши.

Исследования по изучению минерализации вод подземного стока были проведены Л. С. Ивановой [62] в районе Прикаспийской низменности и Н. Ф. Глазовским [39] на всем протяжении побережья Каспийского моря. Оба исследователя пришли к выводу, что укоренившееся представление о малом значении подземного стока в расчете водного баланса Каспийского моря, не может быть отнесено к расчету солевого баланса. Средняя минерализация подземных вод Прикаспийской низменности составляет около 70 г/л [62]. Данные Н. Ф. Глазовского более полные, так как его исследования охватывают не только территорию Прикаспийской низменности, но также Кавказское побережье и Терско-Кумский район [39]. В его работе показано, что поступление в Каспийское море типично морских компонентов — хлора, натрия, а также некоторых микрокомпонентов — иода, брома, бора, лития — происходит преимущественно с подземными водами. Это говорит о важнейшей роли подземного стока в формировании солевого состава вод Каспийского моря. По данным [39], минерализация подземных вод моря колеблется в весьма широких пределах — от 18,0 до 36,0 г/л (табл. 2.11). В данной работе при расчете подземной составляющей солевого баланса моря использовалась средняя минерализация подземного стока, полученная по данным Н. Ф. Глазовского.

Таблица 2.11

Средние многолетние значения составляющих солевого баланса Каспийского моря

Приход	Количество солей		Расход	Количество солей, тыс. т
	тыс. т	% от суммы поступления солей		
Ионный сток рек:				
Волга	63 922	31,4	Расход солей с испарением	0,077
Урал	3 487	1,7		
Терек	2 502	1,2		
Сулак	1 333	0,7		
Самур	403	0,2		
Кура	5 686	2,8		
Поступление солей с водами подземного притока	122 220	60,6	Осаждение карбонатных солей	45 929
Поступление солей с атмосферными осадками	4 048	2,0	Сумма	45 929
Сумма	203 601	—		
Приход—расход	157 672			

Для расчета следующей статьи солевого баланса автором данного раздела были использованы средние значения водного стока и минерализации вод крупных рек за 1976—1980 гг. Исходя из предположения, что все соли карбоната кальция, поступающие с речным стоком, осаждаются в районе устьевых взморий рек, для каждой реки было рассчитано по содержанию карбонатов эквивалентное им количество кальция, что составило около 46 000 тыс. т в год и было отнесено в расходную часть солевого баланса моря [54].

Итак, в предлагаемом расчете солевого баланса Каспийского моря были использованы более поздние данные, полученные по водному стоку и его минерализации; в расчет баланса впервые была введена подземная составляющая, обеспечивающая, как оказалось, 60 % общего притока солей в море; было учтено поступление на акваторию моря солей с осадками; а также было показано, что в результате испарения с поверхности Каспийского моря уходит весьма незначительное количество солей в общем солевом балансе моря.

В связи с зарегулированием стока Волги, питающей Каспийское море, перекрытием зал. Кара-Богаз-Гол, который в последние годы потреблял около 6 км^3 каспийской воды, появилась необходимость уточнения солевого и водного баланса Каспийского моря.

В последние годы до перекрытия залива (1975—1980) водный сток в него составлял 5—6 км^3 в год, что способствовало выносу из моря около 76,5 млн т солей. Правда, при этих условиях результирующая солевого баланса моря была положительной и составляла около 80 млн т, а годовое приращение солености вод моря было равно 0,001 ‰.

После перекрытия в 1980 г. зал. Кара-Богаз-Гол наибольшая по значению отрицательная составляющая солевого баланса Каспийского моря была выведена из расчета и положительная результирующая солевого баланса моря увеличилась.

В настоящее время ежегодно в Каспийское море поступает около 157,7 млн т солей, что составляет 0,019 % общего его солезапаса. Принимая объем моря равным 78 тыс. км³ [6], можно рассчитать ежегодное приращение солености вод Каспийского моря ΔS:

$$\Delta S = (157{,}7 \cdot 10^9)/(78 \cdot 10^{12} \cdot 1{,}011) \sim 0{,}0^{\cdot}2\,‰.$$

Если сохранятся эти условия, то в течение 100 лет соленость вод Каспийского моря возрастет на 0,2‰; если же восстановится сток вод в зал. Кара-Богаз-Гол, то годовое приращение уменьшится до 0,001‰. В обоих вариантах изменения солености будут весьма незначительными.

Заключение к гл. 2

Воды открытой части Среднего и Южного Каспия характеризуются относительным постоянством солевого состава, который отличается от солевого состава вод океана повышенным относительным содержанием карбонатов, кальция, сульфатов и пониженным — хлора и натрия.

Сравнение данных по солевому составу и электрической проводимости вод Каспийского моря, которые были получены в 50-е годы, с аналогичными данными 80-х годов показало, что солевой состав вод моря довольно стабилен. Так, соотношение суммы солей и хлорности, равное 2,42 и ранее рассчитанное для вод открытых акваторий Среднего и Южного Каспия, в 80-е годы оставалось неизменным.

Солевой состав вод Северного Каспия оказывается весьма метаморфизированным под влиянием материкового стока и характеризуется значительным ростом относительных количеств тех компонентов солевого состава, которые являются основными и в химическом составе речных вод. Постоянство соотношений компонентов солевого состава наблюдается в Северном Каспии, начиная с минерализации, равной 3‰ по массе; при минерализации вод в диапазоне 0,3—3‰ по массе постоянство ионных соотношений компонентов отсутствует.

В течение длительного времени Каспийское море и его бассейн подвергаются значительному антропогенному воздействию. В результате зарегулирования стока Волги и поступления загрязняющих веществ в ее воды произошли качественные изменения в минерализации волжской воды. Известно, что воды Волги относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. После зарегулирования сохранилось преобладание карбонатов и кальция в солевом составе волжской воды, но при этом отмечается рост концентраций хлора, щелочных металлов, сульфатов, что привело к увеличению общей минерализации вод.

В 80-е годы в ГОИНе для вод Каспийского моря были получены новые уравнения связи хлорности с основными ионами солевого состава, с суммой солей, соленостью и электрической проводимостью. С помощью этих уравнений было проведено уточнение солевого состава вод Каспийского моря, прежде всего его северной части, наиболее подверженной влиянию речного стока.

Было показано, что в настоящее время влияние антропогенного фактора не нашло заметного отражения в изменении солевого состава вод Северного Каспия. Известно, что солевой состав морских вод отличается значительной консервативностью по сравнению с другими гидрохимическими показателями, и заметные в нем изменения, как правило, происходят в течение длительного времени (нескольких десятилетий).

В результате исследований ГОИНа, которые впервые проводились в 80-е годы и были направлены на изучение солевого состава льда, было показано, что химический состав системы лед — наледный снег Северного Каспия формируется при взаимодействии морской воды, речного стока и атмосферных осадков. При этом значительная пространственная изменчивость солевого состава льда обусловлена варьированием определяющей роли источников солевых компонентов и изменениями условий ледообразования.

Влияние атмосферных осадков на формирование солености и солевого состава наледного снега, и особенно льда, довольно быстро прекращается и остается значимым лишь в отношении свежевыпавшего снега. В процессе «старения» снега его соленость возрастает в результате взаимодействия с поверхностным рассолом, а солевой состав приближается к солевому составу воды.

Лед района устьевого взморья Волги характеризуется малыми значениями отношений солености льда и воды и некоторым увеличением в солевом составе льда доли ионов хлора и калия по сравнению с их содержанием в воде. Соленость и солевой состав наледного снега в этом районе формируются под влиянием атмосферных осадков (при выпадении высокоминерализованных осадков их влияние оказывается определяющим и в отношении льда).

По мере удаления от дельты в сторону моря происходит заметное изменение отношений концентраций компонентов солевого состава льда и воды; в солевом составе льда по сравнению с водой увеличивается доля сульфат-иона и кальция.

Лед зоны смешения в Северном Каспии отличается наибольшими вертикальными изменениями солености и компонентов солевого состава, что связано с образованием различных слоев льда из вод, существенно отличающихся по солености и солевому составу.

Расчет солевого баланса позволяет в стройной схеме представить роль различных составляющих баланса в формировании солевой массы моря.

Критический анализ солевых балансов, рассчитанных для Каспийского моря в разные годы, позволил показать определяющую роль отдельных составляющих баланса и выявить их изменчивость, уточнить некоторые составляющие и рассчитать дополнительные параметры.

В работе представлен современный солевой баланс Каспийского моря, в расчет которого введены уточненные данные по водному стоку и его минерализации, рассчитан приход солей с подземной составляющей и их поступление в море с атмосферными осадками.

3. ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ

3.1. Факторы, определяющие режим кислорода

Содержание кислорода в морской воде определяется интенсивностью и направленностью окислительных и восстановительных биохимических процессов, протекающих в морской среде.

Систематические сезонные наблюдения, направленные на изучение газового режима вод северной части Каспийского моря были начаты в 1934 г. Наиболее детально режим кислорода исследовался в 1936 г. Результаты этих наблюдений были проанализированы и обобщены К. И. Ивановым [63]. К числу крупных и более поздних исследований газового режима вод Северного Каспия следует отнести работы М. В. Федосова и Л. А. Барсуковой [131] и Н. И. Винецкой [33], в которых проанализированы все имеющиеся материалы наблюдений за кислородом в водах северной части Каспийского моря, полученные в течение 20 лет (1935—1955 гг.).

В 1936 г. в Южном и Среднем Каспии под руководством С. В. Бруевича проводились комплексные экспедиции, в результате которых были получены данные о динамике химического состава вод и, в частности, кислорода в условиях интенсивного падения уровня моря [22].

Дальнейшие исследования в течение 1939—1954 гг. позволили сделать некоторые выводы относительно перераспределения кислорода в водной толще по сравнению с его распределением в предшествующие периоды и выявить тенденцию обогащения кислородом глубинных вод [1]. Одновременно были выявлены закономерности сезонного распределения кислорода в Южном Каспии по данным наблюдений за 1956—1958 гг. [111].

Затем наиболее подробно и глубоко особенности изменения газового режима Каспийского моря в результате резкого падения его уровня в 30-х годах изучались в течение 1958—1962 гг. [100]. В последующих работах обобщались и анализировались результаты дальнейших исследований сезонной динамики кислорода в водах Среднего и Южного Каспия [75, 76].

Анализ результатов изучения газового режима вод Каспийского моря позволил сделать вывод о том, что обнаруженное повышение содержания кислорода в глубинных слоях моря вызвано усилением процесса сползания охлажденных, богатых кислородом и обладающих высокой плотностью вод по склонам дна в глубинные слои среднекаспийской впадины [75, 76, 100, 111].

Материалы комплексных океанологических съемок 1976—1977 гг., в которых впервые выполнялась обширная программа гидрологических, гидрохимических и биологических наблюдений на большей части акватории Каспийского моря по сезонам, в свою очередь позволили получить представление о современных гидрологических и гидрохимических процессах в море и показать их взаимосвязь. Обнаруженные при этом особенности в распределении кислорода дополнили и расширили представление и о характере конвективного перемешивания вод [65].

В Справочнике по шельфу были обобщены регулярные наблюдения, проводимые Госкомгидрометом СССР, по исследованию газового режима и элементов карбонатной системы в течение 1961—1983 гг. Целевое назначение этой работы состояло в обеспечении необходимой гидрохимической информацией различного рода изыскательских и проектных работ на шельфе Каспийского моря [38].

Авторы данной главы, составленной на основании многолетних исследований газового режима Каспийского моря, в которых приняли участие ГОИН, Азергидромет, Астраханская ЗГМО и КаспНИРХ, стремились выявить основные закономерности формирования газового режима Каспийского моря, акцентируя свое внимание на его изменениях под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Основными источниками поступления кислорода в море являются продуцирование его при фотосинтезе и атмосферная аэрация. Уменьшение содержания кислорода в водной толще происходит в результате расходования его на дыхание водных организмов и окислительные процессы, а также за счет эвазии в атмосферу при перенасыщении кислородом поверхностных вод. Огромную роль во внутригодовой динамике растворенного кислорода в водах Каспийского моря играют также гидрометеорологические условия.

Известно, что с повышением температуры и солености воды растворимость кислорода в воде падает. В северной части Каспийского моря, особенно в районе устьевого взморья Волги, наблюдается широкий диапазон изменения температур в течение года, весьма значительные амплитуды в суточном ходе температуры, и, наконец, существенное различие в тепловом режиме смешивающихся речных и морских вод. Такая специфика температурного режима вод взморья Волги оказывает существенное влияние на газовый режим открытой части моря, так как растворимость кислорода в воде, если рассматривать все определяющие ее физико-химические условия, в основном зависит от хода температуры воды.

А. И. Симонов, исследуя влияние температурного фактора на режим абсолютного содержания кислорода в водах Северного Каспия, показал его решающую роль в изменении абсолютного содержания кислорода в водах взморья Волги, где влияние температуры проявляется более интенсивно, чем в открытых частях Каспийского моря [116]. В дельтовой части Волги амплитуда колебаний температуры наибольшая, благодаря чему и потери в кислороде здесь наибольшие. Абсолютные изменения кислорода с удалением от дельты в море постепенно уменьшаются и на границе северной и средней частей Каспийского моря, в районе разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак, они по сравнению с речными водами и зоной смешения уменьшаются в два раза [100, 116, 120].

В прибрежных районах и в районе устьевых взморий рек Волги и Урала наряду со значительными изменениями температуры воды в течение года были обнаружены и весьма существенные суточные ее изменения. Так, на взморье Волги в среднем амплитуда суточных изменений температуры может достигать в летний период 5—8 °С [120]. При этом надо иметь в виду, что изменение темпе-

ратуры воды на 1 °С способствует изменению концентрации кислорода в воде приблизительно на 0,1‰. Таким образом, в этом районе в теплое время года в содержании кислорода за счет колебаний температуры суточные изменения могут составить около 0,8 ‰. Как показали дальнейшие исследования, в прибрежных водах количество абсорбированного водой кислорода зависит не только от температуры и солености, но также и от изменений парциального давления кислорода в приводном слое атмосферы [100, 115, 116]. Экспериментальные исследования, проведенные ГОИНом, показали, что изменению атмосферного давления на 1 мм рт. ст. соответствует изменение абсолютного содержания кислорода в поверхностных водах за счет выравнивания парциального давления кислорода примерно на 0,1 ‰ по объему. В Северном Каспии максимальное снижение кислорода на поверхности за счет уменьшения атмосферного давления составило в течение 5 сут наблюдений около 4‰; в течение этого же периода максимальное поступление кислорода из атмосферы в поверхностный слой воды за счет роста давления достигло 0,7 ‰ [100].

Обилие питательных солей, приносимых со стоком Волги, интенсивный прогрев воды в мелководных прибрежных районах моря в теплый период года — все это создает предпосылки для повышения биологической продуктивности в этих районах и отражается на режиме кислорода всего Северного Каспия. Так, весной относительное содержание кислорода даже в водах южной части Северного Каспия часто превышает 105 %, что указывает на бурно протекающие в теплое время года процессы фотосинтеза, которые приводят к пересыщению вод кислородом, особенно в прибрежных районах и в зонах смешения морских и речных вод.

С глубиной интенсивность и скорость фотосинтеза ослабевает, а содержащийся здесь кислород в значительной мере расходуется на окислительные процессы и дыхание живых организмов.

В Каспийском море имеются благоприятные условия для аэрации вод. Повышенное содержание кислорода отмечается даже в глубинных слоях моря, что обусловлено интенсивным процессом конвективного перемешивания, который особенно усилился после осолонения вод северной части моря в связи с уменьшением волжского стока. Осолонение вод северной части Каспийского моря обусловило более интенсивную вертикальную зимнюю циркуляцию и обогащение вод кислородом в Среднем и Южном Каспии. Так, в начале века содержание кислорода в Каспийском море ниже глубин 400—500 м составляло менее 1—2‰, а на глубинах ниже 700 м отмечалось, как правило, полное отсутствие кислорода [71, 80]. Спустя 20 лет содержание кислорода на этих глубинах несколько возросло, но не превышало 1‰ [22].

Резкое понижение уровня моря в 30-х годах способствовало в дальнейшем существенному аэрированию придонных слоев сначала в Среднем Каспии, а позднее и в Южном Каспии [1, 100]. К концу 50-х — началу 60-х годов, когда уровень Каспийского моря понизился еще на 0,8 м, насыщение кислородом глубинных вод Среднего Каспия на горизонтах 400 и 600 м возросло на 11 и 16 % соответственно по сравнению с 1930—1940 гг. Более устойчивое состояние насыщения вод кислородом в глубоководных районах Каспийского моря отмечалось исследователями в 60-е годы, которые характеризуются относительной стабилизацией уровня моря [75, 76].

Таким образом, основным фактором, обусловившим увеличение содержания кислорода в глубинных слоях Каспийского моря, является усиление плотностного стока богатых кислородом вод, поступающих из Северного Каспия в Средний и Южный Каспий.

В связи с внутригодовым перераспределением волжского стока в результате зарегулирования значительно увеличилось поступление пресной воды в Северный Каспий в период осенне-зимней межени. Высокое содержание кислорода в речной воде в этот период также способствовало обогащению морских вод кислородом. По мнению исследователей, доля «речного» кислорода в приращении общего его запаса в море в течение 20 лет (1950—1970 гг.) составила около 20 % [65].

Результаты исследований газового режима вод Северного Каспия, полученные КаспНИРХом в течение 1955—1981 гг., свидетельствуют о том, что начиная с середины 50-х годов у дна и в приглубом районе западной части Северного Каспия и на границе со Средним Каспием в летнее время возникает дефицит кислорода [65].

Явление гипоксии в придонных слоях Северного Каспия обусловлено значительным расходом кислорода на окисление оседающих в процессе коагуляции на дно моря органических веществ, малой прозрачностью вод, расслоением водной толщи и образованием значительных вертикальных градиентов плотности, затрудняющих перемешивание. По данным КаспНИРХа, наиболее значительный дефицит кислорода у дна формируется при устойчивости водных слоев более 10—15 тыс. усл. ед. Существует мнение [68], что с увеличением стока Волги в период половодья будет наблюдаться дальнейшее расширение зон дефицита кислорода в Северном Каспии. Понижение уровня моря, с одной стороны, улучшает процесс перемешивания вод, что способствует сокращению зон с гипоксией в придонных горизонтах, а с другой стороны, в мелководных пространствах Северного Каспия происходит зарастаемость растительностью, что в свою очередь приводит к увеличению органического вещества в донных отложениях и значительному расходованию кислорода на его окисление [65].

3.2. Сезонные изменения содержания кислорода

Распределение кислорода в зимний период

Количество наблюдений, характеризующих содержание кислорода в водах Северного Каспия в зимний период, невелико. В то же время эти эпизодические наблюдения свидетельствуют о высоком содержании кислорода в холодное время года в районах предустьевых взморий Волги и Урала, где абсолютное содержание кислорода достигает 10—11‰. По мере продвижения на юг содержание кислорода снижается до 7—8‰.

Исследования, проводившиеся на шельфе Северного Каспия в течение 1972—1976 гг., также подтверждали наличие высокого содержания кислорода в различных районах как на поверхности,

так и у дна. Это обусловлено низкими температурами воды и интенсивным перемешиванием всей водной толщи в этом динамичном районе Каспийского моря: данные ледовых наблюдений Астраханской ЗГМО показывают, что содержание кислорода подо льдом в восточной, западной и центральной частях Северного Каспия достигало 10—13‰ [38]. Данные зимних наблюдений МГУ также подтверждают наличие высоких значений абсолютного и относительного содержания кислорода в водах Северного Каспия у кромки льда — 9,0—10,5‰ и 110—120 % соответственно. Однако в 1966 и 1968 гг. благодаря интенсивному подтоку более теплых и менее насыщенных кислородом вод из Среднего Каспия содержание кислорода у кромки льда снижалось до 6,0—7,5‰ [75].

Известно, что в Северном Каспии вследствие осенне-зимнего охлаждения плотность вод возрастает до значений, при которых возможным оказывается их проникновение по шельфу и материковому склону до самых больших глубин моря. Как уже отмечалось выше, в течение 1958—1962 гг. по сравнению с периодом середины 30-х годов произошло значительное обогащение вод Каспийского моря кислородом, особенно его глубинных слоев. Причина, обусловившая более интенсивную вертикальную зимнюю циркуляцию и обогащение вод Среднего и Южного Каспия кислородом, кроется в происшедшем осолонении вод Северного Каспия в связи с уменьшением стока Волги [65, 100].

Зимой в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, содержание кислорода в поверхностном слое иногда достигало 9,5—9,8‰. Среднее многолетнее содержание кислорода в зимний сезон за 1969—1983 гг. в целом по разрезу в поверхностном и промежуточном слоях составило 8,2 и 8,0‰ соответственно, что довольно близко к значениям, полученным в предшествующие годы [65, 100]. У дна отмечалось снижение содержания кислорода по сравнению с поверхностным слоем моря на 0,6—0,8‰. На периферийных станциях разреза в холодное время года было обнаружено повышенное содержание кислорода по сравнению с центральной частью разреза. Вся водная толща прибрежных станций в районе водообмена характеризуется высокими значениями абсолютного и относительного содержания кислорода (табл. 3.1).

Имеются некоторые особенности в распределении кислорода в этом районе в зимний период. К ним относится наличие подповерхностного максимума на некоторых станциях (2, 3 и 6), а также увеличение содержания кислорода у дна на мелководных прибрежных станциях, что, по-видимому, обусловлено интенсивным развитием фитопланктона вблизи кромки льда и опусканием воды, насыщенной кислородом при охлаждении моря и процессе ледообразования [65, 100].

Значения относительного содержания кислорода, рассчитанные также по средним многолетним данным наблюдений в зимний период для каждой станции разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак колеблются в поверхностном слое в пределах 6 %, у дна эти различия увеличиваются до 12 %. Наиболее равномерное распределение относительного содержания кислорода отмечается в промежуточном горизонте (10 м) разреза, и, как правило, относительное содержание кислорода зимой здесь не достигает 100 %. Лишь на мелководной станции в западной части разреза относительное содержание кислорода в среднем по вертикали составило около 104 % (см. табл. 3.1).

Статистические параметры характеризуют изменчивость кислорода на станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак в зимний период времени (см. табл. 3.1) и свидетельствуют о том, что в поверхностном горизонте и на горизонте 10 м стати-

Таблица 3.1

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак зимой за 1969—1983 гг.

Номер станции на разрезе	Поверхность					Горизонт 10 м					Дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Абсолютное содержание															
1	8	8,76	0,86	10	8,11—9,41	—	—	—	—	—	6	8,87	0,96	11	8,01—9,73
2	9	8,03	0,85	11	7,43—8,63	6	8,34	0,76	9	7,66—9,02	6	8,09	0,63	8	7,53—8,65
3	10	7,89	0,74	9	7,40—8,38	7	7,95	0,74	9	7,35—8,55	7	6,85	2,90	42	4,48—9,22
4	10	8,08	0,99	12	7,42—8,74	7	7,97	0,81	10	7,31—8,63	7	7,27	1,22	17	6,27—8,27
5	9	8,07	0,90	11	7,43—8,71	7	7,96	0,84	10	7,28—8,64	7	7,98	0,89	11	7,31—8,65
6	9	8,00	0,96	12	7,32—8,68	7	8,04	1,01	13	7,22—8,86	7	7,92	0,71	9	7,38—8,46
7	9	8,27	0,67	8	7,80—8,74	—	—	—	—	—	7	8,33	0,65	8	7,84—8,82
Относительное содержание															
1	8	104	8	7	98—110	—	—	—	—	—	6	105	9	8	97—113
2	8	100	9	9	93—107	6	103	8	7	96—110	6	100	4	4	96—104
3	8	97	8	8	91—103	6	99	4	4	95—103	6	83	39	46	43—123
4	9	100	11	11	92—108	7	98	10	10	90—106	7	90	15	17	78—102
5	9	100	9	9	94—106	7	98	19	19	91—105	7	97	8	9	91—103
6	9	98	8	8	92—104	7	98	10	10	90—106	7	96	6	6	91—101
7	8	98	5	5	94—102	—	—	—	—	—	6	98	2	2	96—100

Примечание. Здесь и далее в таблицах n — количество наблюдений; σ — среднее квадратическое отклонение; C_v — коэффициент вариации; ДИ — доверительный интервал.

ческие характеристики σ и C_v оказываются довольно однородными при некотором их увеличении на центральных станциях разреза. Наибольшей изменчивостью характеризуются средние значения содержания кислорода в придонных горизонтах центральных станций разреза, где, например, C_v абсолютного и относительного содержания кислорода достигало 17—46 %.

—Вся северо-западная часть Среднего Каспия от морского края дельты Волги до Махачкалы находится под непосредственным влиянием стока Волги, Терека и Сулака, на стыке мелководного Северного Каспия и относительно больших глубин Среднего Каспия. Основные закономерности гидрологических процессов непосредственно в прибрежной зоне в районе Аграханского полуострова были рассмотрены в ряде работ [13, 37].

С августа 1977 г. действует искусственная прорезь через п-ов Уч-Коса, благодаря которой сток Терека начал поступать непосредственно в Средний Каспий, что вносит существенные изменения в режим солености, температуры, кислорода и биогенных веществ прибрежной зоны в районе, прилегающем к Аграханскому полуострову. Характерным является непрерывное увеличение ареала опресненной воды по мере формирования дельты выдвижения. К 1983 г. площадь, занимаемая зоной транзита речных вод составляла в среднем около 8 км², зона смешения речных и морских вод — около 40 км². В районе устьевого взморья Терека, как правило, обнаруживаются две границы раздела вод: внутренняя граница оконтуривает мутную воду с прозрачностью до 1 м и соленостью 0—10 ‰ (протяженность этой зоны по линии речной струи составляет 5 км, вдоль берега — 2,5 км), внешняя граница располагается мористее. Соленость воды между границами колеблется от 10 до 11 ‰; за внешней границей располагаются морские воды соленостью около 12 ‰.

Для вновь образованного устьевого взморья Терека является характерным резкая температурная и солевая стратификация водных масс, которая исчезает только в результате интенсивного ветрового перемешивания. По сравнению с другими прибрежными районами Среднего Каспия воды данного района, как правило, богаты биогенными веществами и характеризуются довольно высокими показателями биологической продуктивности, что способствует и обогащению вод кислородом.

Формирование современной дельты Сулака началось в 1957 г., когда в юго-восточном направлении была прорыта прорезь длиной около 2 км с целью сокращения поступления речных вод в море. Площадь новой дельты в 1973 г. составляла около 4,5 км². После зарегулирования стока Сулака приглубая, 15-метровая изобата располагается в 10 км от берега, глубины в районе бара (свал глубин) резко увеличиваются от 2 до 8 м. Воды Сулака с морскими водами смешиваются на небольшой акватории.

Для устьевой области Самура характерна внутренняя дельта, незначительно выдвинувшаяся за генеральную черту морского побережья. Район Каспийского моря, примыкающий к дельте Самура, оказывается самым глубоководным на всем западном побережье моря. Устье Самура располагается в непосредственной близости от Дербентской впадины. Влияние речного стока из-за маловодности реки и приглубости устьевого взморья ощущается в узкой прибрежной полосе.

Во время весенне-летнего половодья рек, питающих Средний и Южный Каспий, распределение кислорода в прибрежных районах Среднего Каспия оказывается неодинаковым на западе и востоке. Объясняется это как различиями в температурном режиме вод, так и в значительной степени специфическими особенностями динамики вод, которые отличают эти районы моря.

Наибольшее содержание кислорода отмечается в зимний период, когда происходит охлаждение всей водной толщи под влиянием вертикальной циркуляции. В районах западного побережья Среднего Каспия, к которым относятся взморье Терека, район Махачкалы и взморье Самура, абсолютное содержание кислорода в поверхностном горизонте оказывается довольно высоким — 8,6—8,7 ‰, относительное содержание кислорода — 100 %. При этом отмечаются однородность в распределении кислорода по вертикали и высокие показатели абсолютного и относительного кислорода у дна (табл. 3.2).

У восточного побережья Среднего Каспия (районы, примыкающие к Форт-Шевченко и м. Бекдаш) содержание кислорода снижается. Так, в районе м. Бекдаш средние многолетние значения абсолютного содержания кислорода в зимнее время достигали на поверхности и у дна 6,1—6,2 ‰. В то же время относительное содержание кислорода превышало 100 %. В районе Форт-Шевченко были отмечены незначительные различия в абсолютном и относительном содержании кислорода на поверхности и у дна: они составили соответственно 0,4 ‰ и 4 % (см. табл. 3.2).

Повышенное содержание кислорода в западной части Среднего Каспия по сравнению с восточной и ранее отмечалось исследователями [65], которые объясняли такое распределение кислорода переносом холодных северокаспийских вод вдоль западного побережья на юг и относительно теплых трансформированных южнокаспийских вод — вдоль восточного побережья на север.

Изучение гидрохимического режима глубоководной части Среднего Каспия проводилось на разрезе Дивичи — Кендерли, где зимой на мелководных станциях в западной части было отмечено максимальное содержание кислорода, достигавшее более 8 ‰. На горизонте 10 м содержание кислорода оказывается практически одинаковым на всех станциях; с глубиной содержание кислорода равномерно убывает, но и в слое 200—300 м оно в открытой части Среднего Каспия продолжает оставаться довольно высоким — около 5 ‰. В придонных горизонтах содержание кислорода не превышало 3 ‰ (рис. 3.1 *а*).

Зимой насыщение кислородом поверхностного слоя на разрезе Дивичи — Кендерли, по данным средних многолетних наблюдений, колеблется в пределах 95—100 %. Затем относительное содержание кислорода равномерно понижается с глубиной, но еще на горизонте 150 м насыщение вод кислородом превышает 70 %. В придонном горизонте относительное содержание кислорода снижается до 35 % (рис. 3.1 *б*).

Интенсивное конвективное перемешивание в зимний период в Среднем Каспии распространяется на значительную глубину, что и предопреде-

Таблица 3.2

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия зимой

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
Средний Каспий											
Абсолютное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	70	8,68	0,55	6	8,55—8,81	70	8,70	0,64	7	8,55—8,85
Район Махачкалы		82	8,68	0,71	6	8,52—8,84	70	8,53	0,76	9	8,35—8,71
Взморье р. Самура		26	8,58	1,03	12	8,17—8,99	26	8,38	0,81	10	8,06—8,70
Район Форт-Шевченко	1967—1985	53	8,32	0,82	10	8,09—8,55	53	7,99	0,88	11	7,75—8,23
Район м. Бекдаш		22	6,14	0,63	9	5,87—6,41	22	6,22	0,52	8	5,99—6,45
Относительное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	70	99	6	6	98—100	70	100	7	7	98—102
Район Махачкалы		82	100	6	6	99—101	70	100	7	7	98—102
Взморье р. Самура		26	102	11	10	98—106	26	100	8	8	97—103
Район Форт-Шевченко	1957—1985	53	101	7	7	99—103	53	97	8	8	95—99
Район м. Бекдаш		22	102	7	7	99—105	22	104	6	6	101—107
Южный Каспий											
Абсолютное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	259	6,64	1,28	19	6,48—6,80	240	6,58	1,24	19	6,42—6,74
Сумгаит		177	7,88	0,81	10	7,76—8,00	174	7,57	0,92	12	7,43—7,71
Нефтяные Камни		56	7,47	0,83	11	7,25—7,69	56	6,98	0,99	14	6,72—7,24
Туркменский залив		62	8,58	0,74	9	8,39—8,77	63	8,41	0,76	9	8,22—8,60
Район п-ова Челекен		16	8,36	0,54	6	8,08—8,64	16	8,17	0,56	7	7,88—8,46
Красноводский залив		50	8,30	0,70	7	8,10—8,50	50	8,13	0,53	6	7,98—8,28
Ленкорань		47	7,82	0,71	9	7,61—8,03	45	7,73	0,72	9	7,52—7,94
Взморье р. Куры		32	7,86	0,48	6	7,69—8,03	31	7,69	0,59	8	7,48—7,90
Относительное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	259	85	15	17	83—87	240	82	12	15	81—83
Сумгаит		177	100	9	9	99—101	174	96	10	10	94—98
Нефтяные Камни		56	97	9	10	95—99	56	90	12	13	87—93
Туркменский залив		61	106	6	6	105—107	62	102	6	6	101—103
Район п-ова Челекен		16	106	4	4	104—108	16	103	3	3	101—105
Красноводский залив		34	101	6	6	99—103	—	—	—	—	—
Ленкорань		47	101	16	15	96—106	45	101	7	7	99—103
Взморье р. Куры		32	100	5	5	98—102	31	97	6	6	95—99

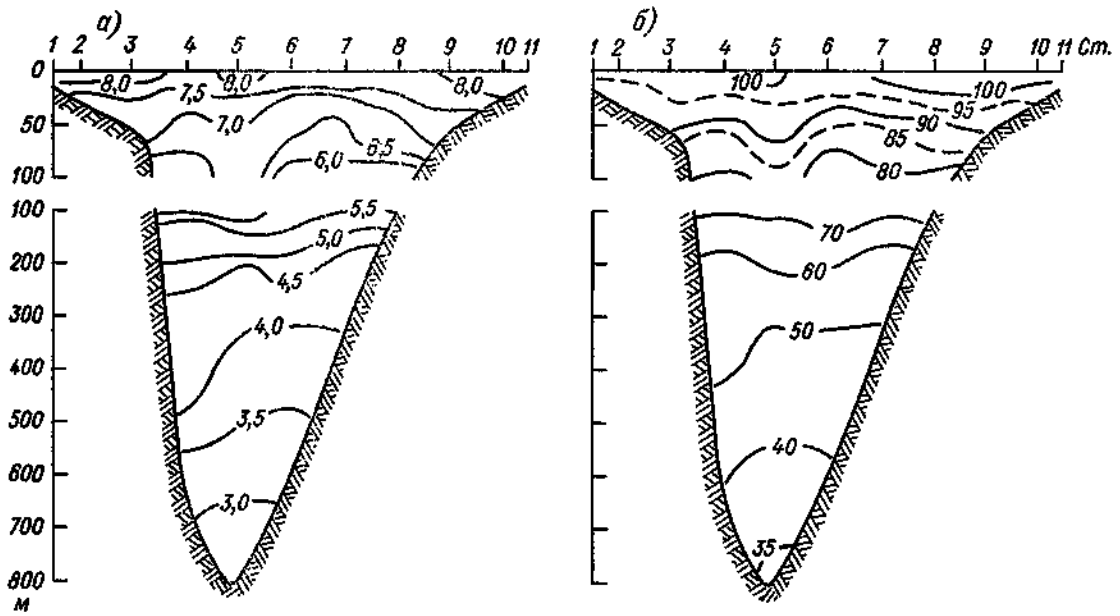


Рис. 3.1. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода на разрезе Дивичи—Кендерли зимой.

а — абсолютное содержание кислорода ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в Среднем и Южном Каспии зимой за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Разрез Дивичи—Кендерли															
0	16	7,81	0,44	6	7,59—8,03	13	7,63	0,45	6	7,39—7,87	16	8,16	0,59	7	7,86—8,46
10	16	7,68	0,68	9	7,34—8,02	13	7,54	0,43	6	7,29—7,79	16	8,04	0,62	8	7,72—8,36
20	16	7,43	0,59	8	7,13—7,73	13	7,45	0,63	8	7,09—7,81	16	7,93	0,70	9	7,53—8,33
30	16	7,44	0,64	9	7,11—7,77	13	7,19	0,70	10	6,79—7,59	16	7,96	0,66	8	7,62—8,30
50	15	7,28	0,65	9	6,93—7,63	13	6,94	0,92	13	6,41—7,47	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	13	6,98	0,75	11	6,55—7,41	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	13	6,90	0,89	13	6,39—7,41	—	—	—	—	—
150	—	—	—	—	—	13	6,17	0,96	15	5,62—6,72	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	13	5,28	1,17	22	4,60—5,96	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	13	4,64	1,27	27	3,91—5,37	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	4,19	1,38	33	3,39—4,99	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	9	4,68	1,52	32	3,61—5,75	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	6	4,47	1,61	36	3,03—5,91	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули															
0	16	7,55	0,60	8	7,24—7,86	17	7,24	0,53	7	6,98—7,50	17	7,55	0,50	6	7,30—7,80
10	16	7,08	0,97	14	6,58—7,58	17	7,16	0,44	6	6,94—7,38	17	7,51	0,38	5	7,32—7,70
20	16	6,75	1,04	15	6,22—7,28	17	7,07	0,63	9	6,76—7,38	—	—	—	—	—
30	16	6,87	0,46	7	6,63—7,11	17	6,90	0,40	6	6,70—7,10	—	—	—	—	—
50	16	6,61	0,80	12	6,20—7,02	17	6,91	0,39	6	6,71—7,11	—	—	—	—	—
75	16	6,16	0,79	13	5,75—6,57	15	6,73	0,58	9	6,42—7,04	—	—	—	—	—
100	16	5,40	1,32	24	4,72—6,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	14	4,54	1,61	35	3,65—5,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский															
0	15	7,43	0,51	7	7,16—7,70	15	7,21	0,69	9	6,84—7,58	14	7,76	0,72	9	7,36—8,16
10	15	7,27	0,40	5	7,06—7,48	15	7,03	0,43	6	6,80—7,26	14	7,53	0,36	5	7,33—7,73
20	15	7,19	0,46	6	6,94—7,44	15	7,01	0,61	9	6,68—7,34	14	7,44	0,32	4	7,26—7,62
30	15	7,01	0,61	9	6,68—7,34	15	6,97	0,58	8	6,66—7,28	13	7,39	0,60	8	7,04—7,74
50	15	7,14	1,11	15	6,55—7,73	15	6,60	0,58	9	6,29—6,91	—	—	—	—	—
75	15	6,48	0,81	12	6,05—6,91	15	5,89	1,04	18	5,33—6,45	—	—	—	—	—
100	15	6,05	0,95	16	5,54—6,56	15	4,78	1,55	32	3,95—5,61	—	—	—	—	—
150	15	5,06	0,83	16	4,62—5,50	15	3,70	1,11	30	3,11—4,29	—	—	—	—	—
200	14	4,40	0,84	19	3,93—4,87	15	3,11	0,92	29	2,62—3,60	—	—	—	—	—
250	8	4,32	1,28	30	3,25—5,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	6	4,11	1,00	24	3,13—5,09	15	2,72	0,56	20	2,42—3,02	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	14	2,39	0,21	9	2,27—2,51	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	13	2,22	0,16	7	2,13—2,31	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	11	2,00	0,22	11	1,86—2,14	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	7	2,08	0,61	29	1,58—2,58	—	—	—	—	—

ляет высокое содержание кислорода в глубинных слоях моря. Ранее в исследованиях было показано, что в зависимости от суровости зимних условий глубина распространения вертикальной циркуляции изменяется в широких пределах, особенно в Среднем Каспии. Так, на разрезе Дивичи — Кендерли в умеренные и мягкие зимы циркуляция распространяется до глубины 150—200 м; в суровые зимы 1969 и 1973 гг. вертикальная циркуляция охватывала всю толщу вод, достигая дна [65, 75, 76].

Отмечается незначительная изменчивость абсолютного содержания кислорода в зимний сезон на различных по глубине станциях разреза Дивичи — Кендерли в деятельном слое моря (0—30 м). Здесь коэффициент вариации C_v колеблется в пределах 6—9 %. Начиная с горизонта 50 м, наблюдается постепенное увеличение C_v ко дну и в придонном горизонте на глубоководной ст. 6 C_v абсолютного содержания кислорода достигает 36 % (табл. 3.3).

Прибрежные и мелководные районы, прилегающие к зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, в зимний период характеризуются высоким абсолютным и относительным содержанием кислорода, которое в отдельных районах превышает соответственно 7,5 ‰ и 100 %, и довольно однородным распределением кислорода от поверхности до дна. Исключение составляют наиболее загрязненные районы моря: Бакинская бухта, где абсолютное и относительное содержание кислорода, несмотря на низкую температуру воды, снижается до 6,6 ‰ и 83 % соответственно; район Нефтяных Камней, где относительное содержание кислорода в придонном слое также уменьшается до 90 %. В Бакинской бухте отмечаются и наибольшие значения C_v абсолютного и относительного содержания кислорода (см. табл. 3.2) по сравнению с другими прибрежными районами Южного Каспия. В Красноводском заливе зимой абсолютное содержание кислорода достаточно высокое (более 8 ‰).

В деятельном слое моря в районе Апшеронского порога, по данным зимних наблюдений за 1981—1985 гг., концентрации кислорода колебались в пределах 7—8 ‰ и насыщение составило 95—105 %, у дна — соответственно 4—5 ‰ и 50 % (рис. 3.2 *а, б*). Известно, что в данном районе конвективное перемешивание, как правило, достигает дна; в мягкие зимы глубина распространения вертикальной циркуляции охватывает слой до 100—110 м. Конвективное перемешивание усиливается в этом районе благодаря интенсивному волнению, течению и водообмену.

Наибольшей изменчивостью характеризуется абсолютное содержание кислорода в западной части разреза о. Жилой — м. Куули: C_v здесь вдвое выше, чем в центральной и восточной частях разреза. На придонном горизонте на ст. 3 C_v абсолютного содержания кислорода возросло до 35 % (см. табл. 3.3).

В районах западного побережья Южного Каспия (Ленкорань и устьевое взморье Куры) абсолютное и относительное содержание кислорода в зимний период достигло в среднем 7,8 ‰ и 100 % соответственно, в районах восточного побережья Южного Каспия (м. Челекен и Туркменский залив) эти значения возросли в среднем до 8,5 ‰ и 104 % соответственно (см. табл. 3.2).

Исследование процессов конвективного перемешивания в Южном Каспии показало, что глубина распространения зимней вертикальной циркуляции, как и в Среднем Каспии, в значительной мере зависит от суровости зимних условий. Так, в экстремально холодные зимы вблизи западного побережья однородный охлажденный слой был прослежен до глубины около 700 м. Это явление объясняют адвекцией в Южный Каспий вдоль западного побережья охлажденных вод из северных районов моря [65].

В основу изучения гидрохимического режима глубоководной части Южного Каспия были положены наблюдения, проводившиеся на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский. На мелководных периферийных станциях этого разреза содержание кислорода в зимний период достигало 8,0 ‰. В деятельном слое моря абсолютное и отно-

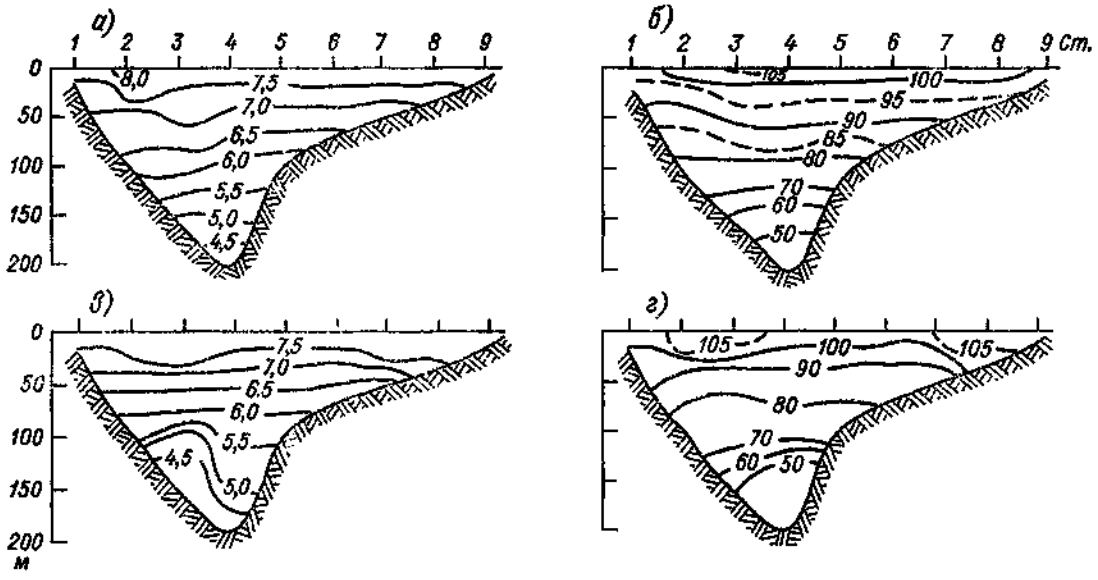


Рис. 3.2. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода на разрезе о. Жилой — м. Куули зимой (*а, б*) и весной (*в, г*).

а и *в* — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* и *г* — относительное содержание кислорода, %.

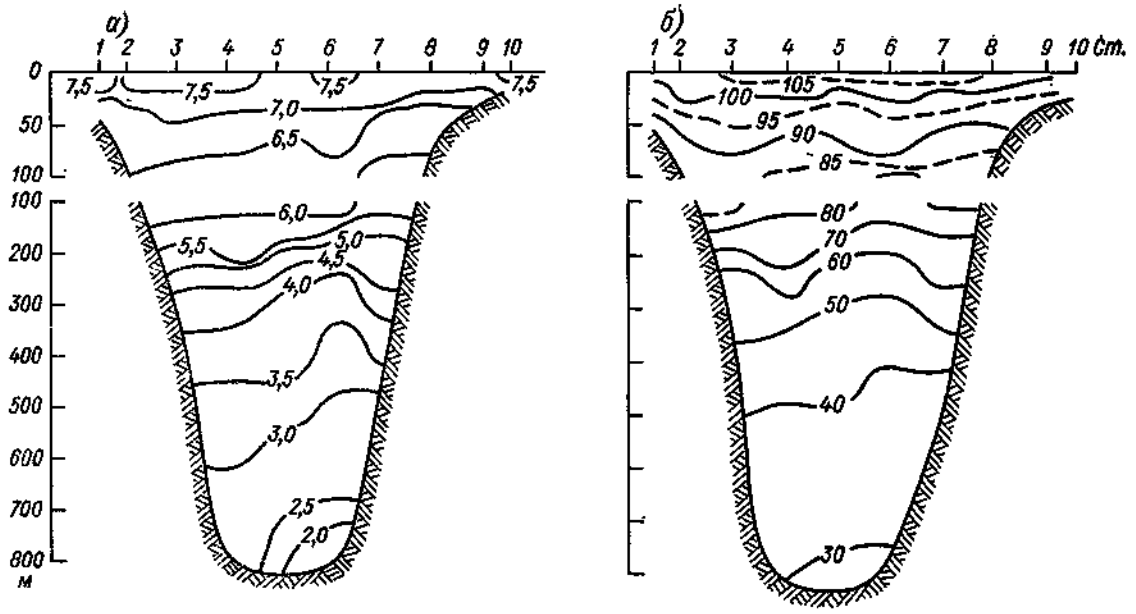


Рис. 3.3. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский зимой.

а — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

сительное содержание кислорода оставалось также высоким и изменялось в узком диапазоне 7,0—7,5 ‰ и 95—105 % соответственно.

На разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский глубина зимней вертикальной циркуляции изменяется от 80 м в мягкие зимы до 100—150 м в суровые зимы. Слой, в котором интенсивно развиваются конвективные процессы, характеризуется также довольно высоким содержанием кислорода. Так, по данным наблюдений за 1981—1985 гг., изооксигена с содержанием кислорода 5,5 ‰ характеризует распределение кислорода в открытой части Южного Каспия на горизонтах 150 и 200 м (рис. 3.3 *а*).

В Южном Каспии в зимний период отмечается довольно равномерное снижение кислорода от поверхности ко дну, и на глубине 800 м содержание кислорода достигало 2,0 ‰ и 30 % насыщения (см. рис. 3.3). В то же время в западной части разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский абсолютное содержание кислорода в глубинных горизонтах оказывается выше, чем на аналогичных горизонтах в восточной части разреза. Более высокая температура воды в Южном Каспии обусловила понижение концентрации кислорода по всей водной толще по сравнению со Средним Каспием.

По данным многолетних наблюдений за 1960—1981 гг., начиная с горизонта 100 м и до дна, абсолютное содержание кислорода на разрезе Дивичи — Кендерли выше, чем на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский, на 1,2—1,7 ‰. Это обусловлено еще и тем, что вертикальная циркуляция вод в средней части Каспийского моря протекает интенсивнее, чем в его южной части.

Распределение кислорода в весенний период

Абсолютное содержание кислорода в различные сезоны года зависит от температурного режима моря, оно увеличивается весной и осенью и понижается летом. Относительное содержание кислорода является более объективным показателем биологических процессов в море.

По наблюдениям КаспНИРХа за 1960—1980 гг., в апреле приглубая и отмелая зоны западной и восточной частей Северного Каспия характеризуются максимальными в годовом ходе значениями абсолютного и относительного содержания кислорода. Так, в приглубом районе Северного Каспия содержание кислорода весной в поверхностном и придонном слоях моря превышало 8,2 ‰ и 110 % насыщения соответственно [65].

Наибольшее абсолютное содержание кислорода в течение всего года отмечается в волжских водах, где его содержание в апреле превышает 8,5 ‰. С повышением солености вод значения абсолютного содержания кислорода снижаются, а значения его относительного содержания — повышаются.

По данным исследований Астраханской ЗГМО за 1961—1983 гг., в период весенней межени среднее содержание растворенного кислорода в Северном Каспии было 7,6 ‰; во время пика половодья содержание кислорода резко снижалось [38], что, по-видимому, объясняется значительным увеличением поступления органических веществ с волжским стоком и расходом кислорода на их окисление.

В апреле — мае 1961—1983 гг. распределение содержания кислорода оказывается довольно однородным по всей акватории Северного Каспия; максимальные различия в значениях абсолютного содержания кислорода составили 0,6 ‰ (рис. 3.4 *а*).

В восточной части Северного Каспия в апреле — мае соленость вод от устьевого взморья Урала до Бузачинского порога возрастала в пределах 3 ‰; понижение температуры воды в направлении от устья Урала к центру Гурьевской бороздины составило 3 °С, а затем в направлении к Бузачинскому порогу температура вновь возрастала на 3 °С. Распределение абсолютного и относительного содержания кислорода соответствует распределению солености и температуры в этом районе. Так, распре-

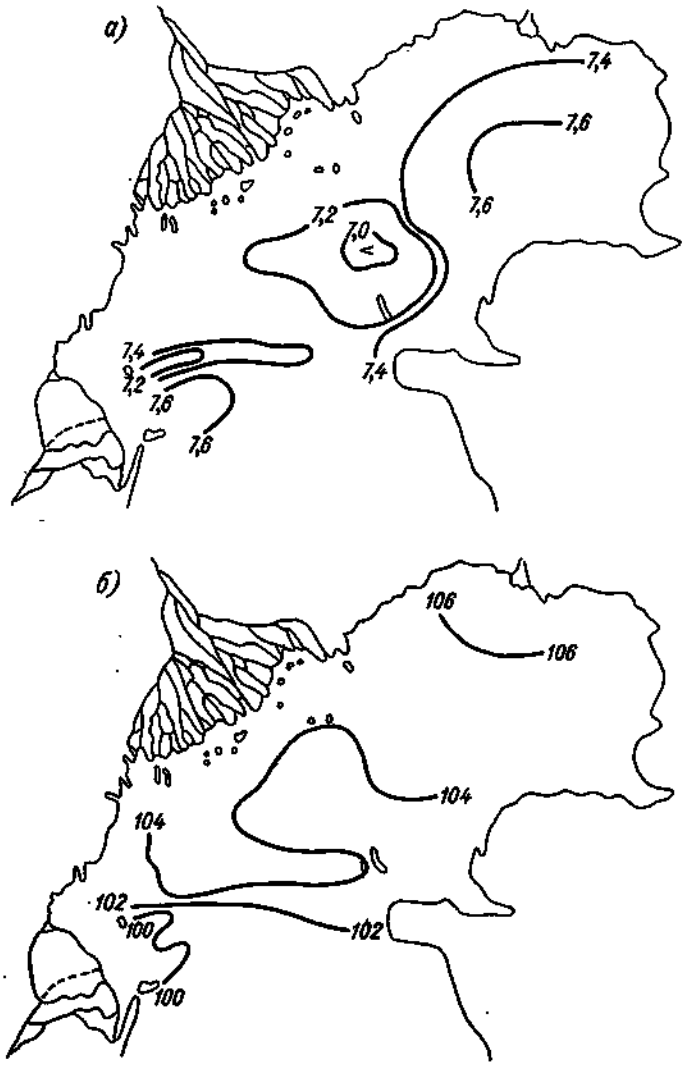


Рис. 3.4. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение содержания кислорода в Северном Каспии весной.

а — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

деление абсолютного содержания кислорода весной в восточной части Северного Каспия характеризуется повышением содержания кислорода от $(7{,}3 \pm \pm 0{,}9)$‰ в районе устья Урала до $(7{,}7 \pm 0{,}11)$‰ в направлении к центру Уральской бороздины, а затем — его понижением в направлении Бузачинского порога до $(7{,}1 \pm 0{,}10)$‰. Относительное содержание кислорода в восточной части Северного Каспия распределяется также однородно, понижаясь от 106 % в водах устьевого взморья Урала до 104 % у Бузачинского порога (рис. 3.4 *б*).

Распределение абсолютного и относительного содержания кислорода в водной толще восточной части Северного Каспия характеризуется полной однородностью: максимальные различия между значениями на поверхности и у дна не превышают 0,2‰ и 3 % соответственно.

Изучение гидролого-гидрохимического режима в районе Бузачинского порога показывает снижение температуры воды от 14 °С в районе устьевого взморья до 11 °С в районе о. Кулалы и повышение солености в этом же направлении с 4,5 до 13‰. Абсолютное содержание кислорода в этом районе характеризуется некоторым понижением от устьевого взморья Волги к центру Бузачинского порога с $(7{,}2 \pm 0{,}07)$ до $(7{,}0 \pm 0{,}05)$ ‰. Затем по направлению к о. Кулалы содержание кислорода снова повышается до $(7{,}4 \pm 0{,}07)$ ‰. Относительное содержание кислорода превышает 100 % и распределяется аналогично абсолютному его содержанию в данном районе.

Максимальные различия в вертикальном распределении абсолютного и относительного содержания кислорода на разрезе II были отмечены на ст. 17б, но и здесь при глубине 12,5 м они не превышали соответственно 0,4‰ и 3 %.

В западной части Северного Каспия весной средние многолетние значения солености возрастают с севера на юг от 2 до 12‰, температура воды понижается с 15 до 8 °С. Вся акватория западной части Северного Каспия характеризуется

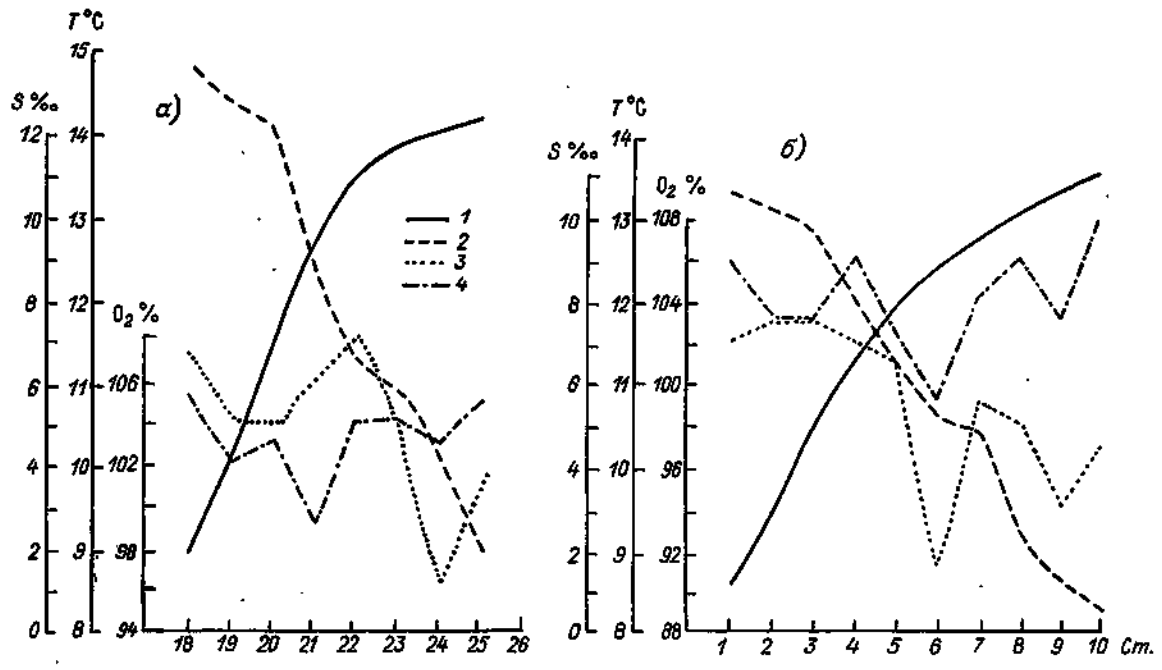


Рис. 3.5. Распределение температуры и солености воды (соответственно кривые *1* и *2*), а также относительного содержания кислорода на поверхности и у дна (соответственно кривые *3* и *4*) весной.

а — разрез III; *б* — разрез IIIа.

высоким абсолютным и относительным содержанием кислорода: в мелководных районах среднее абсолютное содержание кислорода составляет ($7{,}4 \pm 0{,}11$ ‰), а относительное содержание превышает 100 %; в глубоководных районах и на свале глубин абсолютное содержание кислорода увеличивается до ($7{,}7 \pm 0{,}04$ ‰), а относительное содержание составляет 100 %. В центральном западном и юго-западном районах Северного Каспия, которые характеризуются как активные зоны смешения речных и морских вод, в весенний сезон отмечается локальное (станции 19, 20 и 6) понижение абсолютного содержания кислорода до ($7{,}1 \pm \pm 0{,}08$ ‰), относительного содержания — до 96 %.

Таким образом, содержание кислорода в западной части Северного Каспия от поверхности до дна оказывается довольно высоким и однородным. Наибольшие различия по вертикали в относительном содержании кислорода отмечались в районе свала глубин, где они достигали 6—12 % (рис. 3.5).

В различных районах Северного Каспия характеристики изменчивости средних значений абсолютного содержания кислорода по данным съемок за весенний период практически оказываются одинаковыми для слоя 0—2,5 м и всей водной толщи. Как правило, C_v колеблется в пределах 7—12 %, σ — от 0,50 до 0,85 ‰. Максимальная изменчивость содержания кислорода была отмечена лишь в юго-западной части моря (ст. 6), где σ достигало 1,50 ‰, а C_v превысил 20 % (табл. 3.4).

Кривые распределения абсолютного содержания кислорода весной в различных районах Северного Каспия близки к нормальному. Распределение содержания кислорода для поверхностного и придонного горизонтов практически совпадает в различных районах Северного Каспия. Наибольшее количество значений находится в интервале 7—8 ‰ (рис. 3.6).

Весной среднее многолетнее содержание кислорода за 1964—1983 гг. в районе водообмена между

Таблица 3.4

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰) в Северном Каспии весной за 1961—1983 гг.

Номер станции разреза	Слой 0—2,5 м					Поверхность — дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta = 0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta = 0{,}95$)
Восточная часть (разрез I)										
1	35	7,34	0,64	9	7,12—7,56	52	7,33	0,64	9	7,16—7,50
2	26	7,44	0,75	10	7,14—7,74	52	7,47	0,75	10	7,32—7,62
3	26	7,53	0,76	10	7,23—7,83	52	7,53	0,79	10	7,38—7,68
4	27	7,58	0,68	9	7,32—7,84	52	7,59	0,75	10	7,40—7,78
5	26	7,62	0,78	10	7,31—7,93	52	7,62	0,80	11	7,40—7,84
6	26	7,59	0,86	11	7,25—7,93	52	7,64	0,86	11	7,45—7,83
7	26	7,62	0,78	10	7,31—7,93	56	7,68	0,86	11	7,38—7,98
8	26	7,49	0,79	11	7,17—7,81	60	7,59	0,83	11	7,23—7,95
9	27	7,35	0,66	9	7,09—7,61	55	7,43	0,73	10	6,88—7,98
10	27	7,06	0,75	11	6,77—7,35	52	7,07	0,69	10	—
Район водообмена между западной и восточной частью (разрез II)										
12	38	7,29	0,63	9	7,09—7,49	52	7,24	0,65	9	7,06—7,42
13	27	7,26	0,80	11	7,96—7,56	52	7,14	0,77	11	6,93—7,35
14	25	6,99	0,54	8	6,77—7,21	51	7,00	0,57	8	6,84—7,16
15	26	6,97	0,61	9	6,73—7,21	52	6,97	0,64	9	6,79—7,15
16	26	7,00	0,69	10	6,72—7,28	53	7,01	0,66	9	6,83—7,19
17	25	7,02	0,59	8	6,78—7,26	52	7,03	0,59	8	6,87—7,19
17а	8	7,26	0,20	3	7,10—7,42	16	7,17	0,40	6	6,96—7,38
17б	8	7,29	0,23	3	7,12—7,46	25	7,46	0,33	4	7,33—7,59
Западная часть (разрезы III и IIIа)										
18	32	7,52	0,75	10	7,26—7,78	52	7,44	0,79	11	7,22—7,66
19	27	7,26	0,68	9	6,99—7,53	52	7,18	0,79	11	6,96—7,40
20	25	7,20	0,72	10	6,91—7,49	51	7,14	0,77	11	6,92—7,36
21	26	7,34	0,75	10	7,04—7,64	57	7,33	0,74	10	7,13—7,53
22	24	7,57	0,82	11	7,23—7,91	74	7,49	0,92	12	7,28—7,70
23	26	7,34	0,69	9	7,34—7,62	84	7,44	0,76	10	7,28—7,60
24	24	7,43	0,79	11	7,10—7,76	83	7,37	0,80	11	7,20—7,54
25	25	7,68	0,63	8	7,42—7,94	128	7,59	0,81	11	7,45—7,73
1	13	7,70	0,49	6	7,42—7,98	27	7,56	0,53	7	7,35—7,77
2	14	7,44	0,64	9	7,44—7,79	28	7,46	0,62	8	7,22—7,70
3	14	7,40	0,65	9	7,04—7,76	28	7,42	0,83	11	7,06—7,78
4	14	7,62	0,76	10	7,20—8,04	30	7,51	0,65	9	7,27—7,75
5	14	7,33	0,86	12	6,85—7,81	33	7,37	0,74	10	7,11—7,63
6	13	7,15	1,49	21	6,29—8,01	36	7,08	1,45	20	6,60—7,56
7	14	7,53	0,52	7	7,24—7,82	40	7,55	0,60	8	7,36—7,74
8	12	7,80	0,67	9	7,40—8,20	46	7,69	0,68	9	7,49—7,89
9	12	7,56	0,86	11	7,04—8,08	50	7,56	0,77	10	7,34—7,78
10	12	7,96	0,52	7	7,65—8,27	52	7,66	0,74	10	7,46—7,86

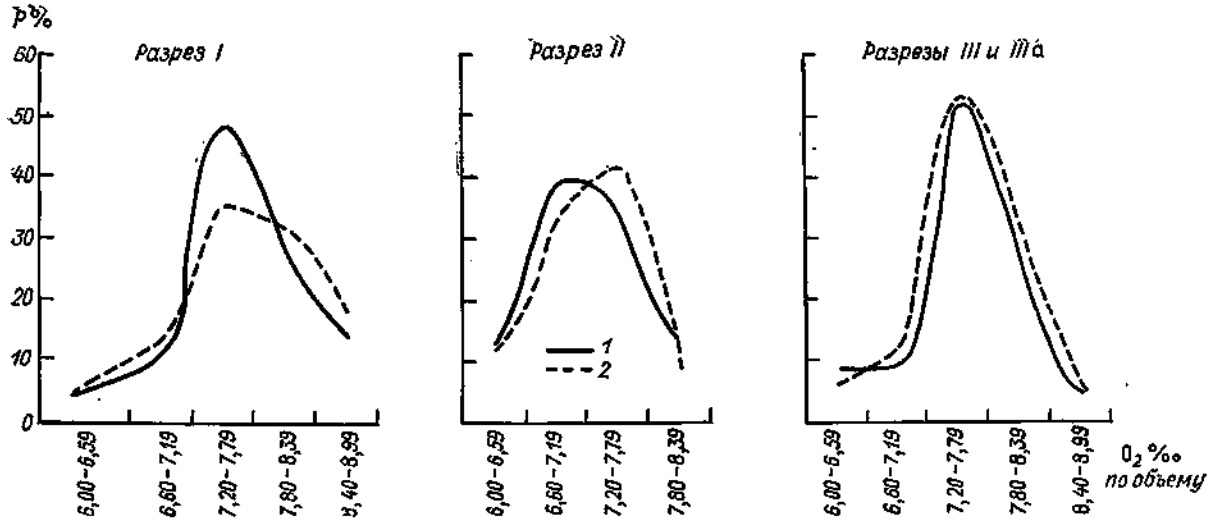


Рис. 3.6. Вероятность распределения (%) абсолютного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в Северном Каспии весной на поверхностном (*1*) и придонном (*2*) горизонтах.

Северным и Средним Каспием, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак практически не изменилось по сравнению с зимой.

В то же время в этом районе, в отличие от зимнего распределения, максимальное содержание кислорода (абсолютное и относительное) весной перемещается в центральную часть разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак. Наиболее отчетливо это проявилось в слое 0—10 м (табл. 3.5). Наличие подповерхностного максимума в абсолютном содержании кислорода прослеживается также на центральных станциях разреза (станции 3—5).

Насыщение вод кислородом во всей водной толще в районе водообмена оказывается не ниже 100 %.

Вертикальное распределение кислорода характеризуется, как правило, незначительным снижением его содержания в придонных слоях моря. Максимальные различия для абсолютного и относительного содержания кислорода между поверхностным и придонным слоем были отмечены на ст. 6 и составили более 0,7 ‰ и около 13 % соответственно.

Западный район мелководной зоны Среднего Каспия характеризуется весной однородным распределением абсолютного и относительного содержания кислорода по вертикали: различия между поверхностным и придонным горизонтом не превышают 0,2 ‰ и 3 % соответственно (табл. 3.6). Здесь отмечалось значительное понижение содержания кислорода по сравнению с зимним периодом. В районе устьевого взморья Терека эти изменения абсолютного содержания кислорода на поверхности и у дна составили 0,9 ‰ [от $(8,7 \pm 0,06)$ до $(7,8 \pm 0,09)$ ‰] и 1,1 ‰ [от $(8,7 \pm 0,08)$ до $(7,6 \pm 0,10)$ ‰], что обусловлено повышением температуры воды весной. В то же время благодаря развитию процессов фотосинтеза весной относи-

Таблица 3.5

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак весной за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность					Горизонт 10 м					Дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
						Абсолютное содержание									
1	12	7,99	0,60	7	7,63—8,35	—	—	—	—	—	11	7,92	0,50	6	7,60—8,24
2	10	8,25	0,20	2	8,10—8,40	7	7,86	0,48	6	7,47—8,25	9	7,86	0,43	5	7,56—8,16
3	13	8,10	0,33	4	7,91—8,29	11	8,29	0,61	7	7,91—8,68	11	7,82	1,10	14	7,12—8,52
4	12	8,36	0,22	3	8,17—8,55	9	8,40	0,55	6	8,01—8,79	10	8,06	0,63	8	7,64—8,48
5	13	7,86	1,67	21	6,90—8,82	11	8,12	0,39	5	7,87—8,37	11	8,09	0,47	6	7,79—8,39
6	12	8,51	0,99	12	7,97—9,05	9	8,00	0,42	5	7,71—8,29	10	7,78	0,66	8	7,34—8,22
7	14	7,78	0,90	12	7,28—8,28	—	—	—	—	—	12	7,68	0,54	7	7,36—8,00
						Относительное содержание									
1	13	110	8	7	105—115	—	—	—	—	—	12	106	8	8	101—111
2	10	109	7	6	105—113	7	101	5	5	100—102	9	100	5	5	96—104
3	14	109	6	6	105—113	11	109	8	8	103—115	12	99	12	13	92—106
4	11	111	6	5	107—115	7	106	7	7	100—112	9	102	9	9	96—108
5	13	108	17	16	101—115	10	106	5	5	102—110	11	101	9	9	95—107
6	11	113	12	11	105—121	8	105	6	6	100—110	9	101	7	7	96—106
7	13	107	12	11	106—108	—	—	—	—	—	11	104	7	6	100—108

Таблица 3.6

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия весной

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Средний Каспий											
Абсолютное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	164	7,76	1,20	15	7,57— 7,95	164	7,58	1,25	16	7,38—7,78
Район Махачкалы		148	7,96	1,28	16	7,75— 8,17	124	7,79	1,25	16	7,57—8,01
Взморье р. Самура		49	8,16	0,95	12	7,89— 8,43	49	8,07	1,10	14	7,76—8,38
Район Форт-Шевченко	1967—1985	60	10,82	1,76	16	10,37—11,22	65	7,55	0,52	7	7,42—7,68
Район м. Бекдаш		30	7,62	0,81	9	7,32— 7,92	27	7,59	0,73	9	7,20—7,98
Относительное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	164	106	9	8	105—107	164	103	10	10	101—105
Район Махачкалы		148	105	13	13	102—108	124	102	11	11	100—104
Взморье р. Самура		49	106	7	7	104—108	49	103	9	9	101—105
Район Форт-Шевченко	1967—1985	60	105	6	6	104—106	65	102	7	7	100—104
Район м. Бекдаш		30	104	7	16	100—108	27	103	7	7	100—106
Южный Каспий											
Абсолютное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	389	6,19	1,43	23	6,05—6,33	352	6,01	1,39	23	5,86—6,16
Сумгаит		410	7,86	1,04	13	7,76—7,96	350	7,54	1,06	14	7,29—7,65
Нефтяные Камни		84	7,16	1,06	15	6,92—7,40	81	6,48	0,89	14	6,28—6,68
Туркменский залив		88	6,93	0,93	13	6,73—7,13	88	6,84	0,89	13	6,65—7,03
Район п-ова Челекен		24	6,69	0,96	14	6,25—7,09	23	6,84	1,00	15	6,41—7,27
Красноводский залив		55	6,84	0,81	12	6,62—7,06	53	6,70	0,90	13	6,45—6,95
Ленкорань		40	7,56	0,85	11	7,29—7,83	38	7,37	0,99	13	7,05—7,69
Взморье р. Куры		45	7,01	1,33	19	6,61—7,41	42	6,87	1,31	19	6,47—7,27
Относительное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	389	93	18	20	91—95	352	92	17	19	90—94
Сумгаит		410	107	9	8	106—108	350	101	9	9	100—102
Нефтяные Камни		84	111	13	11	108—114	81	90	16	17	87—93
Туркменский залив		86	106	10	10	104—108	87	104	12	11	90—118
Район п-ова Челекен		24	104	4	14	102—106	23	100	14	14	94—106
Красноводский залив		55	108	14	13	106—110	53	103	15	14	99—107
Ленкорань		40	110	10	9	107—113	38	107	9	8	104—110
Взморье р. Куры		44	101	20	20	95—107	51	98	22	23	91—105

тельное содержание кислорода в этом районе превышает 100 % от поверхности до дна.

У восточного побережья Среднего Каспия, в районе м. Бекдаш, содержание кислорода в поверхностном и придонном горизонтах несколько снижается по сравнению с районами западного мелководья.

К факторам, разнонаправленно влияющим на формирование кислородного режима моря весной, следует отнести активизацию процесса фотосинтеза и повышение температуры воды верхних слоев моря. При этом рядом исследователей было отмечено [65, 100], что продукционные процессы, протекающие в эвфотическом слое Среднего Каспия весьма существенно перекрывают снижение содержания кислорода, обусловленное уменьшением его растворимости в связи с повышением температуры воды. Так, в отличие от зимы, когда содержание кислорода 7,5—8,0 ‰ было обнаружено в довольно узком слое 0—30 м, весной слой с таким же высоким содержанием кислорода увеличивается до 100 м (рис. 3.7 *а*).

В слое 100—400 м на глубоководных станциях разреза Дивичи — Кендерли содержание кислорода снижалось, что, по-видимому, обусловлено активизацией процесса деструкции органического вещества, в ходе которого расходуется кислород. У дна содержание кислорода практически оставалось таким же, как зимой.

Относительное содержание кислорода в водной толще открытой части Среднего Каспия весной практически идентично распределению кислорода в зимнее время (рис. 37 *б*). Исключение составляет поверхностный слой 0—25 м, где весной насыщение вод кислородом значительно превышает 100 %, что также подтверждает усиление развития фотосинтеза в этом слое.

Ранее было отмечено, что в придонном слое в районе водообмена между Средним и Южным Каспием, на разрезе о. Жилой — м. Куули, концентрация кислорода близка к содержанию кислорода на тех же горизонтах Среднего Каспия. Это свидетельствует о том, что в придонном слое преобладает перенос вод из Среднего Каспия в Юж-

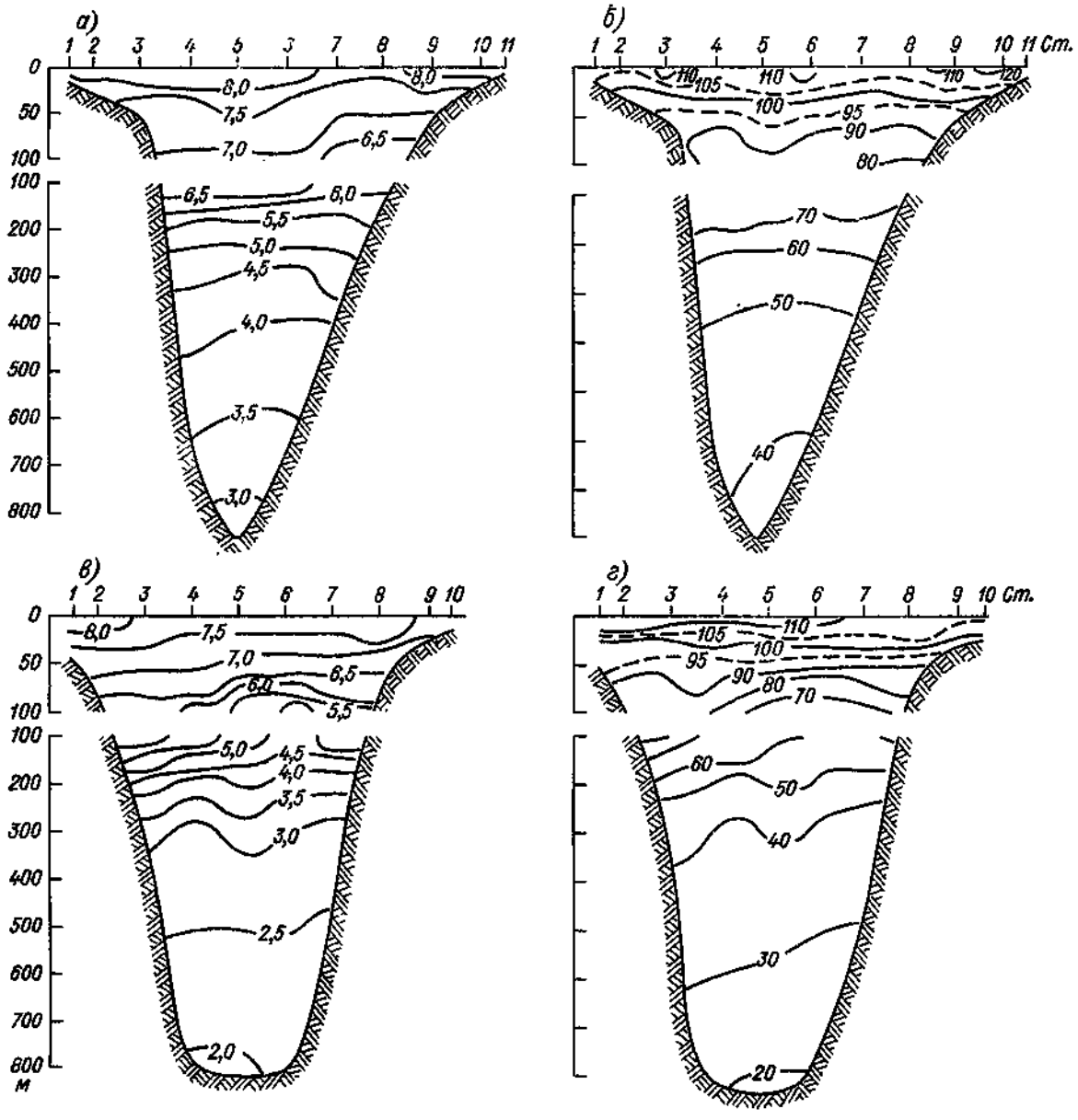


Рис. 3.7. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода весной на разрезах Дивичи—Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*).

а, *в* — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б*, *г* — относительное содержание кислорода, %.

ный, в результате чего происходит аэрация глубинных слоев южной части моря [65].

По данным наблюдений за 1981—1985 гг., на разрезе о. Жилой — м. Куули весной распределение кислорода в пределах каждого исследованного горизонта было довольно однородным. Высоким содержанием кислорода (до 7,5 ‰) характеризуется слой 0—30 м. Затем происходит последовательное его снижение ко дну, где колеблется в пределах 4,0—4,5 ‰ (см. рис. 3.2 *в*). Весеннее распределение относительного содержания кислорода в этом районе практически не отличается от зимнего (рис. 3.2 *г*).

В районе водообмена между Средним и Южным Каспием отмечено увеличение C_v и σ, показывающих изменчивость содержания кислорода, в 2—3 раза по сравнению с аналогичными характеристиками в слое 0—100 м глубоководных районов моря.

По сравнению с зимой изменчивость содержания кислорода на разрезе о. Жилой — м. Куули во всей водной толще также весьма существенно возрастает. Наибольшей изменчивостью весной характеризуется концентрация кислорода в придонных горизонтах, где коэффициенты вариации достигают 27—30 % (табл. 3.7).

В прибрежных мелководных районах, прилегающих к Апшеронскому порогу, весной отмечается снижение абсолютного содержания кислорода в связи с повышением температуры воды и увеличение относительного содержания кислорода, которое, в свою очередь, является показателем интенсивности фотосинтетических процессов в море и свидетельствует о степени продуктивности его вод. Насыщение кислородом поверхностного слоя моря в районах западного и восточного побережья по сравнению с зимним периодом возросло на 7—14 %. Максимальное снижение абсолютного содержания кислорода было отмечено в Красноводском заливе, где различие между зимними и весенними значениями достигало 1,5 ‰ [от $(8{,}2 \pm 0{,}10)$ до $(6{,}7 \pm 0{,}11)$ ‰].

Таблица 3.7

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в Среднем и Южном Каспии весной за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Разрез Дивичи—Кендерли															
0	16	8,20	0,78	9	7,80—8,60	15	8,15	0,70	9	7,78—8,52	16	7,87	0,62	8	7,55—8,19
10	17	8,18	0,80	10	7,78—8,58	14	8,39	0,42	5	8,16—8,62	16	7,98	0,61	8	7,67—8,29
20	17	7,99	0,68	9	7,65—8,33	14	8,15	0,38	5	7,94—8,36	16	7,56	0,61	8	7,25—7,87
30	16	7,62	0,66	9	7,28—7,66	14	7,92	0,40	5	7,70—8,14	16	7,08	0,89	13	6,62—7,54
50	15	7,29	0,55	8	7,00—7,58	14	7,64	0,47	6	7,38—7,90	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	14	7,24	0,59	7	6,91—7,57	—	—	—	—	—
150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	14	5,76	1,54	23	4,91—6,61	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	12	4,28	1,05	25	3,65—4,91	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	7	3,67	1,08	29	2,79—4,55	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули															
0	18	7,52	1,42	19	7,18—7,86	18	7,62	1,05	14	7,11—8,13	18	7,23	1,28	18	6,61—7,85
10	18	7,50	1,28	17	6,83—8,19	18	7,66	1,15	15	7,10—8,22	18	6,65	1,02	27	6,16—7,14
20	18	7,40	1,12	15	6,86—7,94	18	7,50	1,14	15	6,95—8,05	—	—	—	—	—
30	18	7,18	1,05	15	6,67—7,69	18	7,28	1,02	14	6,79—7,77	—	—	—	—	—
50	18	6,51	1,18	18	5,94—7,08	18	6,59	1,21	18	6,00—7,18	—	—	—	—	—
75	18	5,87	1,63	28	5,08—6,66	17	6,11	1,13	18	5,55—6,67	—	—	—	—	—
100	18	5,38	2,08	39	4,37—6,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	18	4,38	1,34	31	3,73—5,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский															
0	18	7,63	0,87	11	7,21—8,05	19	6,79	0,71	10	6,46—7,12	18	7,35	1,07	14	6,83—7,87
10	18	7,50	0,78	10	7,12—7,88	19	6,90	0,75	11	6,55—7,25	18	7,35	0,92	12	6,90—7,80
20	18	7,43	0,74	10	7,07—7,79	19	6,85	0,83	12	6,46—7,24	18	7,34	0,99	13	6,86—7,82
30	18	7,32	0,81	11	6,93—7,71	19	6,60	0,76	12	6,24—6,96	18	7,33	1,72	23	6,50—8,16
50	18	6,90	0,82	12	6,50—7,30	19	6,43	0,83	12	6,04—6,82	—	—	—	—	—
75	18	6,60	0,88	13	6,17—7,03	19	5,38	0,98	18	4,92—5,84	—	—	—	—	—
100	18	6,19	1,10	18	5,66—6,72	19	4,48	1,27	28	3,88—5,08	—	—	—	—	—
150	18	4,54	1,18	26	3,97—5,01	19	3,68	1,08	29	3,17—4,19	—	—	—	—	—
200	18	4,05	1,05	26	2,68—5,42	19	3,09	1,05	34	2,60—3,58	—	—	—	—	—
250	16	3,87	1,14	29	3,28—4,45	19	2,80	0,81	29	2,42—3,18	—	—	—	—	—
300	15	3,36	1,02	30	2,82—3,90	19	2,68	0,79	29	2,31—3,05	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	18	2,40	0,58	24	2,12—2,68	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	17	2,21	0,50	23	1,96—2,46	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	16	2,03	0,62	30	1,71—2,35	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	12	1,87	0,66	35	1,47—2,27	—	—	—	—	—

Максимальное увеличение относительного содержания кислорода было обнаружено в районе Нефтяных Камней.

Наименьшим содержанием кислорода в этот период характеризуются воды Бакинской бухты и придонного слоя в районе Нефтяных Камней, что, по-видимому, объясняется значительным загрязнением этих районов по сравнению с другими прибрежными районами моря. Здесь также отмечается и наибольшая изменчивость относительного и абсолютного содержания кислорода (см. табл. 3.6).

В районах западного побережья Южного Каспия (Ленкорань, взморье р. Куры) концентрация кислорода весной оставалась довольно высокой, хотя и несколько снизилось его абсолютное содержание по сравнению с зимним периодом. Так, уменьшение абсолютного содержания кислорода в районе устьевого взморья Куры составило 0,85‰ [от $(7{,}8 \pm 0{,}09)$ до $(6{,}9 \pm 0{,}20)$‰]. В то же время бурное развитие процесса фотосинтеза в весенний период вызвано повышением относительного содержания кислорода на 6—9 % в районе Ленкорани, где его средние значения на поверхности достигали 110 %.

В районах восточного побережья Южного Каспия (Туркменский залив и п-ов Челекен) абсолютное содержание кислорода весной понизилось почти на 1,5‰ [от $(8{,}3 \pm 0{,}13)$ до $(6{,}8 \pm 0{,}20)$ ‰] (см. табл. 3.6).

В весенний период тенденция к уменьшению содержания кислорода в направлении с запада на восток сохраняется на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский (рис. 3.7 *в*). Слой 0—50 м снизу ограничивается изооксигеной 7,0‰. Максимальная концентрация кислорода (8,2‰) приурочена к мелководным западным станциям разреза. В продуктивном слое Южного Каспия абсолютное содержание кислорода вследствие более высоких температур воды ниже, чем в Среднем Каспии.

Основная закономерность — убывание кислорода с глубиной — сохраняется в глубоководных районах Каспия во все сезоны. По данным наблю-

дений за 1981—1985 гг., в открытой части Южного Каспия резкое изменение содержания кислорода (около 2‰) по вертикали происходит в слое 100—200 м. На горизонте 200 м содержание кислорода ниже, чем зимой, примерно на 1‰, что, по-видимому, объясняется потреблением кислорода в процессе деструкции органического вещества. В то же время отмечалось, что зимняя и весенняя температуры воды на этом горизонте различаются мало.

Начиная с горизонта 300 м содержание кислорода постепенно уменьшается ко дну с 3,5 до 2,0‰ (рис. 3.7 *в*).

Некоторое увеличение содержания кислорода в западной части Каспийского моря обусловлено влиянием речного стока. Сток Волги, направленный к югу, прижимается к западному берегу и прослеживается до Апшеронского полуострова и даже южнее. В Южном Каспии источником повышенного содержания кислорода на западе является сток куринских вод. Влияние куринских вод на распределение кислорода в Южном Каспии отчетливо проявляется весной, в период наибольшего поступления речных вод. В восточной части моря речного стока нет.

Как и зимой, содержание кислорода в толще вод Южного Каспия ниже, чем в водах Среднего Каспия. По средним многолетним данным наблюдений, начиная с горизонта 100 м абсолютное содержание кислорода на разрезе, характеризующем гидрохимический режим глубоководной части Южного Каспия, оказывается значительно ниже, чем на тех же горизонтах в Среднем Каспии. Отмечено, что эти различия с глубиной усиливаются: на горизонте 100 м они составили около 1,0‰, в слое от 200 до 300 м — около 1,8‰ и у дна — около 1,6‰. Весной относительное содержание кислорода в Южном Каспии в слое 0—25 м превышает 100 %, в поверхностном слое оно достигает 110 % и выше. Дефицит кислорода (менее 50 %) отмечается в глубоководных районах начиная с 200-метрового горизонта. В слое 0—100 м распределение относительного содержания кислорода в Южном Каспии аналогично распределению в Среднем Каспии. Начиная со 100-метрового горизонта относительное содержание кислорода в Южном Каспии уменьшается по сравнению со Средним Каспием более чем на 10 %, и с глубиной эти различия только усиливаются (рис. 3.7 *г*).

Распределение кислорода в летний период

В летний период растворимость кислорода с ростом температуры воды уменьшается, и средние взвешенные значения абсолютного содержания кислорода в водах Северного Каспия от весны к лету изменяются с 7,4 до 5,6‰.

Распределение кислорода в начале лета (июнь — июль) и в конце (август — сентябрь) весьма существенно различается, особенно в западной части Северного Каспия. В первую половину лета половодье еще оказывает свое влияние на солеиостной и термический режим этой части моря. В конце лета влияние речных вод уже ослаблено, процесс фотосинтеза продолжается и, как правило, поле максимальных концентраций кислорода перемещается в другие районы Северного Каспия.

В восточной части Северного Каспия в течение всего теплого периода соленостной и термический режим оказывается мало изменчивым, что в свою очередь обусловливает незначительные различия в распределении кислорода в этом районе в начале и конце лета.

В летний период среднее многолетнее распределение температуры воды в районе Уральской бороздины было довольно равномерным по всей акватории района, изменяясь в пределах 1 °С. Повышение солености отмечалось в направлении от устья Урала к центральной части Гурьевской бороздины с 7,0 до 9,4‰, а при приближении к Бузачинскому порогу соленость понижалась до 7,0‰. В июне — июле в восточной части Северного Каспия содержание кислорода изменялось в пределах 0,3‰, понижаясь от устья Урала в направлении Уральской бороздины (рис. 3.8 *а*). В августе — сентябре здесь отмечалось некоторое повышение абсолютного содержания кислорода со смещением максимальных концентраций в район Уральской бороздины (рис. 3.8 *б*).

Наибольшее относительное содержание кислорода (113 %) было отмечено при приближении к Бузачинскому порогу в июне — июле, снижение значений (до 97 %) наблюдалось в районе Уральской бороздины в июне — июле, а также (до 95 %) в августе — сентябре (рис. 3.8 *в*, *г*). Вертикальное распределение относительного содержания кислорода в этом районе летом оказывается довольно однородным от поверхности до дна. Максимальные различия между поверхностным и придонным горизонтом в районе устьевого взморья Урала и Уральской бороздины не превышали 5 %.

В начале лета отмечается довольно резкое изменение солености в районе Бузачинского порога: от 4‰ (район устьевого взморья Волги) до 13‰ (район о. Кулалы). Термический режим воды характеризуется незначительным уменьщением температуры в этом же направлении. Абсолютное и относительное содержание кислорода в этот период в данном районе изменяется незначительно — в пределах 0,4‰ [от $(5{,}8 \pm 0{,}05)$ до $(5{,}4 \pm 0{,}10)$‰] и 4 % соответственно. На поверхностном горизонте снижение относительного содержания кислорода с севера на юг составило около 3 %, на придонном — 8 %. В июне — июле максимальные различия в содержании кислорода по вертикали отмечались южнее о. Кулалы и не превышали 10 %.

В августе — сентябре в районе Бузачинского порога различие температур на севере и на юге было более значительным, чем в начале лета, и составило около 4,5 °С. Абсолютное и относительное содержание кислорода в среднем оказывается выше, чем в начале лета, и изменяется с севера на юг также в незначительных пределах 0,3‰ [от $(6{,}0 \pm 0{,}03)$ до $(5{,}7 \pm 0{,}07)$ ‰] и 10 % соответственно. Различия в содержании кислорода по вертикали в районе о. Кулалы увеличились до 20 %. Среднее многолетнее относительное содержание кислорода на придонном горизонте на ст. 17б составило 83 %.

В центральном районе западной части Северного Каспия (разрез III) и непосредственно в западной его части (разрез IIIа) в начале лета средняя многолетняя температура воды изменялась с севера на юг с 24 до 18 °С. Абсолютное содержание кислорода в этом районе колебалось в пределах 0,8—1,0‰, при этом максимальное значение отмечалось на периферийных станциях разрезов III и

Рис. 3.8. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение содержания кислорода в Северном Каспии в июне—июле (*а, в*) и августе—сентябре (*б, г*).

а, б — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *в, г* — относительное содержание кислорода, %.

IIIа: на севере — около 6,0 ‰, на юге — около 6,3 ‰ (рис. 3.8 *а, б*). Распределение среднего многолетнего относительного содержания кислорода в этот период аналогично распределению абсолютного содержания кислорода на разрезах (рис. 3.8 *в, г*). В июне-июле относительное содержание кислорода в поверхностном слое западной части Северного Каспия оказывается довольно высоким — 102—110 %. На придонном горизонте относительное содержание кислорода понижалось со 100 % на севере до 84 % в средней части разреза III, затем оно повышалось к югу до 92—94 %. На разрезе IIIа на придонных горизонтах южных глубоководных станций относительное содержание уменьшалось до 65 %.

Различия в вертикальном распределении относительного содержания кислорода в среднем на станциях разреза III составили 10 % с максимумом в центре разреза III на ст. 22 — более 20 % (рис. 3.9 *а*), на ст. 6—10 разреза IIIа — более 40 % (рис. 3.9 *б*).

В августе — сентябре горизонтальный градиент температуры в западной части Северного Каспия уменьшается до 2 °С. Абсолютное содержание кислорода понижается с севера на юг с 6,2 до 5,4 ‰, относительное содержание — со 100 до 90 %.

Различия в вертикальном распределении относительного содержания кислорода в центральном районе западной части Северного Каспия в августе — сентябре увеличиваются с севера на юг с 5 до 14 %; непосредственно в западном районе на южных станциях разреза IIIа они достигают более 60 % (рис. 3.9 *в, г*).

Летом в Северном Каспии в слое 0—2,5 м коэффициент вариации абсолютного содержания кислорода колеблется в пределах 5—15 %. В толще вод в восточной части Северного Каспия был отмечен максимальный C_v, который составил 77 % (табл. 3.8). Наибольшие значения σ наблюдались также на южных станциях разрезов II и IIIа (до 15—30 %), на среднх станциях разреза III, характеризующих фронтальную зону.

В отличие от весны, кривые вероятностного распределения абсолютного содержания кислорода в различных районах Северного Каспия в летнее время весьма далеки от нормального. Исключением оказывается район водообмена между восточной и западной частью моря, где в поверхностном слое отмечалось распределение, близкое к нормальному (рис. 3.10).

Резкое снижение содержания кислорода в глубинных горизонтах западной части Северного Кас-

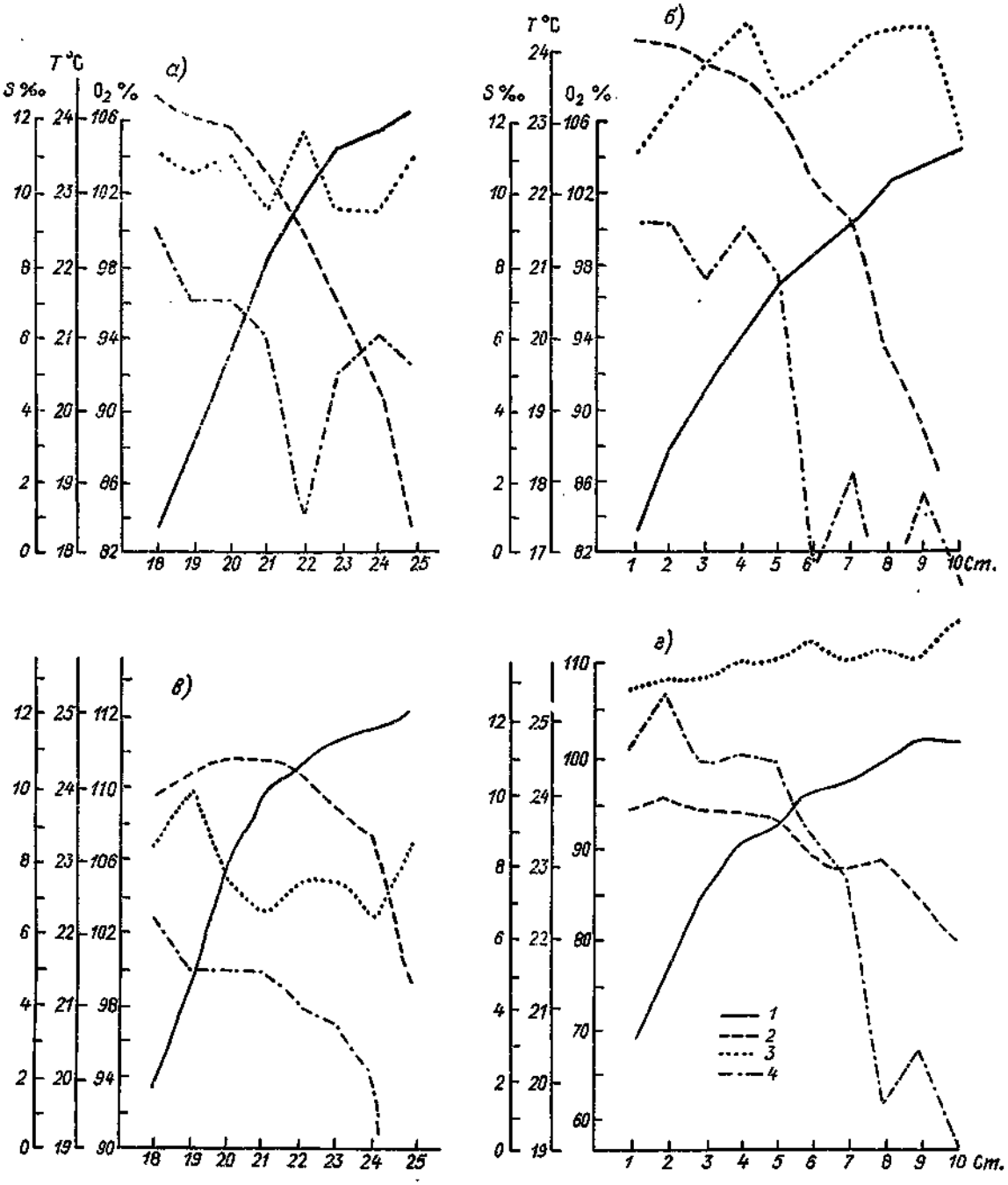


Рис. 3.9. Распределение солености и температуры воды (соответственно *1* и *2*), а также относительного содержания кислорода на поверхности (*3*) и у дна (*4*) в июне—июле (*а*, *б*) и августе—сентябре (*в*, *г*).

а, *в* — разрез III; *б*, *г* — разрез IIIа.

пия объясняется тем, что в летнее время при определенных условиях в районах с глубинами более 8—10 м устанавливаются большие соленостно-температурные градиенты. Резкое расслоение вод по вертикали затрудняет газообмен между придонным и поверхностным слоем. В это же время отмечается повышенный приток органического вещества в этот район моря. Интенсивное окисление органического вещества, высокая температура воды и наличие стратифицированной толщи вод приводят к тому, что растворенный кислород, содержащийся в придонных слоях, быстро расходуется и образуется зона его дефицита, которая располагается на глубинах ниже 8—10 м.

Эпизодические исследования в 30—50-е годы показывали, что в Северном Каспии резкое расслоение вод по вертикали, связанное с прохождением паводковой волжской струи, сохранялось в 5—6-балльный шторм. Так, в пограничном районе между Северным и Средним Каспием отмечалось снижение содержания кислорода до 78 % (1934 г.) и до 30 % (1952 г.).

Результаты наблюдений Астраханской ЗГМО в течение 1960—1985 гг. свидетельствуют о том, что в придонных слоях западной и юго-западной частей Северного Каспия и после зарегулирования стока р. Волги явление дефицита кислорода, сопровождающееся заморами, продолжало возникать в летнее время.

Гидрометеорологические условия оказывают важное влияние на формирование газового режима Северного Каспия. В течение 1960—1980 гг.

Таблица 3.8

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в Северном Каспии летом за 1961—1983 гг.

Номер станции разреза	Слой 0 — 2,5 м					Поверхность — дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Восточная часть (разрез I)										
1	30	5,71	0,35	6	5,58—5,84	45	5,70	0,33	6	5,59—5,81
2	23	5,64	0,35	6	5,49—5,79	46	5,69	0,41	7	5,57—5,81
3	23	5,67	0,40	7	5,50—5,84	46	5,61	0,38	7	5,50—5,72
4	23	5,65	0,53	9	5,43—5,87	46	5,66	0,46	8	5,52—5,80
5	24	5,58	0,62	11	5,32—5,84	46	5,47	0,76	14	5,25—5,69
6	23	5,65	0,48	9	5,45—5,85	47	5,58	0,55	10	5,42—5,74
7	22	5,46	0,63	12	5,18—5,74	51	5,41	0,60	11	5,24—5,58
8	22	5,58	0,63	11	5,30—5,86	54	5,50	0,63	11	5,33—5,67
9	22	5,64	0,65	12	5,36—5,92	52	5,47	0,61	11	5,30—5,64
Район водообмена между западной и восточной частью (разрез II)										
12	31	5,85	0,32	5	5,73—5,97	48	5,78	0,39	7	5,67—5,89
13	25	5,65	0,37	6	5,50—5,80	49	5,59	0,46	8	5,46—5,72
14	23	5,48	0,51	9	5,26—5,70	48	5,45	0,66	11	5,26—5,64
15	25	5,66	0,38	7	5,50—5,82	50	5,52	0,67	12	5,33—5,71
16	23	5,62	0,45	8	5,43—5,81	50	5,36	0,87	16	5,11—5,61
17	23	5,60	0,58	10	5,36—5,84	48	5,54	0,63	11	5,36—5,72
17а	8	5,49	0,55	10	5,07—5,91	16	5,44	0,61	11	5,12—5,75
17б	8	5,49	0,89	16	4,82—6,16	23	5,41	0,77	14	5,08—5,74
Западная часть (разрезы III и IIIа)										
18	26	6,02	0,92	15	5,65—6,39	45	5,95	0,79	13	5,71—6,19
19	22	5,92	0,62	11	5,65—6,19	44	5,74	0,79	14	5,50—5,98
20	21	5,93	0,56	9	5,68—6,18	41	5,72	0,73	13	5,49—5,95
21	21	5,73	0,33	6	5,58—5,88	50	5,52	0,64	12	5,34—5,70
22	23	5,91	0,41	7	5,73—6,09	66	5,47	1,08	20	5,20—5,74
23	22	5,69	0,67	12	5,40—5,98	79	5,61	0,93	17	5,40—5,82
24	21	5,71	0,72	13	5,39—6,03	77	5,83	0,86	15	5,63—6,03
25	23	5,94	0,39	7	5,77—6,11	123	6,29	0,78	12	6,15—6,43
1	14	5,97	0,74	12	5,56—6,38	28	5,85	0,70	12	5,58—6,12
2	14	6,06	0,81	13	5,61—6,51	28	5,86	0,74	13	5,58—6,14
3	13	6,12	0,47	8	5,85—6,39	26	5,80	0,57	10	5,57—6,03
4	13	6,20	0,70	11	5,80—6,60	26	5,93	0,74	12	5,63—6,23
5	14	6,00	0,36	6	5,80—6,20	34	5,71	0,77	13	5,45—5,97
6	13	6,02	0,43	7	5,77—6,27	39	5,40	1,09	20	5,05—5,75
7	13	6,14	0,46	7	5,87—6,40	40	5,71	0,98	16	5,40—6,02
8	11	6,26	0,77	12	5,77—6,74	46	5,30	1,45	27	4,87—5,73
9	11	6,24	0,61	10	5,85—6,63	54	5,78	0,88	15	5,54—6,02
10	12	5,90	0,55	9	5,57—6,23	57	5,67	1,18	21	5,36—5,98

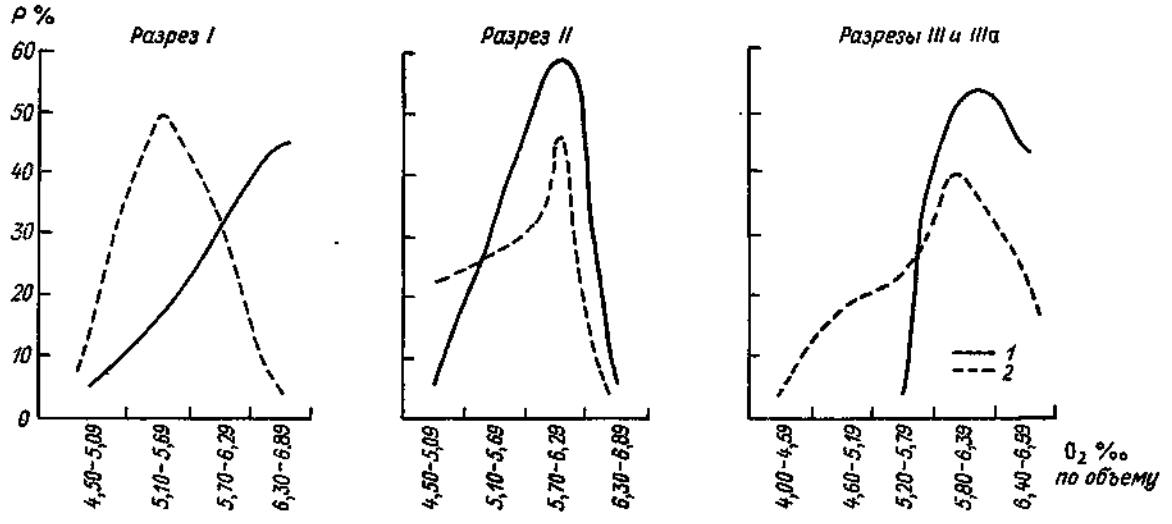


Рис. 3.10. Вероятность распределения (%) абсолютного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в Северном Каспии летом на поверхностном (*1*) и придонном (*2*) горизонтах.

в этом регионе по сравнению со средней многолетней нормой повысилась температура воздуха зимой, весной и осенью соответственно на 0,8; 1,0 и 0,3 °С. Таким образом, формирование газового режима в этот период происходило в условиях повышенной температуры воздуха.

По сравнению с многолетней нормой за период 1976—1980 гг. возросла повторяемость восточных, северо-западных и западных ветров. Максимальные скорости ветра наблюдались в феврале, марте и апреле, минимальные (3,2—3,5 м/с) — в июле и августе.

В период 1960—1980 гг. средние скорости ветра были в основном меньше многолетней нормы.

Анализ климатического фона в этот период подтверждает то, что гидрохимические, биохимические и гидробиологические процессы в Северном Каспии в последние два десятилетия происходили в условиях максимума температур и депрессии ветровой деятельности. Уже в 40—60-е годы большое значение уделялось выявлению в Северном Каспии зон с дефицитом кислорода. Рядом исследователей довольно часто отмечался резкий дефицит кислорода в летнее время у дна в западной части на свале глубин, в районах островов Тюлений и Чечень, на акватории, граничащей со Средним Каспием [35, 63, 65]. Н. И. Винецкая [35] обратила внимание на то, что в многоводные годы значительный дефицит кислорода имел место в предустьевом пространстве Волги и в районе Уральской бороздины.

По данным КаспНИРХа, с 1955 по 1985 г. площади с дефицитом кислорода ($\leqslant 80$ % насыщения) в придонном слое весьма существенно изменялись (табл. 3.9). Как правило, площади с гипоксией увеличиваются в годы с объемом половодья Волги более 120 км³. В 50-е годы максимальные площади с гипоксией в придонном горизонте Северного Каспия наблюдались в июне 1953 и 1955 гг., а также в августе 1955 г. и составили соответственно 21,0; 24,8; 33,2 тыс. км².

Таблица 3.9

Площади зон северной части Каспийского моря с относительным содержанием кислорода менее 80 % насыщения на придонном горизонте в летний период

Годы	Площадь, тыс. км²		Средний годовой сток, км³	Годы	Площадь, тыс. км²		Средний годовой сток, км³
	Июнь	Август			Июнь	Август	
1960	7,2	3,1	209	1975	4,3	5,5	165
1961	0,5	8,4	234	1976	1,0	3,3	187
1962	2,4	7,2	238	1977	0,1	4,3	195
1963	1,4	3,0	268	1978	3,5	2,0	275
1964	5,1	6,7	216	1979	3,7	—	314
1965	2,6	0,5	216	1980	2,3	12,2	253
1966	2,9	11,8	288	1981	5,5	18,4	289
1967	0,8	3,8	182	1982	2,4	8,3	220
1968	0,0	1,7	212	1983	6,2	10,0	226
1969	0,0	0,4	217	1984	2,8	10,1	219
1970	0,0	16,4	265	1985	5,2	18,7	295
1971	0,2	6,7	224				
1972	2,9	2,4	200	1978—1985	4,0	11,4	261
1973	3,1	10,1	162	1970—1977	1,7	6,5	205
1974	1,6	3,4	241	1960—1969	2,3	4,7	228
				1954—1959	2,0	13,3	133*

* Средний объем половодья Волги, км³.

В течение 1960—1970 гг. максимальные площади дефицита кислорода (12—16 тыс. км²) были отмечены в годы, характеризующиеся повышенным стоком Волги.

Период подъема уровня моря, совпавший с повышением температуры воды и воздуха, усилением ветровой депрессии и увеличением стока рек, характеризуется ростом площадей дефицита кислорода в Северном Каспии летом более чем в 2 раза по сравнению с периодами других состояний уровня моря. По мнению исследователей, резкий дефицит кислорода у дна образуется при устойчивости водных слоев более 10—15 тыс. усл. ед. [65].

Как видно из табл. 3.9, в течение 1981—1985 гг. максимальные площади с дефицитом кислорода отмечались в августе 1981 и 1985 гг.: соответственно 18,4 и 18,7 тыс. км². Эти годы характеризовались повышенным объемом весеннего половодья р. Волги и компенсационным подтоком среднекаспийских вод; такие условия способствовали стратифицированию водной толщи по температуре, что и препятствовало турбулентному перемешиванию водных масс.

Летом в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, в слое 0—10 м наблюдается довольно однородное распределение абсолютного содержания кислорода с запада на восток. На придонном горизонте отмечается существенное увеличение значений абсолютного содержания кислорода в этом же направлении и разница в экстремальных значениях на разрезе составляет около 1,3 ‰ [от $4{,}8 \pm 0{,}34$ до $(6{,}1 \pm 0{,}14)$ ‰]. Благодаря активному развитию процесса фотосинтеза в слое 0—10 м относительное содержание кислорода, как правило, превышает 100 %. На придонном горизонте оно в это же время оказывается не выше 80—85 %. Исключением является восточная мелководная станция, где и у дна относительное содержание кислорода достигает 95 % (табл. 3.10). В поверхностном слое западных мелководных станций разреза (станции 1 и 2) можно проследить влияние северокаспийских вод, которое проявляется здесь в более высоких значениях абсолютного (до 6,2 ‰) и относительного содержания кислорода (до 113 %) по сравнению с другими станциями разреза.

Максимальная изменчивость абсолютного и относительного содержания кислорода отмечается на придонных горизонтах: на разных станциях разреза C_v возрастает здесь по сравнению с поверхностным слоем в 2—5 раз (см. табл. 3.10).

В западной и восточной мелководных зонах Среднего Каспия, в районе устьевых взморий Терека, Самура и у м. Бекдаш, содержание кислорода летом в связи с повышением температуры воды снижается. Однако оно продолжает оставаться довольно высоким во всей водной толще. Процесс фотосинтеза здесь протекает также от поверхности до дна, о чем свидетельствует относительное содержание кислорода, превышающее 100 % по всей толще (табл. 3.11).

Рассматривая распределение кислорода в Среднем и Южном Каспии в летнее время, исследователи отмечают важную роль термоклина в формировании вертикальной структуры кислорода в условиях максимального прогрева вод и высокой активности фотосинтеза. Интенсивный фотосинтез в открытых водах глубоководных частей Среднего

Таблица 3.10

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак летом за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность					Горизонт 10 м					Дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
Абсолютное содержание															
1	15	6,11	0,85	14	5,66—6,56	—	—	—	—	—	14	4,85	1,24	26	4,16—5,54
2	16	6,16	0,72	12	5,79—6,53	13	5,41	0,92	17	4,88—5,94	14	4,92	1,23	25	4,24—5,60
3	16	5,71	1,07	19	5,16—6,26	14	5,95	0,58	10	5,63—6,27	14	5,62	0,86	15	5,14—6,10
4	16	5,92	0,41	7	5,71—6,13	14	5,89	0,83	14	5,43—6,35	14	5,34	1,18	22	4,69—5,99
5	16	6,01	0,57	10	5,72—6,30	14	5,99	0,55	9	5,69—6,29	14	5,82	1,14	20	5,17—6,47
6	16	6,07	0,68	11	5,72—6,42	14	5,97	0,53	9	5,58—6,36	13	5,72	1,19	21	5,03—6,41
7	16	6,01	0,56	9	5,72—6,30	—	—	—	—	—	14	6,15	0,54	9	5,85—6,45
Относительное содержание															
1	15	110	14	13	103—117	—	—	—	—	—	15	83	21	24	72—94
2	14	113	13	12	105—120	13	98	18	19	88—108	14	80	23	28	68—92
3	17	109	8	7	105—113	15	108	8	7	104—112	15	86	26	30	74—98
4	15	109	6	5	106—112	14	109	7	7	105—113	14	83	20	24	72—94
5	17	108	8	8	104—112	14	105	8	8	100—110	15	83	20	24	72—94
6	16	108	9	9	105—111	13	101	12	11	94—108	13	83	29	24	71—95
7	17	104	5	5	102—106	—	—	—	—	—	14	95	13	13	88—102

Таблица 3.11

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия летом

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
Средний Каспий											
Абсолютное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	188	6,00	0,59	10	5,91—6,09	188	5,70	1,01	18	5,55—5,85
Район Махачкалы		132	6,20	0,79	13	6,06—6,34	108	5,98	0,81	14	5,82—6,14
Взморье р. Самура		46	6,42	1,01	16	6,12—6,72	46	6,21	1,08	17	5,89—6,53
Район Форт-Шевченко	1967—1985	66	6,28	0,82	16	6,08—6,48	63	5,89	0,98	17	5,64—6,14
Район м. Бекдаш		32	6,89	0,80	12	6,61—7,17	25	6,50	0,75	12	6,19—6,81
Относительное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	188	107	11	9	105—109	188	100	17	17	98—102
Район Махачкалы		132	112	16	14	109—115	108	106	16	15	103—109
Взморье р. Самура		46	115	16	14	110—120	46	104	16	15	99—109
Район Форт-Шевченко	1967—1985	66	101	26	25	95—107	63	88	21	23	83—93
Район м. Бекдаш		32	104	8	8	101—107	25	99	10	10	95—103
Южный Каспий											
Абсолютное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	232	5,22	1,34	26	5,04—5,40	213	5,01	1,35	27	4,83—5,19
Сумгаит		214	6,37	0,88	14	6,25—6,49	215	5,89	0,76	13	5,79—5,99
Нефтяные Камни		87	6,19	0,81	13	6,02—6,36	85	5,74	0,93	16	5,54—5,94
Туркменский залив		122	5,68	1,00	18	5,50—5,86	121	5,60	0,92	16	5,43—5,77
Район п-ова Челекен		22	5,54	0,46	8	5,34—5,74	22	5,39	0,42	8	5,21—5,57
Ленкорань		35	5,68	0,57	10	5,49—5,87	35	5,55	0,50	9	5,38—5,72
Взморье р. Куры		44	5,27	0,88	17	5,01—6,53	44	5,27	0,88	17	5,01—5,54
Относительное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	232	97	26	27	94—100	213	90	24	26	87—93
Сумгаит		214	113	14	12	111—115	215	102	17	17	100—104
Нефтяные Камни		87	112	9	8	110—114	85	90	17	18	86—94
Туркменский залив		114	107	8	7	106—108	112	105	9	8	103—107
Район п-ова Челекен		22	108	10	9	104—112	22	104	9	9	100—108
Ленкорань		35	107	7	7	105—109	35	102	18	17	96—108
Взморье р. Куры		45	107	9	8	104—110	45	109	9	8	106—112

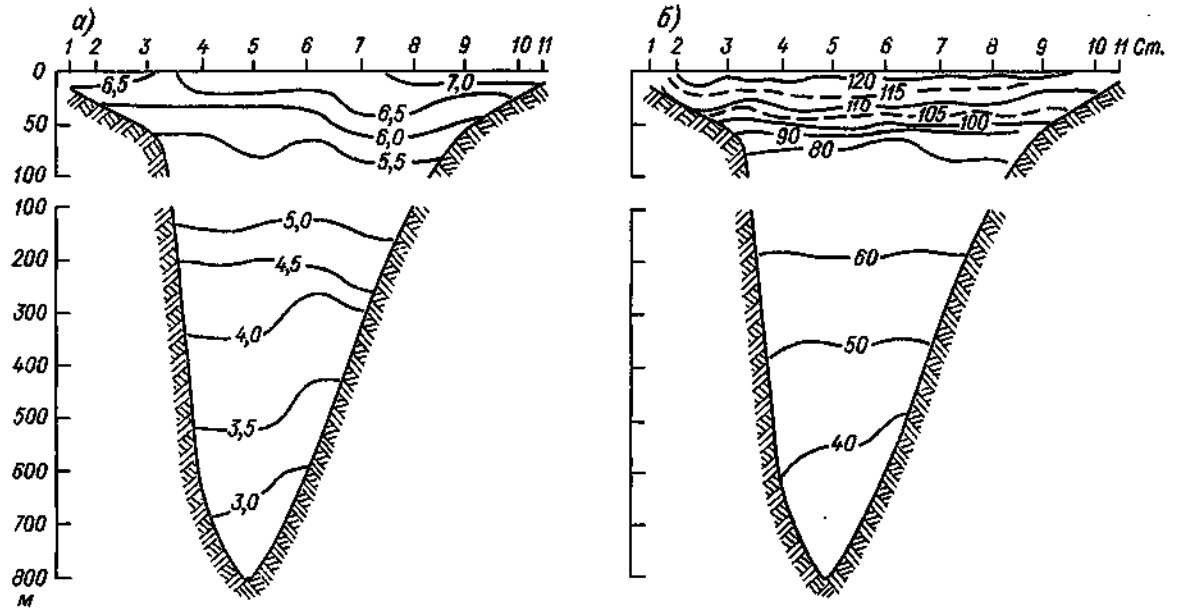


Рис. 3.11. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода на разрезе Дивичи—Кендерли летом.

а — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

и Южного Каспия охватывает верхний 25-метровый слой, ограниченный снизу сезонным термоклином с большими градиентами солености и температуры [65, 75, 76].

Летом в деятельном слое (0—25 м) Среднего Каспия абсолютное содержание кислорода не превышает 6,5—7,0 ‰ (рис. 3.11 *а*), так как, по-видимому, процессы фотосинтеза не компенсируют уменьшения растворимости кислорода вследствие усиления прогрева вод. В то же время насыщение вод кислородом в эвфотическом слое вследствие фотосинтеза оказывается достаточно большим, достигая 115—120 % (рис. 3.11 *б*).

В Среднем Каспии, по данным средних многолетних наблюдений, в летнее время ниже слоя скачка снижение относительного насыщения кислородом колеблется от 15 до 20 %. Вблизи верхней границы термоклина происходит разложение органических веществ и остатков фито- и зоопланктона. плотность которых не позволяет им погрузиться ниже.

Резкое снижение содержания кислорода примерно на 1 ‰ наблюдается в слое 100—200 м. По-видимому, уменьшение содержания кислорода ниже 100 м и в глубинных слоях разреза Дивичи-Кендерли по сравнению с весенними значениями, свидетельствует о значительной интенсификации процесса окисления органического вещества в этот период года. Эта тенденция прослеживается до дна. Так, в придонных слоях разреза содержание кислорода летом по сравнению с весной уменьшилось на 0,5—1,0 ‰. Это связано с тем, что часть органического вещества, продуцируемого ниже термоклина, и часть органики, проникающей через термоклин, когда это позволяет плотность частиц, окисляются в глубинных слоях моря.

В зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, на разрезе о. Жилой — м. Куули, в летний сезон от поверхности ко дну содержание кислорода изменялось от 6,0 до 3,5 ‰ по средним многолетним данным за 1981—1985 гг. В слое 0—100 м отмечалось однородное распределение кислорода с запада на восток. Однако начиная с горизонта 150 м и до дна отчетливо проявляется неоднородность в распределении кислорода в западной и восточной частях разреза (рис. 3.12 *а*).

В поверхностном слое этого района, в открытой части моря, относительное содержание кислорода превышало 110—115 %; на горизонте 50 м оно снижалось до 90 %, у дна — составило 50 % (рис. 3.12 *б*). Изменчивость абсолютного содержания кислорода на разрезе о. Жилой — м. Куули увеличивается с глубиной. Так, на ст. 3 на поверхности C_v равно 6 %, у дна — 35 %, на ст. 6 на глубине 75 м C_v составило 10 %, на ст. 9 у дна — 19 % (табл. 3.12).

Мелководные районы, прилегающие к зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, с наступлением лета характеризуются некоторым повышением относительного содержания кислорода в поверхностных слоях и значительным снижением абсолютного содержания кислорода в водной толще по сравнению с весной: сезонные различия составили 1 ‰ [от 6,1 ± 0,07 до (5,1 ± 0,09) ‰]. Как и в весенний период, наименьшее абсолютное и относительное содержание кислорода было обнаружено в водах Бакинской бухты (см. табл. 3.11).

В районах западного побережья Южного Каспия (Ленкорань, взморье р. Куры) отмечается весьма существенное снижение абсолютного содержания кислорода в летний период у дна и на поверхности, и различие в содержании кислорода между двумя сезонами достигает соответственно для обоих районов 2 ‰ [от 7,6 ± 0,14 до (5,6 ± ± 0,09) ‰] и 1,7 ‰ [от 7,0 ± 0,20 до (5,3 ± ± 0,13) ‰]. В районах Туркменского залива и п-ова Челекен, в восточной мелководной части Южного Каспия, уменьшение концентрации кислорода по сравнению с его содержанием весной составило около 1,2 ‰ [от 6,9 ± 0,09 до (5,7 ± 0,08) ‰] (см. табл. 3.11).

В водах прибрежных районов Южного Каспия в летнее время относительное содержание кислорода превышает 100 % во всей водной толще, что

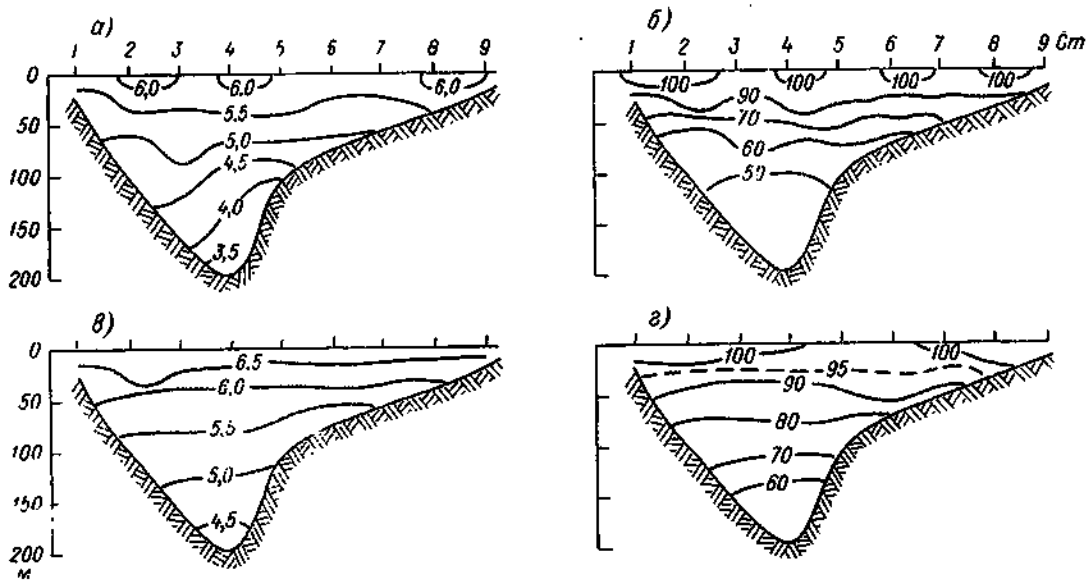


Рис. 3.12. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода на разрезе о. Жилой — м. Куули летом (*а*, *б*) и осенью (*в*, *г*).

а, *в* — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б*, *г* — относительное содержание кислорода, %.

Таблица 3.12

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в Среднем и Южном Каспии летом за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ (β=0,95)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ (β=0,95)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ (β=0,95)
Разрез Дивичи—Кендерли															
0	12	5,90	0,42	7,1	5,65—6,15	13	5,81	0,57	9,7	5,48—6,14	12	5,90	0,71	12,0	5,47—6,33
10	12	5,81	0,33	5,8	5,61—6,01	13	5,87	0,40	6,8	5,64—6,10	12	5,82	0,80	13,7	5,34—6,30
20	11	5,51	0,81	14,7	5,00—6,02	9	5,84	0,49	8,4	5,49—6,19	—	—	—	—	—
30	11	5,28	0,67	12,8	4,86—5,70	9	5,80	0,59	10,2	5,38—6,22	—	—	—	—	—
50	8	5,12	1,32	25,7	4,12—6,12	9	5,35	0,79	14,8	4,79—5,91	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули															
0	14	5,77	0,34	5,9	5,58—5,96	15	5,80	0,48	8,2	5,54—6,06	15	5,62	0,48	8,5	5,36—5,88
10	14	5,61	0,35	6,3	5,42—5,80	15	5,85	0,36	6,1	5,66—6,04	15	5,17	0,95	18,7	4,66—5,68
20	14	5,63	0,48	8,5	5,36—5,90	13	6,12	0,66	10,8	5,74—6,50	—	—	—	—	—
30	14	5,30	0,72	13,6	4,90—5,70	11	5,61	0,58	10,4	5,24—5,98	—	—	—	—	—
50	14	4,97	1,41	28,4	4,19—5,75	12	5,09	0,52	10,2	4,78—5,40	—	—	—	—	—
75	14	4,71	0,89	18,9	4,22—5,20	10	4,37	0,46	10,4	4,06—4,68	—	—	—	—	—
100	14	4,42	1,06	23,9	3,83—5,01										
150	9	4,27	1,28	34,7	3,23—5,31										
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский															
0	17	5,99	0,51	8,5	5,74—6,24	15	5,74	0,55	9,5	5,45—6,03	14	5,44	0,56	10,2	5,13—5,75
10	17	5,86	0,50	8,5	5,61—6,11	15	5,77	0,55	9,5	5,48—6,06	14	5,60	0,39	7,0	5,38—5,82
20	17	5,72	0,46	8,1	5,49—5,95	15	6,35	0,79	12,4	5,93—6,77	13	6,01	1,01	16,9	5,43—6,59
30	17	5,52	0,52	9,4	5,26—5,78	15	6,25	0,72	11,5	5,87—6,63	13	5,51	0,87	15,9	5,01—6,01
50	17	5,76	0,72	12,5	5,40—6,12	15	5,57	0,74	13,4	5,18—5,96	—	—	—	—	—
70	16	5,13	0,74	14,4	4,75—5,51	15	4,99	0,72	14,4	4,61—5,37	—	—	—	—	—
100	16	4,16	0,78	16,9	3,31—5,01	15	4,21	0,83	19,7	3,77—4,05	—	—	—	—	—
150	16	3,99	0,79	19,8	3,58—4,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	15	3,61	0,89	24,6	3,14—4,08	13	3,32	0,99	29,8	2,75—3,89	—	—	—	—	—
250	9	3,36	1,16	34,5	2,54—4,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	6	3,47	1,27	26,7	2,34—4,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	15	2,83	1,24	43,7	2,22—3,44	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	15	2,42	0,88	36,5	1,95—2,89	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	9	1,71	0,36	20,8	1,46—1,96	—	—	—	—	—

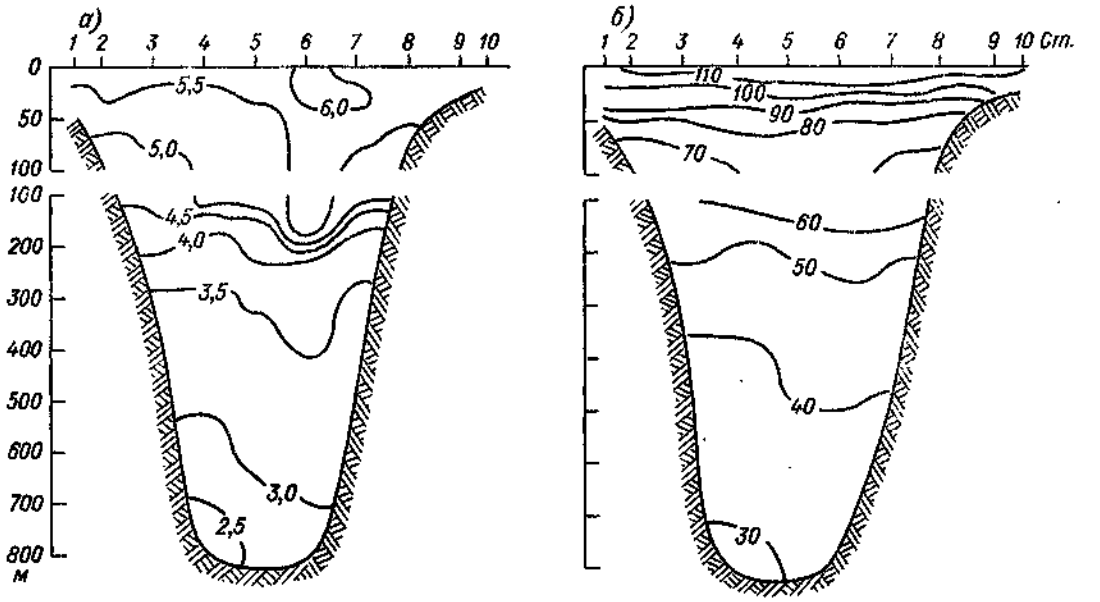


Рис. 3.13. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский летом.

а — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

обусловлено интенсивным процессом фотосинтеза в этот период. Исключением оказываются наиболее загрязненные районы: Бакинская бухта и Нефтяные Камни, где в придонных слоях среднее относительное содержание кислорода не превышает 90 %.

Так же, как и в Среднем Каспии, важную роль в формировании вертикальной структуры кислорода в Южном Каспии в летнее время играет термоклин. Здесь ниже слоя скачка снижение значений насыщения кислорода в среднем составляет более 20 %. В другие сезоны, когда термоклин отсутствует или развит слабо, уменьшение содержания кислорода на этих глубинах в Среднем Каспии не превышало 1—5 %, в Южном Каспии — 5—10 %.

В летнее время на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский в слое 0—100 м абсолютное содержание кислорода изменяется от 5 до 6 ‰. При этом содержание кислорода на отдельных горизонтах было довольно однородным. Лишь локально на подповерхностных горизонтах возникали области, в которых содержание кислорода было несколько выше (рис. 3.13 *а*). Поверхностный горизонт в этом районе характеризуется весьма высоким относительным содержанием кислорода, которое на ст. 6 превышало даже 120 %. Во всем деятельном слое Южного Каспия содержание кислорода было не ниже 100 % (рис. 3.13 *б*).

Начиная с горизонта 300 м происходит резкое уменьшение содержания кислорода ко дну, причем характер его распределения в летнее время во многом совпадает с распределением весной. Обращает на себя внимание тот факт, что в Южном Каспии вертикальные различия в распределении кислорода выражены более четко, чем в Среднем Каспии, где глубинные воды обогащаются кислородом во время развития зимней конвекции. Источником повышенного содержания кислорода в западной части Южного Каспия является, по-видимому, сток куринских вод, более богатых кислородом.

На придонном горизонте открытой части Южного Каспия абсолютное содержание кислорода, по данным средних многолетних наблюдений, снижалось до $(2{,}5 \pm 0{,}20)$ ‰, относительное содержание кислорода — до 30 %.

Изменчивость содержания кислорода увеличивается с глубиной на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский. Если на ст. 3 на поверхностном горизонте $C_v = 8$ %, то у дна он возрос более чем в 4 раза (см. табл. 3.12). Однако на глубоководной ст. 6 максимальная изменчивость содержания кислорода отмечалась не на придонном горизонте, а в слое 400—500 м, где C_v достигало 36—44 % (см. табл. 3.12).

Распределение кислорода в осенний период

Осенью среднее взвешенное значение абсолютного содержания кислорода в водах Северного Каспия возросло до 7,2 ‰. Повышение абсолютного содержания кислорода в морских и речных водах обусловлено понижением температуры и ослаблением процессов фотосинтеза.

Среднее содержание кислорода осенью на различных станциях, расположенных на акватории Северного Каспия, изменяется в пределах 6,4—7,8 ‰. На границе со Средним Каспием абсолютное содержание кислорода оказывается значительно ниже, чем в районе предустьевого взморья Волги и Урала (рис. 3.14 *а*).

Осенью в восточной части Северного Каспия температура воды понижается по сравнению с летом и изменяется, по данным средних многолетних наблюдений, в пределах 9,0—10,4 °С. Соленость повышается от 6,2 до 9,2 ‰ в направлении от устья Урала к центру Уральской бороздины, затем она снижается до 8,6 ‰ к Бузачинскому порогу,

Среднее многолетнее абсолютное содержание кислорода в этом районе изменялось соответственно изменению температуры. Так, в районе устьевого взморья Урала оно составило $(7{,}7 \pm 0{,}11)$ ‰, затем понижается в центре Уральской бороздины до $(7{,}3 \pm 0{,}05)$ ‰ и слегка возрастает к Бузачинскому порогу до $(7{,}5 \pm 0{,}08)$ ‰. Среднее многолетнее распределение относительного содержания кислорода по данному району оказывается весьма одно-

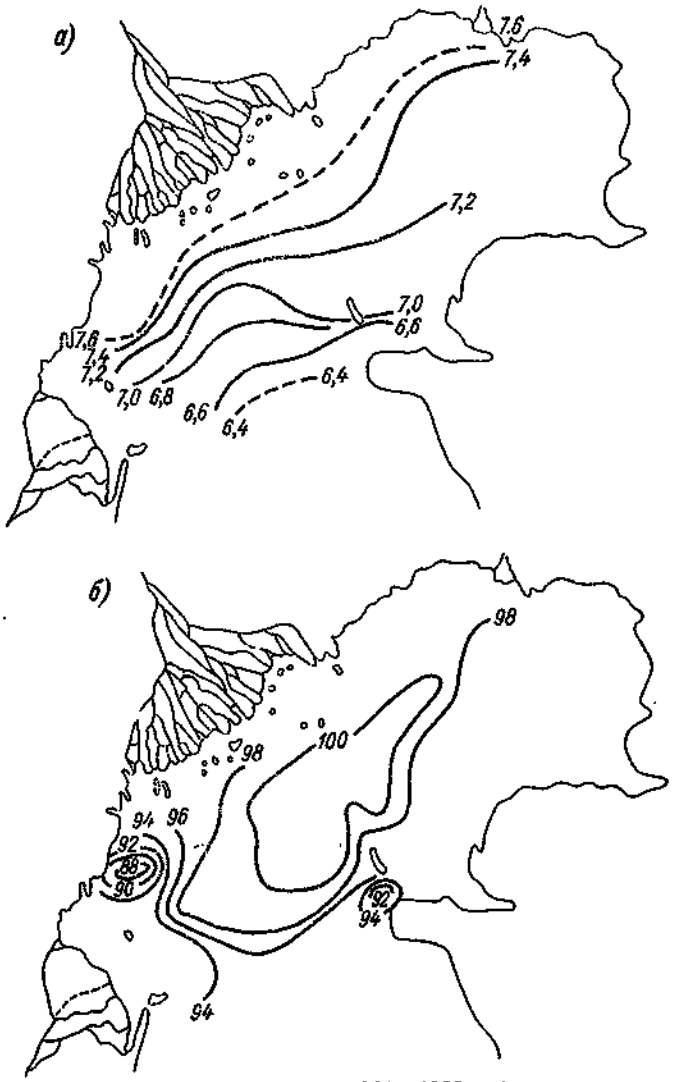


Рис. 3.14. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение содержания кислорода в Северном Каспии осенью.

а — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

родным, изменяясь в диапазоне 2—3 % (рис. 3.14 *б*).

Температура воды в районе Бузачинского порога повышается от устьевого взморья р. Волги до о. Кулалы с 10,0 до 11,3 °С, соленость изменяется от 6,0 до 11,9 ‰. Среднее многолетнее распределение абсолютного содержания кислорода в этом сезоне характеризуется уменьшением с севера на юг с $7{,}5 \pm 0{,}07$ до $(6{,}4 \pm 0{,}27)$ ‰. Относительное содержание кислорода практически по всему разрезу составило 100 % и только к югу от о. Кулалы снизилось до 92 %. Различия в содержании кислорода в придонном и поверхностном слоях здесь практически отсутствуют, и лишь южнее о. Кулалы на придонном горизонте насыщение кислородом снижается на 2—5 % по сравнению с поверхностным горизонтом.

В центральном районе западной части Северного Каспия и непосредственно в его западной части температура воды увеличивается с севера на юг с 10,7 до 15,0 °С, соленость изменяется от 2,0 ‰ в районе устьевого взморья Волги до 12,5 ‰ на юге района, куда поступают воды из Среднего Каспия.

Среднее многолетнее распределение абсолютного содержания кислорода в западной части Северного Каспия характеризуется уменьшением содержания кислорода с севера на юг с $7{,}6 \pm 0{,}14$ до $(6{,}4 \pm 0{,}16)$ ‰, в юго-западной части Северного Каспия — с $7{,}8 \pm 0{,}13$ до $(6{,}6 \pm 0{,}10)$ ‰. Относительное содержание кислорода в основной части центрального района составляло около 100 %, лишь в южной части этого района оно снижалось до 96 %, а также непосредственно в западном районе, находящемся под более значительным влиянием волжского стока — до 94 %. Минимальное относительное содержание кислорода отмечалось на северной станции разреза IIIа, где оно, по средним многолетним данным, составило 86 %, что можно объяснить как существенным влиянием антропогенного фактора в этом районе, так и интенсивным окислением органического вещества, поступающего сюда с речными водами.

Осенью в западном районе центральной части Северного Каспия практически отсутствуют различия в содержании кислорода по вертикали: максимальные различия в относительном содержании кислорода между поверхностным и придонным горизонтом отмечались на ст. 23 и они не превышали

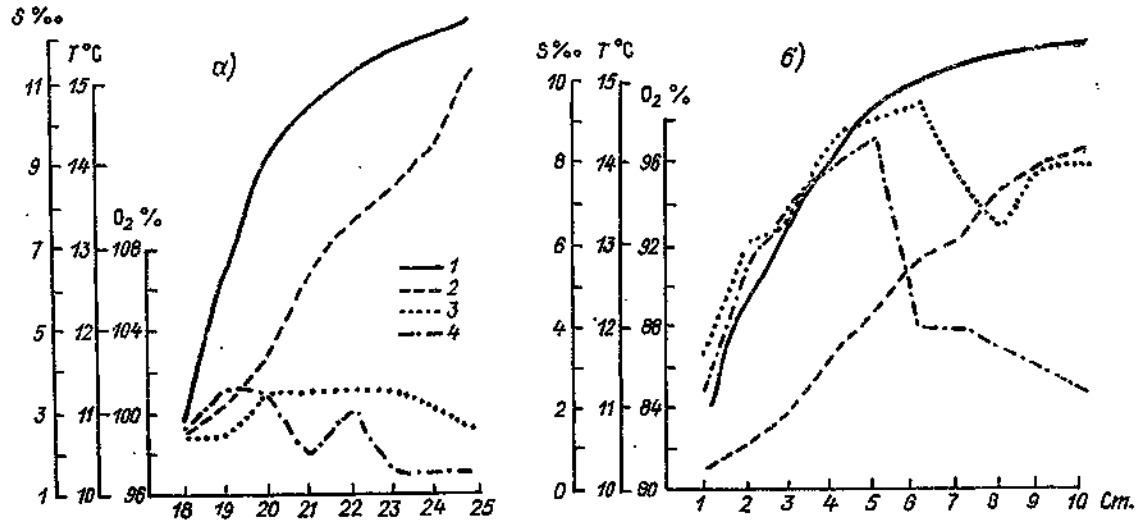


Рис. 3.15. Распределение температуры и солености воды (соответственно кривые *1* и *2*) и относительного содержания кислорода на поверхности (*3*) и у дна (*4*) осенью.

а — разрез III; *б* — разрез IIIа.

Таблица 3.13

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в Северном Каспии осенью за 1961—1983 гг.

Номер станции разреза	Слой 0 — 2,5 м					Поверхность — дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Восточная часть (разрез I)										
1	27	7,62	0,79	10	7,32—7,92	42	7,67	0,70	9	7,45—7,89
2	22	7,45	0,59	8	7,20—7,65	42	7,46	0,71	9	7,24—7,68
3	21	7,31	0,70	10	7,01—7,61	43	7,39	0,66	9	7,19—7,59
4	22	7,50	0,59	8	7,25—7,75	43	7,43	0,52	7	7,27—7,59
5	22	7,41	0,44	6	7,22—7,60	46	7,37	0,52	7	7,22—7,52
6	22	7,31	0,45	6	7,12—7,50	46	7,31	0,46	6	7,17—7,45
7	22	7,33	0,44	6	7,14—7,52	49	7,28	0,44	6	7,16—7,40
8	22	7,32	0,63	9	7,05—7,59	51	7,26	0,64	9	7,08—7,44
9	22	7,25	0,62	9	6,99—7,51	49	7,23	0,68	9	7,04—7,42
10	25	7,45	0,54	7	7,23—7,67	44	7,46	0,57	8	7,29—7,63
Район водообмена между западной и восточной частью (разрез II)										
12	36	7,58	0,66	9	7,36—7,80	44	7,60	0,65	9	7,40—7,80
13	22	7,52	0,67	9	7,24—7,80	44	7,53	0,68	9	7,33—7,73
14	22	7,36	0,62	8	7,10—7,62	44	7,36	0,61	8	7,18—7,54
15	22	7,26	0,75	10	6,94—7,58	44	7,28	0,67	9	7,08—7,48
16	22	7,28	0,65	9	7,00—7,56	45	7,16	0,62	9	6,98—7,34
17	22	7,10	0,58	8	6,85—7,35	44	7,14	0,67	9	6,94—7,34
17а	8	7,15	0,80	11	6,54—7,76	16	7,04	1,03	15	6,51—7,57
17б	8	6,54	1,11	17	5,70—7,38	24	6,43	1,35	21	5,88—6,98
Западная часть Северного Каспия (разрезы III и IIIа)										
18	25	7,62	0,72	9	7,33—7,91	40	7,57	0,65	9	7,37—7,77
19	20	7,48	0,79	11	7,13—7,83	39	7,48	0,75	10	7,24—7,72
20	19	7,26	0,70	10	6,93—7,59	38	7,26	0,68	9	7,04—7,48
21	21	7,08	0,73	10	6,76—7,40	42	6,96	0,74	11	6,73—7,19
22	22	6,90	0,66	10	6,62—7,18	65	6,86	0,61	9	6,71—7,01
23	22	6,80	0,65	10	6,52—7,08	67	6,69	0,65	10	6,53—6,85
24	21	6,68	0,62	9	6,41—6,95	67	6,59	0,65	10	6,43—6,75
25	21	6,43	0,72	11	6,12—6,74	65	6,39	0,74	12	6,21—6,57
1	14	7,97	0,77	10	7,54—8,40	28	7,72	0,70	9	7,46—7,98
2	13	7,82	0,65	8	7,45—8,19	27	7,70	0,77	10	7,40—8,00
3	14	7,50	0,72	10	7,10—7,90	28	7,45	0,73	10	7,17—7,73
4	14	7,42	0,70	9	7,03—7,81	28	7,38	0,61	8	7,15—7,61
5	14	7,35	0,63	9	7,00—7,70	29	7,23	0,65	9	6,99—7,47
6	14	7,27	0,48	7	7,00—7,54	37	6,89	0,95	14	6,58—7,20
7	14	6,95	0,54	8	6,65—7,25	38	6,72	0,97	14	6,41—7,03
8	13	6,69	0,96	14	6,14—7,24	49	6,56	1,12	17	6,24—6,88
9	13	6,87	0,86	12	6,37—7,37	52	6,52	0,99	15	6,25—6,79
10	13	6,85	1,17	17	6,17—7,53	52	6,56	0,98	15	6,29—6,83

4 % (рис. 3.15 *а*). В то же время непосредственно в западной части Северного Каспия, начиная с середины разреза IIIа, в южном направлении эти различия оказываются более существенными и, как правило, превышают 10—12 % (рис. 3.15 *б*), что также, по-видимому, обусловлено окислительными процессами, которые наиболее интенсивно протекают в придонных слоях данного района.

Осенью в различных районах Северного Каспия в водной толще C_v значений абсолютного содержания кислорода колеблется в пределах 6—11 % (табл. 3.13), т. е. изменчивость невелика.

Увеличение C_v до 15—21 % и соответственно значений σ примерно в 2,0—2,5 раза отмечалось на южных станциях, где протекают интенсивные процессы смешения северокаспийских вод с водами Среднего Каспия. В то же время кривые распределения, полученные по данным многолетних наблюдений в осенний период, близкие к нормальному для района водообмена между западной и восточной частью Северного Каспия и для всей западной части моря. Максимальное количество наблюдений за абсолютным содержанием кислорода оказывается в интервале значений 7—8 ‰ (рис. 3.16).

Осенью в связи с понижением температуры абсолютное содержание кислорода в воде увеличивается. По отношению к Среднему и Южному Каспию это особенно заметно на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, где раньше начинается охлаждение воды и прекращается фотосинтез. Средние многолетние значения абсолютного содержания кислорода здесь повысились на 1,2—1,5 ‰ по сравнению с летом и составили $7{,}2 \pm 0{,}07$ и $(7{,}0 \pm 0{,}09)$ ‰ в поверхностном и придонном слоях соответственно. Исчезновение слоя скачка плотности обусловливает, как правило, в этом районе довольно равномерное распределение кислорода с глубиной. В то же время на многих станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак отмечается недонасыщение вод кислородом, что, по-видимому, связано с ослаблением процессов фотосинтеза в этом районе.

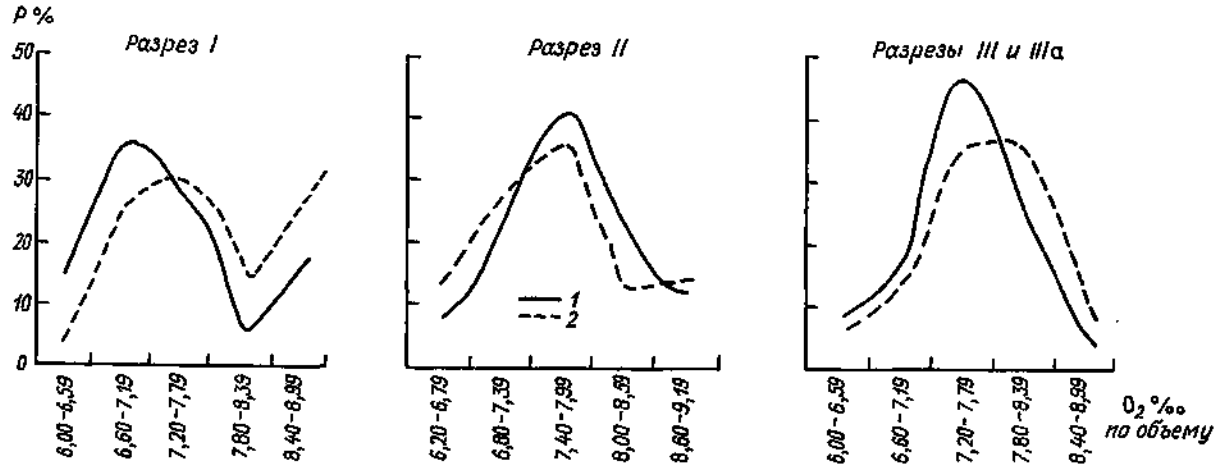


Рис. 3.16. Вероятность распределения (%) абсолютного содержания кислорода в различных диапазонах его концентраций в Северном Каспии осенью на поверхностном (*1*) и придонном (*2*) горизонтах.

Осенью в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием в поверхностном слое прослеживается определенная закономерность в снижении абсолютного содержания кислорода с запада на восток. В слое 10 м — дно отмечается некоторое возрастание абсолютного содержания кислорода в районах западного и восточного мелководий. Относительное содержание кислорода достигает и превышает 100 % только в поверхностном слое, за исключением района восточного мелководья, где во всей водной толще оно составило в среднем 96 % (табл. 3.14).

В западной и восточной мелководных зонах Среднего Каспия, в районе устьевых взморий Терека, Самура и районе, прилегающем к м. Бекдаш, абсолютное содержание кислорода осенью по сравнению с летом повышалось незначительно. Здесь прослеживается та же закономерность в распределении кислорода, которая была отмечена и на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак: в районе восточного мелководья (м. Бекдаш) в поверхностном горизонте содержание кислорода уменьшается примерно на 0,6 ‰ по сравнению с районами западного мелководья. Процесс фотосинтеза протекает в мелководных районах Среднего Каспия весьма интенсивно, о чем свидетельствуют высокие значения относительного содержания кислорода от поверхности до дна, достигающие в поверхностных водах устьевого взморья Терека и Самура 108 и 106 % соответственно (табл. 3.15).

Осенью формирование поля кислорода определяется процессами выхолаживания вод и продолжающегося фотосинтеза. Распределение кислорода в основном соответствует полю температуры. Мелководные районы и поверхностные слои воды в Среднем Каспии оказываются хорошо аэрированными. Отмечено также довольно однородное распределение абсолютного содержания кислорода с запада на восток на разрезе Дивичи—Кендерли в деятельном слое моря (0—50 м), которое ограничивается снизу изоксигеной 7,0 ‰; относительное содержание кислорода здесь не ниже 100 %

Таблица 3.14

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак осенью за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность					Горизонт 10 м					Дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Абсолютное содержание															
1	14	7,51	0,58	8	7,19—7,83	—	—	—	—	—	13	7,26	0,67	9	6,88—7,64
2	14	7,14	0,78	11	6,71—7,57	11	7,12	1,08	15	6,44—7,80	12	6,99	0,92	13	6,44—7,54
3	14	7,14	0,34	5	6,95—7,33	13	6,97	0,90	13	6,45—7,49	13	6,75	0,96	15	6,20—7,30
4	14	7,23	0,78	4	6,80—7,66	13	7,01	1,08	15	6,39—7,63	13	6,78	1,04	14	6,18—7,38
5	14	7,37	0,39	5	7,15—7,59	13	7,14	1,02	14	6,55—7,73	13	6,99	0,96	14	6,44—7,54
6	14	7,07	1,23	17	6,44—7,70	13	7,22	0,35	5	7,02—7,42	13	7,17	0,37	5	6,96—7,38
7	14	7,17	0,68	9	6,79—7,55	—	—	—	—	—	13	7,13	0,84	12	6,65—7,61
Относительное содержание															
1	15	102	11	11	96—108	—	—	—	—	—	14	98	5	5	95—101
2	14	99	13	13	92—106	11	98	14	14	89—107	12	99	13	13	91—108
3	14	100	10	10	95—105	13	95	23	24	82—108	13	97	14	14	89—105
4	14	103	8	8	99—107	13	99	12	13	92—106	13	97	13	13	90—104
5	15	105	9	8	100—110	14	100	12	12	93—107	14	98	11	11	92—104
6	14	101	7	7	97—105	11	101	9	9	95—107	13	100	7	7	96—104
7	15	98	7	7	94—102	—	—	—	—	—	14	94	13	13	87—101

Таблица 3.15

Основные статистические характеристики абсолютного (‰ по объему) и относительного (%) содержания кислорода в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия осенью

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Средний Каспий											
Абсолютное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	202	6,73	0,95	14	6,60—6,86	207	6,27	0,98	16	6,14—6,41
Район Махачкалы		167	6,54	1,17	18	6,36—6,72	138	6,23	1,08	17	6,05—6,41
Взморье р. Самура		58	6,62	0,80	12	6,41—6,83	58	6,38	1,02	16	6,12—6,65
Район Форт-Шевченко	1967—1985	54	7,10	0,44	6	6,98—7,22	54	6,93	0,61	9	6,76—7,09
Район м. Бекдаш		41	6,16	0,52	8	6,00—6,32	33	6,21	0,78	12	5,94—6,48
Относительное содержание											
Взморье р. Терека	1974—1984	207	108	15,60	14,4	106—110	207	100	14,1	14,2	98—102
Район Махачкалы		167	103	17,20	16,7	103—106	138	98	17,15	17,6	95—101
Взморье р. Самура		58	106	14,39	13,5	102—110	58	102	14,51	14,2	98—106
Район Форт-Шевченко	1967—1985	54	104	7,79	7,46	102—106	54	114	12,29	10,75	111—117
Район м. Бекдаш		41	105	7,67	7,28	103—107	33	101	8,13	8,07	98—104
Южный Каспий											
Абсолютное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	284	4,65	1,35	30	4,49—4,81	279	4,49	1,27	28	4,34—4,64
Сумгаит		266	6,24	0,92	15	6,13—6,35	257	6,24	0,85	14	6,13—6,35
Нефтяные Камни		76	6,39	0,89	14	6,19—6,59	76	5,70	0,94	16	5,48—5,91
Туркменский залив		105	6,72	1,20	17	6,49—6,95	103	6,70	1,20	17	6,46—6,94
Район п-ова Челекен		22	7,04	0,46	6	6,84—7,24	20	6,90	0,57	8	6,64—7,16
Красноводский залив		58	7,33	0,90	12	7,10—7,57	—	—	—	—	—
Ленкорань		33	5,79	0,81	14	5,51—6,07	32	5,44	0,44	8	5,29—5,59
Взморье р. Куры		59	5,82	0,53	9	5,68—5,95	58	5,41	0,65	12	5,24—5,58
Относительное содержание											
Бакинская бухта	1967—1985	284	81	23	28	78—84	279	77	28	37	77—80
Сумгаит		266	106	10	9	104—108	257	98	14	14	96—100
Нефтяные Камни		76	107	8	7	105—109	76	88	18	20	84—92
Туркменский залив		107	104	6	5	103—105	95	101	5	5	100—102
Район п-ова Челекен		22	104	4	3	102—106	20	101	6	6	98—104
Красноводский залив		46	101	6	6	99—103	—	—	—	—	—
Ленкорань		33	109	22	20	101—117	32	99	10	10	95—102
Взморье р. Куры		58	110	15	13	106—114	—	—	—	—	—

(рис. 3.17, *а, б*). В слое 75—150 м прослеживается повышение абсолютного содержания кислорода на центральных глубоководных станциях этого разреза, что неоднократно отмечалось и в работах предшествующих исследователей [65, 75, 100].

Обратная картина в распределении кислорода наблюдается в слое 250—500 м, где абсолютное содержание кислорода понижается на центральных станциях разреза. Начиная с горизонта 200 м изменение содержания кислорода с глубиной совпадает с распределением кислорода на глубинах в летнее время.

В зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, на разрезе о. Жилой — м. Куули, в осенний сезон, по данным многолетних наблюдений, абсолютное содержание кислорода изменялось в водной толще от 6,9 до 4,2 ‰ при довольно однородном его распределении, как и относительного содержания, с запада на восток в каждом изученном слое моря (см. рис. 3.12 *в, г*).

В осенний период наибольшая изменчивость абсолютного содержания кислорода отмечается начиная с горизонта 50 м и до дна на разрезе о. Жилой — м. Куули. Так, на ст. 3 в слое 50—150 м C_v достигает 20—32 %, на ст. 6 в слое 50—75 м C_v = =21... 23 % (табл. 3.16).

Мелководные районы, примыкающие к зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, в осенний период, как правило, характеризуются также повышением абсолютного содержания кислорода, за исключением районов Бакинской бухты и Сумгаита, где оно снизилось, по средним многолетним данным, на 0,6 и 0,1 ‰ соответственно на поверхностном и придонном горизонтах. В этих же районах было отмечено и снижение относительного содержания кислорода на 15—20 %. Такое существенное уменьшение содержания кислорода в водах Бакинской бухты и у Сумгаита обусловлено, по-видимому, значительным поступлением загрязняющих веществ в эти районы (см. табл. 3.15).

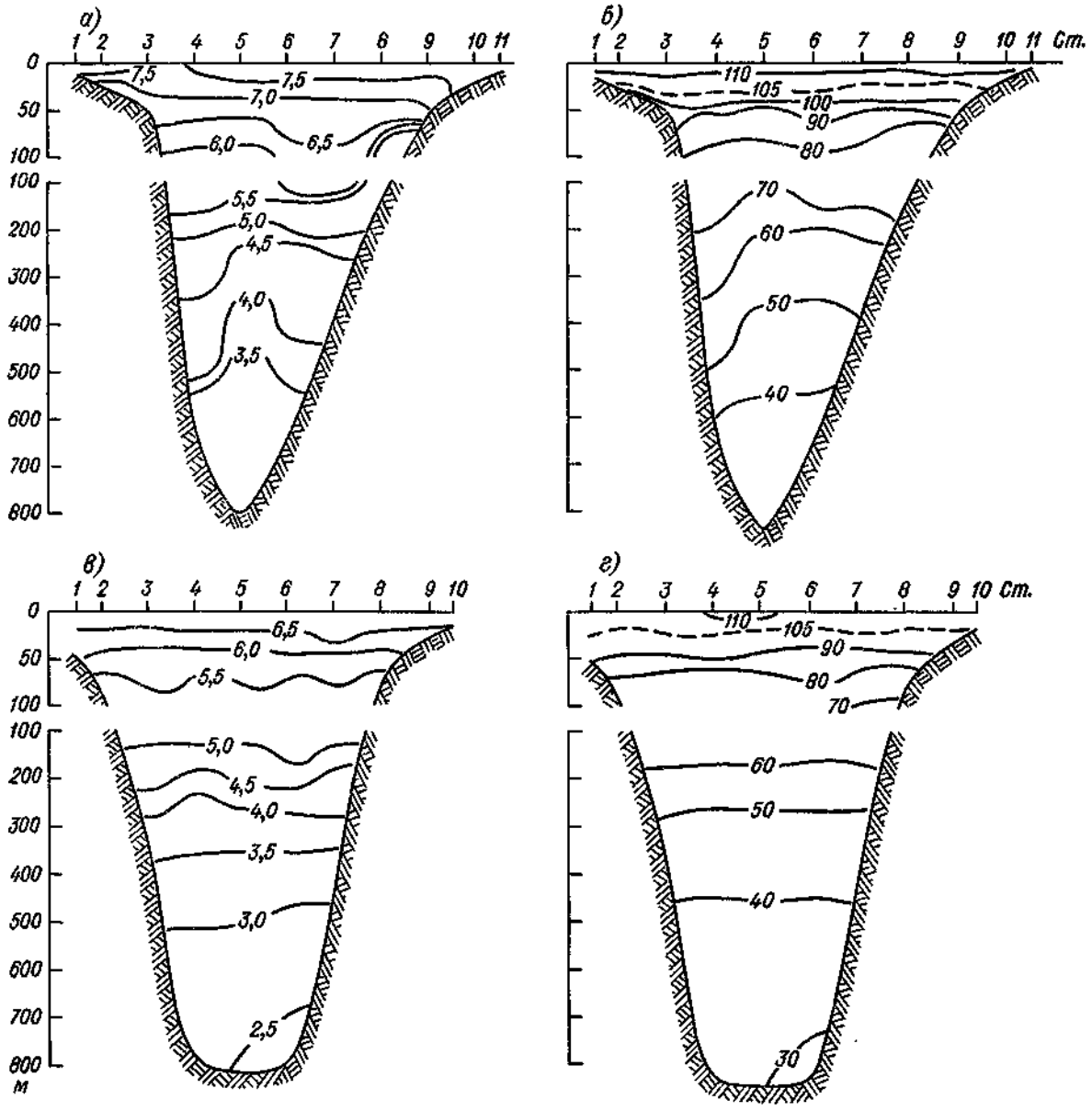


Рис. 3.17. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение содержания кислорода осенью на разрезах Дивичи—Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*).

а, *в* — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б*, *г* — относительное содержание кислорода, %.

В районах западного побережья Южного Каспия (Ленкорань, взморье р. Куры) каких-либо существенных изменеиий в содержании кислорода в осенний период по сравнению с летним периодом не произошло. В районах Туркменского залива и п-ова Челекен, в восточных мелководных районах Южного Каспия, отмечалось повышение абсолютного содержания кислорода в осенний период.

Из-за более низких температур воды в поверхностных слоях Среднего Каспия содержание кислорода оказывается выше, чем в Южном Каспии. Эти различия в абсолютном содержании кислорода в слое 0—10 м составили около 1 ‰.

В Южном Каспии концентрации кислорода в фотическом слое (0—50 м) колебались от 6 до 7 ‰. В отдельные годы в западной части разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский наблюдалось повышение содержания кислорода, по-видимому, благодаря влиянию в этом районе куринских вод. В районе восточного мелководья иногда наблюдается увеличение кислорода за счет полного перемешивания водной толщи и обогащения ее кислородом из атмосферы и за счет резкого понижения температуры воды.

По данным средних многолетних наблюдений за 1981—1985 гг., на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский было отмечено довольно однородное распределение по площади абсолютного и относительного содержания кислорода на каждом исследуемом горизонте от поверхности до дна (рис. 3.17 *в*, *г*).

В отдельные годы в течение 1962—1980 гг. начиная с горизонта 300 м наблюдались более существенные различия в распределении кислорода в направлении с запада на восток в сторону уменьшения, которые на разных горизонтах изменялись от 0,5 до 1,0 ‰.

Изменчивость значений абсолютного содержания кислорода на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский возрастает начиная с горизонта

Таблица 3.16

Основные статистические характеристики абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в Среднем и Южном Каспии осенью за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
						Разрез Дивичи—Кендерли									
0	14	6,90	0,44	6	6,66—7,14	11	7,11	0,50	7	6,79—7,43	13	7,02	0,53	7	6,71—7,33
10	14	6,41	0,89	14	5,92—6,90	11	6,65	1,04	16	6,00—7,30	13	6,96	0,49	7	6,68—7,24
20	14	6,55	0,70	11	6,16—6,94	10	6,90	0,48	7	6,58—7,22	13	6,81	0,55	8	6,49—7,13
30	14	6,26	0,67	11	5,89—6,63	10	6,67	0,65	10	6,24—7,10	10	6,61	0,89	13	6,02—7,20
50	13	6,93	1,15	19	5,27—6,59	10	6,56	0,66	10	6,12—7,00	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	10	6,49	0,67	10	6,04—6,94	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	11	6,33	0,76	12	5,85—6,81	—	—	—	—	—
150	—	—	—	—	—	11	5,82	0,90	15	5,25—6,39	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	11	5,29	1,16	22	4,56—6,02	—	—	—	—	—
250	—	—	—	—	—	11	4,89	1,10	22	4,19—5,59	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	11	4,77	1,14	24	4,05—5,38	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	10	3,92	0,57	14	3,54—4,64	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	8	3,67	0,45	12	3,42—3,92	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	7	3,55	0,49	14	3,15—3,95	—	—	—	—	—
						Разрез о. Жилой — м. Куули									
0	15	6,72	0,50	7	6,45—6,99	18	6,61	0,49	7	6,37—6,85	18	6,64	0,54	8	6,38—6,40
10	15	6,69	0,52	8	6,41—6,97	18	6,52	0,46	7	6,30—6,74	18	6,55	0,41	6	6,35—6,75
20	15	6,38	0,76	12	5,97—6,79	18	6,48	0,54	8	6,22—6,74	—	—	—	—	—
30	15	6,17	0,68	11	5,81—6,53	17	6,11	0,51	8	5,86—6,36	—	—	—	—	—
50	15	5,34	1,07	20	4,77—5,91	17	5,05	1,05	21	4,53—5,57	—	—	—	—	—
75	14	5,19	1,02	30	4,62—5,76	16	4,46	1,01	23	3,94—4,98	—	—	—	—	—
100	14	4,93	1,14	23	4,30—5,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	13	4,44	1,42	32	3,62—5,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	15	6,38	0,51	8	6,11—6,65	15	6,26	0,63	10	5,92—6,60	14	6,20	0,58	9	5,88—6,52
10	15	6,31	0,42	7	6,09—6,53	15	6,28	0,37	6	6,08—6,48	14	6,10	0,27	4	5,95—6,25
20	14	6,27	0,59	9	5,44—6,60	14	6,12	0,37	6	5,92—6,32	13	6,05	0,22	3	5,92—6,18
30	15	6,14	0,40	6	5,93—6,35	13	5,76	0,51	9	5,47—6,05	10	5,91	0,29	5	5,72—6,10
50	15	5,69	0,72	13	5,31—6,07	13	5,33	0,62	12	4,97—5,69	—	—	—	—	—
75	14	4,90	0,77	16	4,47—5,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	15	4,49	0,64	14	4,15—4,83	13	4,36	0,86	20	3,86—4,86	—	—	—	—	—
150	14	3,94	0,47	12	3,68—4,20	12	3,92	0,79	20	3,44—4,40	—	—	—	—	—
200	15	3,67	0,46	12	3,43—3,91	12	3,22	1,02	32	2,60—3,84	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	3,17	2,11	66	1,95—4,39	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	10	2,37	0,97	41	1,72—3,02	—	—	—	—	—

50 м и до дна. На глубоководной ст. 6 в слое 200—600 м C_v изменялось от 32 до 66 %.

3.3. Многолетние изменения содержания кислорода

Для оценки многолетней изменчивости содержания кислорода в морской воде были проанализированы ряды средних сезонных значений кислорода на разных глубинах Северного, Среднего и Южного Каспия.

В работе Н. И. Винецкой [35] дан анализ газового режима вод Северного Каспия в период до зарегулирования стока Волги. В работе А. С. Пахомовой и Б. М. Затучной [100], по результатам исследований за период 1961—1963 гг., выявлена направленность изменений в газовом режиме моря, которые произошли после зарегулирования волжского стока.

Авторами была отмечена некоторая стабилизация относительного и абсолютного содержания кислорода в водах Северного Каспия, уменьшение амплитуд межгодовых изменений содержания кислорода, а также уменьшение в 2—3 раза амплитуд суточных колебаний кислорода в районе непосредственного влияния стока Волги и на свале глубин.

Дальнейшие исследования, которые проводились в различных районах Северного Каспия в течение 1964—1985 гг. показали снижение абсолютного содержания кислорода, наиболее значительное весной и несущественное летом по сравнению с данными исследований предшествующего периода 1961—1963 гг. Максимальное снижение содержания кислорода на 0,5 ‰ отмечалось в зоне водообмена между западной и восточной частью моря. В осеннее время, напротив, имело место повышение содержания кислорода на 0,5—0,7 ‰ во всех исследуемых районах Северного Каспия по сравнению с его концентрацией в период до зарегулирования и после него, в течение 1964—1985 гг. (табл. 3.17).

Анализ многолетней изменчивости относительного содержания кислорода в летнее время показал,

Таблица 3.17

Изменение средних многолетних значений абсолютного содержания кислорода (‰ по объему) в водах Северного Каспия (по данным Астраханской ЗГМО)

Горизонт, м	Весна			Лето			Осень			Среднее по трем сезонам		
	1961—1963 гг.	1964—1983 гг.	Δ	1961—1963 гг.	1964—1983 гг.	Δ	1961—1963 гг.	1964—1983 гг.	Δ	1961—1963 гг.	1964—1983 гг.	Δ
Западная часть												
Поверхность	7,64	7,53	—0,11	5,87	6,00	0,13	6,58	7,12	0,54	6,48	6,78	0,30
Дно	7,75	7,41	—0,34	5,58	5,48	—0,10	6,33	6,80	0,47	6,29	6,45	0,16
Восточная часть												
Поверхность	7,96	7,64	—0,32	5,75	5,69	—0,06	6,71	7,41	0,70	6,56	6,78	0,22
Дно	8,03	7,65	—0,38	5,65	5,53	—0,12	6,70	7,30	0,60	6,53	6,74	0,21
Район водообмена между западной и восточной частью												
Поверхность	7,68	7,17	—0,51	5,70	5,75	0,05	6,70	7,37	0,67	6,43	6,72	0,29
Дно	7,64	7,18	—0,46	5,79	5,65	—0,14	6,62	7,28	0,66	6,47	6,65	0,18

Примечание. Δ — разность между значениями в 1964—1983 и 1961—1963 гг.

что только за 1981—1985 гг. по сравнению с периодом до зарегулирования и в течение 1960—1980 гг. наметилось некоторое снижение содержания кислорода в придонных слоях моря. В западной глубоководной части Северного Каспия было отмечено максимальное снижение относительного содержания кислорода в июне и августе — 10 и 20 % соответственно (табл. 3.18).

Причины таких изменений содержания кислорода в водах Северного Каспия обусловлены особенностями изменчивости гидрологического режима моря.

Известно, что после периода понижения уровня моря, особенно значительного в 1975—1976 гг., последовало дальнейшее неуклонное его повышение на 0,5 м в течение 1981—1985 гг. Эти годы характеризовались и повышенным стоком р. Волги, который также способствовал поднятию уровня Каспийского моря.

Во время понижения уровня моря произошли значительные изменения в режиме солености Северного Каспия, обусловленные экстремально низкой водностью р. Волги в 1975—1978 гг. и нарушениями водно-солевого обмена между восточной и западной частью моря (табл. 3.19). Этот период отличался резким увеличением солености в западной и восточной частях Северного Каспия соответственно на 1 и 3 ‰ по сравнению с 1959—1974 гг.; в два раза сократилась зона с водными массами пониженной солености в восточной части моря; фронтальная зона, которая характеризуется как зона высокой продуктивности вод, также уменьшилась.

Изменилось распределение солености в Северном Каспии. Ранее отмечалось [63, 64], что ориентация изогалин здесь согласуется с положением изобат. Для западной части Северного Каспия характерным оказывается широтная ориентация изогалин, для восточной — радиальная, центром которой является Уральская бороздина.

До 1975 г. волжские воды в весенне-летний период свободно поступали в восточную часть Северного Каспия через восточные рукава дельты и Кулалинский порог.

Снижение уровня моря в середине 70-х годов вызвало резкое уменьшение поступления волжских вод в восточную часть Северного Каспия. На Кулалинском пороге формировался гидрофронт, ори-

Таблица 3.18

Изменение средних многолетних значений относительного содержания кислорода (%) в водах Северного Каспия летом (по данным КаспНИРХа)

Горизонт, м	Мелководная часть моря										Глубоководная часть моря									
	западная					восточная					западная					восточная				
	1935—1955 гг.	1960—1980 гг.	Δ	1981—1985 гг.	Δ_1	1935—1955 гг.	1960—1980 гг.	Δ	1981—1985 гг.	Δ_1	1935—1955 гг.	1960—1980 гг.	Δ	1981—985 гг	Δ_1	1935—1955 гг.	1950—1980 гг.	Δ	1981—1985 гг.	Δ_1
Июнь																				
Поверхность	104	106	2	104	—2	102	103	1	103	0	108	108	0	108	0	103	104	1	104	0
Дно	—	105	—	101	—4	103	103	—	103	0	93	100	7	91	—9	99	103	4	100	—3
Август																				
Поверхность	—	104	—	113	9	100	103	3	104	1	106	109	3	109	0	103	105	2	103	—2
Дно	—	103	—	101	—2	—	102	—	102	—	91	98	7	79	—19	97	104	7	99	—5

Примечание. Δ — разность между значениями в 1935—1955 и 1960—1980 гг.; Δ_1 — разность между значениями в 1960—1980 и 1981—1985 гг.

Таблица 3.19

Изменение гидрологических условий в Северном Каспии в характерные периоды

Период, годы	Уровень моря по в/п Баку, см	Сток р. Волги, км³	Соленость, ‰			Площадь опресненных зон (0,2‰), тыс. км²			Площадь зон пониженной солености (0,2—8,0‰), тыс. км²			Площадь фронтальной зоны в западной части моря, тыс. км²	Площадь в Северном Каспии с дефицитом кислорода в придонном горизонте, тыс. км²		Скорость ветра, м/с
			Западная часть	Восточная часть	Северный Каспий	Западная часть	Восточная часть	Северный Каспий	Западная часть	Восточная часть	Северная часть		Июнь	Август	
1959—1974	—28,33	229	9,28	6,78	8,29	16,3	3,9	20,2	27,3	25,4	52,7	11,2	2,1*	14,5*	4,0***
1975—1978	—28,80	202	10,34	9,62	10,07	16,4	3,0	19,4	26,0	13,8	39,8	9,2	2,2**	5,6**	
1979—1985	—28,15	262	8,89	7,87	8,59	14,8	4,4	19,2	25,3	20,3	45,6	11,2	4,4	13,1	3,1

* Среднее за 1955—1959 гг.
** Среднее за 1960—1980 гг.
*** Среднее за 1954—1980 гг.

ентация изогалин имела меридиональное направление. Сразу за гидрофронтом в восточной части моря располагались воды с соленостью 8,0—11,5 ‰. Устойчивость гидрофронта оказывалась столь высокой, что он не разрушался и во время половодья. Основной сток опресненных трансформированных волжских вод восточной части дельты Волги продвигался вдоль Кулалинского порога и поступал в Северный Каспий. Было отмечено, что при понижении уровня моря ниже отметки —28,5 м происходит нарушение водообмена между западной и восточной частью Северного Каспия [123].

С 1984 г. началось опреснение восточной части и разрушение сложившегося стереотипа распределения солености. За 1984 г. средняя соленость восточной части снизилась примерно на 2 ‰ и достигла средних многолетних значений, характерных для периода зарегулирования волжского стока.

В 1985 г., в условиях продолжительного и мощного половодья, произошла окончательная перестройка поля солености Северного Каспия и пространственное распределение солености стало таким же, каким оно было до понижения уровня моря, т. е. ниже средних значений солености, характерных для периода зарегулирования волжского стока. Особенно интенсивным было опреснение на востоке в августе 1985 г., где средняя соленость снизилась до значений, которые наблюдались в исключительно многоводные годы.

Таким образом, в 1984—1985 гг. оказалась разрушенной своеобразная «изоляция» уральского взморья и восточной части Северного Каспия от проникновения волжских вод. Следует также учесть, что гидролого-гидрохимический режим в Северном Каспии в течение 1981—1985 гг. формировался в условиях депрессии ветровой активности. В этот же период отмечалось повышение прозрачности северокаспийских вод, что в свою очередь обусловлено резким уменьшением биомассы фитопланктона и понижением динамической активности водных масс.

Все описанные изменения гидрологических условий в 1981—1985 гг. способствовали также резкому увеличению зон дефицита кислорода в Северном Каспии в летнее время (см. табл. 3.19).

Расчет линейного тренда был использован при анализе тенденции многолетней изменчивости относительного содержания кислорода в водах Северного Каспия за 1961—1983 гг., т. е. за период после зарегулирования волжского стока. Было обнаружено снижение содержания кислорода в водной толще Северного Каспия для весны на 3 %, для лета в июне—июле на 5 %, в августе на 2 %, осенью на 1 %. При этом ошибка расчета тренда в среднем составила ±0,2 %.

В дальнейшем для всего Каспийского моря были выделены периоды, характеризующие различные состояния уровня моря: 1) 1960—1969 гг. — квазистационарное положение уровня; 2) 1970—1977 гг. — понижение уровня; 3) 1978—1985 гг. — повышение уровня. Соответственно этим периодам были получены средние многолетние значения абсолютного и относительного содержания кислорода в водной толще Северного Каспия: для 1-го периода абсолютное содержание кислорода составило (6,7 ± 0,03) ‰, относительное — 101 %; для 2-го периода — соответственно (6,6 ± 0,02) ‰ и 101 %; для 3-го периода — соответственно (6,4 ± 0,02) ‰ и 98 %.

Наличие отрицательного тренда и последовательное снижение содержания кислорода, полученного на основании ряда многолетних наблюдений, свидетельствуют об ухудшении газового режима вод Северного Каспия.

Гидрохимический режим Северного Каспия находится под значительным влиянием стока р. Волги.

На основании исследований гидрометеорологического и гидрохимического режима моря, которые проводились в 1981 и 1982 гг., были выявлены особенности формирования его газового режима в зависимости от колебаний волжского стока. Эти годы по водности различались примерно на 70 км³ (табл. 3.20). Наиболее многоводный 1981 г. (средний годовой сток 293 км³) отличался от 1982 г. (средний годовой сток 225 км³) высоким и продолжительным паводком, в результате которого в Северный Каспий поступило около 130 км³ пресной воды. В связи с этим площадь вод с соленостью 0,2—2,0 ‰ в 1981 г. увеличилась более чем на 4 тыс. км² по сравнению с 1982 г. Резкое уменьшение стока Волги в 1982 г. в свою очередь вызвало увеличение солености вод Северного Каспия на 1 ‰, а отдельных его районов — на 1,5 ‰.

Площади с дефицитом кислорода имеют значительные колебания от года к году в зависимости от объема половодья, ветровой активности, степени стратификации и устойчивости водных масс. Рез-

Таблица 3.20

Гидрометеорологические и гидрохимические характеристики Северного Каспия в 1981 и 1982 гг.

Характеристика	1981 г.	1982 г.
Средняя годовая температура воздуха, °С	11,3	9,8
Скорость ветра, м/с	3,1	3,4
Сток Волги за II квартал, км³	128	77
Средний годовой сток Волги, км³	293	225
Уровень моря по в/п Баку, см	—28,15	—28,06
Средняя годовая соленость, ‰:		
западной части моря	8,70	9,35
восточной части моря	7,70	9,15
Северного Каспия	8,35	9,28
Площадь опресненных зон (0,2—2,0 ‰), тыс. км²:		
в западной части моря	13,4	9,1
в восточной части моря	3,4	4,0
Площадь зон с соленостью 0,2—8,0 ‰, тыс. км²:		
в западной части моря	23,2	20,5
в восточной части моря	14,8	11,8
Площадь фронтальной зоны в западной части моря, тыс. км²	9,9	11,8
Площадь зон с дефицитом кислорода (менее 80 % насыщения) на придонном горизонте в Северном Каспии, тыс. км²:		
в июне	5,5	2,4
в августе	18,4	8,3
Среднее годовое относительное содержание кислорода в Северном Каспии, %:		
апрель—май	101	102
июнь—июль	92	102
август—сентябрь	95	100
октябрь—ноябрь	103	104
Средний годовой вынос р. Волгой, тыс. т:		
валового фосфора	93	37
валового азота	432	543

кий дефицит кислорода в Северном Каспии обнаруживается при устойчивости водных масс более 10—15 тыс. усл. ед.

Как правило, площади с гипоксией у дна значительно увеличиваются в годы с объемом половодья р. Волги более 120 км³. Максимальные площади с гипоксией на придонном горизонте наблюдались в июле 1953 и 1955 гг. (соответственно 21,0 и 24,8 тыс. км²), в августе 1955, 1970, 1981 и 1985 гг. (соответственно 33,2; 16,4; 18,4 и 18,7 тыс. км²).

В 1981—1985 гг. максимальные площади зон моря с дефицитом кислорода (<80 % насыщения) на придонном горизонте отмечались в августе 1981 и 1985 гг. (соответственно 18,4 и 18,7 тыс. км²), т. е. в годы с повышенным объемом весеннего половодья р. Волги и компенсационным подтоком среднекаспийских вод, когда создаются области с такой стратификацией водных масс, которая препятствует турбулентному перемешиванию.

В связи с этим среднее годовое относительное содержание кислорода в водах Северного Каспия в 1981 г. оказывается ниже по сравнению с 1982 г. Это снижение в 1981 г. усугубляется и увеличенным притоком органического вещества, на окисление которого расходуется значительное количество кислорода.

Среднее годовое вертикальное распределение кислорода в 1981 и 1982 гг. весьма существенно различается на глубоководных станциях в Северном Каспии, где оно в многоводный год характеризуется резкой стратификацией (диапазон изменений от поверхности до дна превышал 30 %) (рис. 3.18 *а*, *б*).

Среднее годовое вертикальное распределение кислорода в маловодный год оказывается довольно однородным от поверхности до дна (рис. 3.18 *в*, *г*).

Исследование сезонной динамики насыщения вод кислородом в годы разной водности в Северном Каспии, как правило, показывает увеличение относительного содержания кислорода во всей водной толще в маловодные годы летом: в июне максимальные межгодовые различия на отдельных станциях на поверхностном горизонте достигали 20—30 %, у дна — 40—60 %; в августе на придонном горизонте западной части Северного Каспия — 30—50 %. Эта же направленность изменений в маловодный год сохранялась в апреле в восточной части моря, а также в октябре в глубоководном районе западной части моря. В то же время в Северном Каспии отмечалось практически повсеместное снижение насыщения вод кислородом в октябре и апреле в маловодный год. Сезонное распределение кислорода связано с сезонным соотношением и интенсивностью продукционно-деструкционных процессов и внутригодовым перераспределением материкового стока.

В начале века содержание кислорода в глубоководных районах Каспийского моря ниже 400—500 м составляло не более 2 ‰, на придонных горизонтах кислород, как правило, не был обнаружен [71, 80]. Спустя 20 лет на придонных горизонтах Среднего Каспия содержание кислорода составило около 1 ‰ [22]. В дальнейшем произошло значительное обогащение вод Каспийского моря кислородом, особенно его глубинных слоев [100]. Было отмечено, что ведущая роль в формировании гидрологической структуры моря принадлежит процессам конвективного перемешивания. Причина, обусловившая более интенсивную вертикальную зимнюю циркуляцию и обогащение вод кислородом, по данным наблюдений за 1958—1962 гг., заключалась в происшедшем осолонении, т. е. увеличении плотности вод Северного Каспия в связи с уменьшением стока Волги.

Авторами [65, 100] было отмечено, что распределение кислорода по вертикали в Среднем и Южном Каспии стало более равномерным, так как глубже нижней границы зимней вертикальной циркуляции значения устойчивости вод были невелики, что в свою очередь обеспечивало хорошие условия для перемешивания.

Сравнение данных по кислороду за 1962—1983 гг. с материалами 1958—1962 гг. показывает, как правило, дальнейший рост содержания кислорода в водной толще Среднего и Южного Каспия. Правда, в районе водообмена между Северным и Средним Каспием эта закономерность отчетливо не проявлялась, а на придонных горизонтах этого района даже наблюдалось снижение содержания кислорода зимой и весной (табл. 3.21).

При аналогичном сравнении данных наблюдений по кислороду на разрезе Дивичи—Кендерли в деятельном слое моря во все сезоны отмечалось увеличение относительного и абсолютного содержания кислорода в 1962—1985 гг. Например, осенью

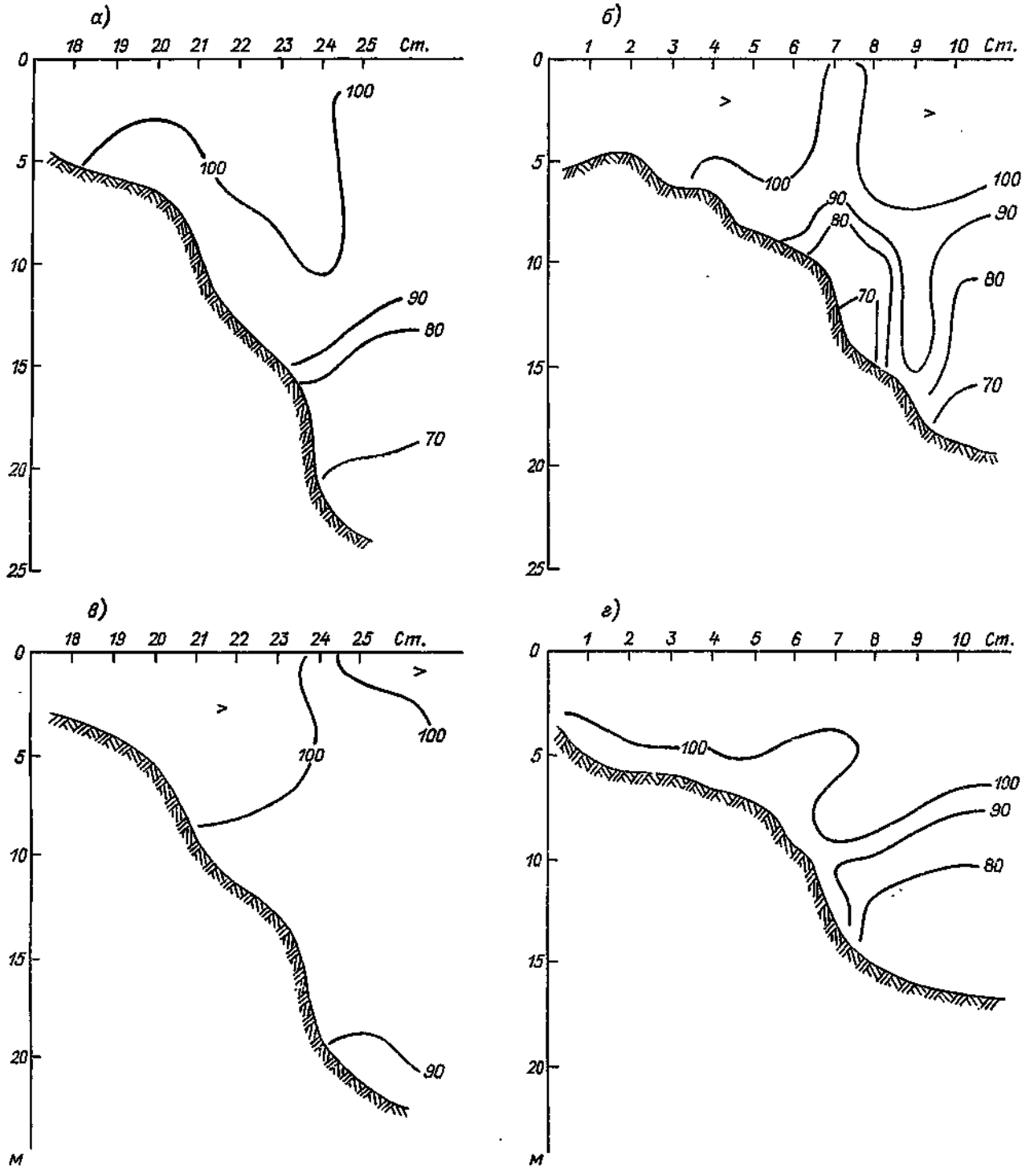


Рис. 3.18. Среднее годовое распределение относительного содержания кислорода в западной части Северного Каспия в 1981 г. (*а*, *б*) и в 1982 г. (*в*, *г*).

а, *в* — разрез III; *б*, *г* — разрез IIIа.

на поверхностном горизонте моря различия в абсолютном содержании кислорода за отдельные периоды исследования достигали 0,9‰ [от 6,3 ± ± 0,07 до (7,2 ± 0,04)‰]. Возросло также и относительное содержание кислорода в летнее время — на 11—14 % (табл. 3.22). Увеличение содержания кислорода в деятельном слое моря обусловлено усилением фотосинтетической деятельности фитопланктона в данный период исследования. Ниже деятельного слоя максимальное увеличение кислорода в Среднем Каспии в 1962—1985 гг. наблюдалось в слое 150—300 м практически во все сезоны года.

Исследования многолетней изменчивости элементов газового режима в Каспийском море подтверждают, что глубинные воды моря формируются за счет сползания вниз по склонам вод, охлажденных зимой на материковой отмели. Эти воды характеризуются высокой плотностью и хорошо аэрированы. Во время осенне-зимнего охлаждения в верхних слоях моря развивается вертикальная зимняя циркуляция, распространяющаяся все

Таблица 3.21

Изменение средних многолетних значений абсолютного и относительного содержания кислорода в районе водообмена между Северным и Средним Каспием (разрез о. Чечень — п-ов Мангышлак) за отдельные периоды исследований

Горизонт, м	Зима						Весна					
	Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %			Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %		
	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ
Поверхность	8,03	8,22	0,19	95	99	4	7,40	7,97	0,57	101	108	7
10	8,27	8,05	—0,22	96	99	3	7,64	8,13	0,49	101	105	4
25	8,50	8,00	—0,50	102	97	—5	8,15	7,87	—0,28	104	102	—2

Горизонт, м	Лето						Осень					
	Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %			Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %		
	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1983 гг.	Δ
Поверхность	5,84	5,86	0,02	102	106	4	7,12	7,24	0,12	94	100	6
10	5,65	5,84	0,19	96	104	8	7,26	7,09	—0,17	96	99	3
25	5,16	5,22	0,06	75	83	8	7,04	7,04	0,0	94	97	3

Примечание. Δ — разность между значениями в 1962—1983 и 1958—1962 гг.

глубже и глубже с понижением температуры воздуха. В глубоководных районах моря конвекция, как правило, не достигает дна, а в мелководных районах она быстро охватывает всю толщу воды. Расчеты плотности и устойчивости вод подтвердили, что основным путем формирования глубинных вод Среднего Каспия является сползание охлажденных в северной части Каспийского моря вод в среднекаспийскую впадину [74].

В 1962—1985 гг. наибольшее увеличение содержания кислорода отмечалось не в придонных слоях Среднего Каспия, а в слое 150—300 м, где горизонт 300 м оказывается нижней границей слоя, охватываемого зимней вертикальной циркуляцией.

В глубинные слои Южного Каспия среднекаспийские воды поступают через Апшеронский порог. В течение 1962—1985 гг. произошло уменьшение абсолютного содержания кислорода в придонном горизонте на разрезе о. Жилой — м. Куули: например, осенью различия по периодам исследования достигали 1,1 ‰ [от $4{,}8 \pm 0{,}10$ до $(3{,}7 \pm \pm 0{,}15)$ ‰]. В то же время максимальные различия в сторону увеличения содержания кислорода в районе водообмена между Средним и Южным Каспием имели место, как правило, в поверхностном слое моря и не превышали 0,5 ‰ [от $6{,}1 \pm 0{,}04$ до $(6{,}6 \pm 0{,}07)$ ‰].

Изменения, происходящие в газовом режиме Южного Каспия, обусловлены изменениями в режиме кислорода Среднего Каспия. По сравнению с данными 1958—1962 гг. содержание кислорода в водах Южного Каспия, на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский, возросло по всей водной толще в связи с улучшением аэрации глубинных вод Среднего Каспия, в результате чего в течение 1962—1985 гг. в Южный Каспий поступали более богатые кислородом воды. Улучшение вентиляции глубинных слоев Южного Каспия происходит также за счет увеличения глубины проникновения среднекаспийских вод в Южный Каспий. Наибольшее увеличение абсолютного и относительного содержания кислорода здесь было обнаружено в слое 100—150 м в зимнее время, где эти различия соответственно составили более 1 ‰ [от $4{,}4 \pm 0{,}11$ до $(5{,}7 \pm 0{,}05)$ ‰] и 20 %. В последующие сезоны наибольшее увеличение содержания кислорода по сравнению с 1958—1962 гг. отмечалось весной в слое 150—200 м, летом в слое 150—400 м и осенью в слое 200—400 м (см. табл. 3.22).

Известно, что резкое понижение уровня Каспийского моря в 30-е годы вызвало существенные изменения в его гидрохимическом режиме. Было замечено, что процесс аэрирования водной толщи и придонных слоев Среднего и Южного Каспия интенсифицировался и содержание кислорода в них возросло [1, 65, 100].

К концу 50-х — началу 60-х годов уровень Каспийского моря понизился примерно на 0,8 м по сравнению с началом 40-х годов и вентиляция глубинных слоев в Среднем и Южном Каспии еще более усилилась [65]. Стабилизации уровня моря в 60-е годы соответствовало сравнительно устойчивое состояние газового режима вод Среднего и Южного Каспия [75, 76].

Материалы многолетних наблюдений на глубоководных станциях разрезов Дивичи—Кендерли и о. Куринский Камень — о. Огурчинский были проанализированы в аспекте распределения содержания кислорода в водной толще при различных положениях уровня моря, которые были рассмотрены выше.

Зимой, в период понижения уровня моря, на разрезе Дивичи—Кендерли отмечалось повышение содержания кислорода от поверхности до дна. Наибольшее его увеличение было обнаружено на ст. 4 на горизонте 200 м (около 2 ‰) и на ст. 6 на горизонте 300 м (2,4 ‰). В последующий период повышения уровня моря на этих же станциях отмечалось снижение кислорода по всей толще. Максимальное уменьшение кислорода (более чем на 1 ‰) было обнаружено в нижележащих слоях моря (табл. 3.23). На разрезе о. Куринский Ка-

Таблица 3.22

Изменение средних многолетних значений абсолютного и относительного содержания кислорода в водах Среднего и Южного Каспия за отдельные периоды исследования

Горизонт, м	Зима						Весна						Лето						Осень					
	Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %			Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %			Абсолютное содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %			Абсолютое содержание, ‰ по объему			Относительное содержание, %		
	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1985—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ
Разрез Дивичи—Кендерли																								
0	7,31	7,91	0,60	92	98	6	7,36	8,09	0,73	102	110	8	5,54	6,12	0,58	97	111	14	6,28	7,15	0,87	98	104	6
10	7,53	7,81	0,28	95	98	3	7,55	8,01	0,46	104	108	4	5,77	6,10	0,33	97	108	11	6,16	6,94	0,78	93	100	7
25	7,38	7,41	0,03	91	96	5	7,58	7,76	0,18	101	102	1	5,71	5,84	0,13	82	96	14	5,35	6,68	1,33	74	98	24
50	7,09	7,06	—0,03	88	92	4	6,91	7,47	0,56	91	96	5	5,36	5,59	0,23	70	86	16	5,18	6,16	0,98	69	85	16
75	6,80	6,85	0,05	—	—	—	6,98	7,17	0,19	89	88	—1	—	5,52	—	—	75	—	—	6,17	—	—	80	—
100	6,41	6,68	0,27	80	88	8	6,54	6,96	0,42	79	88	9	5,29	5,54	0,25	69	77	8	(6,02)	5,74	(—0,28)	(76)	76	0
150	4,87	6,06	1,19	—	—	—	4,33	6,12	1,79	53	(73)	(20)	4,81	4,91	0,10	64	68	4	—	5,67	—	—	70	—
200	4,32	5,47	1,15	53	72	19	3,96	5,62	1,66	48	68	20	3,83	4,66	0,83	47	61	14	4,86	5,25	0,39	61	67	6
300	3,81	4,74	0,93	—	—	—	3,77	4,66	0,89	44	(54)	(10)	3,60	4,23	0,63	43	52	9	4,11	4,68	0,57	50	53	3
400	3,58	4,25	0,67	44	57	13	—	4,04	—	—	50	—	3,53	3,77	0,24	42	47	5	4,21	4,18	—0,03	49	53	4
500	3,50	4,10	0,60	—	45	—	3,75	3,94	0,19	44	(44)	(10)	3,40	3,31	—0,09	41	45	4	3,77	3,71	—0,06	44	—	—
600	3,59	3,74	0,15	42	45	3	3,70	3,60	—0,10	42	49	9	3,49	3,40	—0,09	41	42	1	—	(3,22)	—	—	40	—
700	3,66	—	—	—	—	—	3,58	3,75	0,17	42	41	—1	3,34	—	—	39	—	—	—	—	—	—	—	—
750	3,61	—	—	—	—	—	3,61	3,78	0,17	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	—	(2,91)	—	—	(35)	—	—	(3,21)	—	—	(39)	—	3,55	3,07	—0,48	42	43	1	—	(2,90)	—	—	(37)	—
Разрез о. Жилой — м. Куули																								
0	7,08	7,46	0,38	93	99	6	7,22	7,57	0,35	96	109	13	5,74	5,78	0,04	100	109	9	6,08	6,58	0,50	95	103	8
10	—	7,37	—	—	98	—	—	7,49	—	—	108	—	—	5,69	—	—	106	—	—	6,45	—	—	102	—
25	7,20	7,09	—0,11	93	96	3	7,18	7,21	0,03	96	103	7	5,48	5,52	0,04	87	97	10	5,75	6,22	0,47	84	100	16
50	6,90	6,83	—0,07	86	91	5	6,59	6,49	—0,10	84	89	5	4,74	4,91	0,17	62	73	11	5,13	5,35	0,22	69	79	10
75	6,19	6,40	0,21	83	85	2	6,20	5,95	—0,25	82	(80)	(—2)	—	4,54	—	—	(60)	—	—	4,91	—	—	(71)	—
100	6,12	5,87	—0,25	79	78	—1	5,15	5,48	0,33	66	67	1	3,98	4,15	0,17	48	56	8	4,57	4,70	0,13	58	64	6
150	5,63	4,85	—0,78	62	54	—8	—	4,88	—	—	—	—	—	3,92	—	—	44	—	—	4,39	—	—	(55)	—
200	3,97	4,51	—0,54	38	—	—	5,12	4,79	—0,33	48	63	15	3,94	3,46	—0,48	52	—	—	4,79	3,68	—1,11	53	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский																								
0	7,12	7,47	0,35	96	100	4	7,27	7,52	0,25	104	110	6	5,60	5,81	0,21	99	105	6	6,07	6,41	0,34	102	111	9
10	6,86	7,39	0,53	95	99	4	—	—	—	—	—	—	—	5,28	—	—	105	—	—	6,37	—	—	108	—
25	7,13	7,15	0,02	94	97	3	7,40	7,29	—0,11	101	103	2	—	5,76	—	—	102	—	5,86	6,09	0,23	97	102	5
50	6,85	6,83	—0,02	89	92	3	6,90	6,84	—0,06	93	95	2	5,96	5,47	—0,49	86	82	—4	5,34	5,46	0,12	73	88	15
75	5,70	6,39	0,69	78	(87)	9	6,33	6,28	—0,05	84	(84)	(0)	—	5,00	—	—	(72)	—	—	5,07	—	—	(76)	—
100	4,43	5,72	1,29	55	78	23	5,60	5,91	0,31	74	77	3	4,57	4,77	—0,20	56	65	9	4,39	4,58	0,19	57	65	—
150	3,50	4,74	1,24	44	(72)	(28)	3,93	4,68	0,75	51	(60)	(9)	3,50	4,20	0,70	44	(61)	(17)	—	4,14	—	—	(64)	—
200	3,74	4,12	0,38	38	55	17	3,27	3,89	0,62	40	47	7	2,95	3,63	0,68	36	47	11	2,75	3,71	0,96	35	52	17
300	2,62	3,46	0,84	32	(50)	(18)	2,68	3,02	0,34	33	(39)	6	2,62	3,25	0,63	—	(44)	—	2,51	3,12	0,61	31	(47)	16
400	2,70	2,83	0,13	28	36	8	2,49	2,72	0,23	31	34	3	2,28	2,84	0,56	28	34	6	2,33	2,85	0,52	29	40	11
500	2,27	2,59	0,32	27	(38)	(11)	2,24	2,46	0,22	27	(32)	(5)	2,12	2,60	0,48	26	(39)	13	2,33	2,74	0,41	28	34	6
600	—	2,80	—	—	31	—	—	—	—	—	—	—	2,01	(2,96)	(0,95)	26	32	6	—	(2,71)	—	—	(34)	—
700	2,12	2,38	0,26	24	—	—	2,42	2,15	—0,27	26	—	—	2,09	2,36	0,27	22	—	—	2,42	2,51	0,09	29	—	—
750	—	—	—	—	—	—	2,10	—	—	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	1,8	2,39	0,59	22	28	6	2,10	2,04	—0,06	23	26	3	1,55	2,22	0,67	19	30	11	2,29	2,25	—0,04	28	30	2
850	—	—	—	—	—	—	2,00	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Δ — разность между значениями в 1962—1985 и 1958—1962 гг.; в скобках указаны данные, вызывающие сомнения.

Изменения содержания кислорода (‰ по объему) в Среднем и Южном Каспии в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Зима										
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	7,30	7,66	0,36	7,87	0,21	7,35	7,79	0,44	7,77	—0,02
10	7,18	7,59	0,41	7,63	0,04	7,50	8,01	0,51	7,52	—0,49
20	7,07	7,60	0,53	7,35	—0,35	7,26	7,68	0,42	7,28	—0,40
30	6,98	7,28	0,30	7,24	—0,04	7,00	7,41	0,41	6,86	—0,55
50	6,45	7,24	0,79	6,85	—0,39	7,03	7,33	0,30	6,54	—0,79
75	6,36	7,45	1,09	6,71	—0,74	6,96	7,00	0,04	6,39	—0,61
100	6,42	7,13	0,71	6,40	—0,73	6,86	6,72	0,14	6,06	—0,66
150	—	—	—	5,73	—	5,78	—	—	5,42	—
200	4,85	6,75	1,90	5,48	—1,27	4,80	6,56	1,76	4,93	—1,63
250	—	—	—	5,11	—	4,51	—	—	4,44	—
300	4,37	6,06	1,69	4,52	—1,54	4,70	7,09	2,39	—	—
400	4,02	5,56	1,54	4,51	—1,05	3,86	—	—	—	—
500	3,42	4,93	1,51	4,30	—0,63	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	7,03	7,33	0,30	7,67	0,34	7,05	7,33	0,28	7,42	0,09
10	6,96	7,36	0,40	7,55	0,19	6,71	7,18	0,47	7,35	0,17
20	7,06	7,51	0,45	7,32	—0,19	6,68	7,22	0,54	7,12	—0,10
30	6,89	7,13	0,24	6,99	—0,14	6,61	7,26	0,65	6,93	—0,33
50	6,38	7,13	0,75	6,72	—0,41	6,24	7,02	0,78	6,69	—0,33
75	6,27	6,81	0,54	6,36	—0,45	5,30	6,34	1,04	6,27	—0,07
100	6,05	6,15	0,10	5,82	—0,23	4,38	5,15	0,77	5,06	—0,09
150	5,29	5,33	0,04	5,49	0,16	3,65	4,01	0,36	4,11	0,10
200	4,31	4,32	0,01	4,97	0,65	2,93	3,46	0,53	3,64	0,18
250	4,13	3,86	—0,27	4,35	0,49	—	—	—	3,86	—
300	4,13	3,45	—0,68	3,88	0,43	2,75	2,84	0,09	3,11	0,27
400	3,95	2,86	—1,09	3,49	0,63	2,45	2,38	—0,07	2,84	0,46
500	3,57	2,66	—0,91	3,10	0,44	2,18	2,25	0,07	2,61	0,36
600	3,21	2,65	—0,56	2,88	0,23	1,97	2,07	0,10	2,37	0,30
800	4,06	2,57	—1,49	2,50	—0,07	—	2,22	—	2,02	—0,20
Весна										
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	7,67	8,58	0,97	8,25	—0,33	7,57	8,43	0,86	8,08	—0,35
10	8,05	8,58	0,53	8,25	—0,33	7,69	8,43	0,74	7,79	—0,64
20	7,84	8,43	0,59	7,92	—0,51	7,64	8,50	0,86	7,55	—0,95
30	7,72	8,23	0,51	7,71	—0,52	7,31	7,69	0,38	7,23	—0,46
50	7,26	7,77	0,51	7,48	—0,29	7,16	7,86	0,70	7,11	—0,75
75	7,32	7,47	0,15	7,38	—0,09	6,00	7,75	1,75	6,87	—0,88
100	7,24	7,43	0,19	6,96	—0,47	6,64	7,54	0,90	6,45	—1,09
150	6,04	7,31	1,27	6,32	—1,00	5,52	7,27	1,75	6,07	—1,20
200	5,26	6,05	0,79	5,80	—0,25	4,35	6,79	2,44	5,42	—1,37
250	4,60	5,74	1,14	5,15	—0,59	—	5,88	—	4,75	—1,11
300	4,54	5,79	1,25	4,71	—1,08	3,83	4,93	1,10	—	—
400	4,03	4,25	0,22	4,33	0,08	—	—	—	—	—
500	3,03	4,81	1,78	3,89	—0,92	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	7,10	7,74	0,64	7,55	—0,19	7,06	7,41	0,35	7,39	—0,02
10	7,41	7,81	0,40	7,38	—0,43	7,32	7,51	0,19	7,18	—0,33
20	7,43	7,86	0,43	7,04	—0,82	7,32	7,50	0,18	6,98	—0,52
30	7,31	7,61	0,30	6,84	—0,77	7,11	7,19	0,08	6,70	—0,49
50	6,96	7,30	0,34	6,69	—0,61	6,78	7,12	0,34	6,40	—0,72
75	6,54	6,97	0,43	6,63	—0,34	5,62	5,83	0,21	5,62	—0,21
100	5,88	6,54	0,66	6,40	—0,14	4,38	4,87	0,49	4,91	0,04
150	5,24	4,97	—0,30	4,85	—0,12	3,65	3,95	0,30	4,45	0,50
200	4,39	4,05	—0,34	3,84	—0,21	2,84	3,52	0,68	3,72	0,20
250	3,61	3,62	0,01	3,30	—0,32	2,71	3,08	0,37	3,38	0,30
300	3,32	3,49	0,17	2,94	—0,55	2,54	3,04	0,50	3,04	0,00
400	2,84	3,04	0,20	2,76	—0,28	2,77	2,77	0,50	2,74	—0,03
500	2,50	2,77	0,27	2,54	—0,23	2,08	2,68	0,60	2,42	—0,26
600	2,26	2,62	0,36	2,39	—0,23	1,89	2,68	0,79	2,14	—0,54
800	1,88	2,37	0,49	2,09	—0,28	1,79	2,52	0,73	2,02	—0,50

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Лето										
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	5,73	5,96	0,23	6,01	0,05	5,51	5,81	0,30	6,23	0,42
10	5,93	6,12	0,19	5,97	—0,10	5,60	6,02	0,42	5,93	—0,09
20	5,66	5,77	0,11	5,56	—0,22	6,02	6,24	0,22	6,13	—0,11
30	5,68	5,83	0,15	5,37	—0,46	5,71	6,42	0,71	5,65	—0,77
50	5,94	5,90	—0,04	5,40	—0,50	5,43	6,00	0,57	5,59	—0,41
75	5,54	5,35	—0,19	5,20	—0,15	5,09	5,06	—0,03	5,41	0,35
100	4,88	5,00	0,12	5,07	0,07	4,64	3,72	—0,92	5,18	1,46
150	4,08	5,03	0,95	4,22	—0,81	3,62	3,15	—0,47	5,04	1,89
200	3,52	4,31	0,79	3,77	—0,54	2,97	2,73	—0,24	3,89	1,16
250	3,17	4,62	1,45	3,60	—1,02	2,71	2,43	—0,28	3,68	1,25
300	3,04	4,48	1,44	3,34	—1,14	2,66	2,12	—0,54	3,50	1,38
400	2,74	3,58	0,84	3,10	—0,48	2,26	2,79	0,53	3,20	0,41
500	2,60	3,75	1,15	2,81	—0,94	1,98	2,45	0,47	2,91	0,46
600	2,42	2,50	0,08	2,66	0,16	1,77	2,46	0,69	2,63	0,17
800	2,12	2,79	0,67	2,30	—0,49	1,41	2,08	0,67	2,57	0,49
Осень										
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	6,73	6,83	0,10	7,42	0,59	6,90	7,09	0,19	7,40	0,31
10	6,68	6,75	0,07	7,17	0,42	6,70	6,78	0,08	7,24	0,46
20	6,42	6,47	0,05	7,06	0,59	6,55	6,77	0,22	7,10	0,43
30	6,23	6,06	—0,17	6,87	0,81	6,73	6,72	—0,01	6,95	0,33
50	6,16	5,84	—0,32	6,56	0,72	5,80	6,02	0,22	6,45	0,23
75	6,25	5,81	—0,44	6,31	0,50	5,93	5,63	—0,30	6,40	0,77
100	6,13	5,68	—0,45	5,86	0,18	5,55	5,18	—0,37	6,24	1,06
150	5,77	5,70	—0,07	5,68	—0,02	5,26	5,39	0,13	5,83	0,44
200	5,46	5,81	0,35	5,19	—0,62	5,05	5,04	—0,01	5,27	0,23
250	—	5,61	—	4,89	—0,72	—	4,05	—	4,51	—
300	—	5,48	—	4,55	—0,93	—	3,97	—	—	—
400	—	5,13	—	4,26	—0,87	—	—	—	—	—
500	—	—	—	4,00	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	6,59	6,41	—0,18	6,74	0,33	6,43	5,99	—0,44	6,64	0,65
10	6,70	6,43	—0,27	6,56	0,13	6,32	6,29	—0,03	6,48	0,19
20	6,53	6,34	—0,19	6,26	—0,13	6,20	6,14	—0,06	6,11	—0,03
30	6,52	6,30	—0,22	5,90	—0,40	5,98	5,72	—0,26	5,80	0,08
50	5,61	5,39	—0,22	5,50	0,11	5,54	5,29	—0,25	5,49	0,20
75	5,35	5,06	—0,29	5,19	0,13	4,97	4,62	—0,35	5,18	0,56
100	5,09	4,70	—0,39	4,73	0,03	4,51	4,52	0,01	4,74	0,22
150	4,44	4,45	0,01	4,37	—0,08	4,30	3,90	—0,40	4,45	0,55
200	4,13	4,40	0,27	3,99	—0,41	3,91	3,09	—0,82	3,78	0,69
250	—	(3,33)	—	3,57	—	—	(2,70)	—	3,40	—
300	—	(2,89)	—	3,37	—	—	(2,44)	—	3,18	—
400	2,72	3,12	0,40	3,10	—0,02	2,93	2,69	—0,24	2,86	0,17
500	—	(2,65)	—	2,82	—	—	(2,57)	—	2,56	—
600	2,24	2,73	0,49	2,64	—0,09	2,58	2,50	—0,08	2,33	—0,17
800	1,75	2,58	0,83	2,67	0,09	1,68	—	—	(2,36)	—

Примечание. Δ — разность между значениями в 1970—1977 и 1962—1969 гг., Δ_1 — разность между значениями в 1978—1985 и 1970—1977 гг.; в скобках указаны данные, вызывающие сомнения.

мень — о. Огурчинский зимой распределение кислорода в зависимости от изменения уровня моря не было таким четким, как в Среднем Каспии. Так, в течение 1970—1977 гг. отмечалось увеличение содержания кислорода в слое 0—200 м на ст. 4 и на всех горизонтах на ст. 6. В то же время ниже горизонта 200 м на ст. 4 было обнаружено снижение содержания кислорода до дна на 0,3—1,5 ‰. В течение 1978—1995 гг. содержание кислорода на станциях 4 и 6 по сравнению с предшествующим периодом уменьшилось в слое 20—100 м на 0,2—0,4 ‰ и возросло в нижележащих слоях максимально на 0,6 ‰ (см. табл. 3.23).

Весной на разрезе Дивичи—Кендерли распределение кислорода в зависимости от изменения уровня моря аналогично распределению кислорода в зимний период. При этом максимальное увеличение содержания кислорода в период понижения уровня моря было обнаружено на ст. 4 начиная с горизонта 150 м и до дна, на ст. 6 — с горизонта 75 м и до дна. Затем при повышении уровня моря содержание кислорода снизилось по всей водной толще (см. табл. 3.23).

Анализ изменения содержания кислорода на глубоководных станциях разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский весной в различные периоды стояния уровня моря показал, что сохраняется тенденция, аналогичная распределению кислорода на глубоководных станциях разреза Дивичи—Кендерли. Весной различия в распределении кислорода

в Южном Каспии в зависимости от изменения уровня моря оказываются более ярко выраженными по сравнению с зимним периодом (см. табл. 3.23).

Летом определенной закономерности и тенденции в распределении кислорода в различные периоды стояния уровня моря в глубоководных районах Каспийского моря установить не удалось (см. табл. 3.23).

Осенью распределение кислорода в Среднем и Южном Каспии в зависимости от стояния уровня моря отличается от распределения кислорода в предыдущие сезоны. На разрезе Дивичи—Кендерли в период понижения уровня моря содержание кислорода уменьшается в слое 30—150 м. На разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский снижение концентрации кислорода в этот же период отмечалось на ст. 4 в слое 0—100 м и на ст. 6 по всей водной толще от поверхности до дна. Период повышения уровня моря, как правило, характеризовался увеличением содержания кислорода в водной толще Среднего и Южного Каспия на ст. 6, на ст. 4 его снижение было обнаружено в слое 150 м — дно (см. табл. 3.23).

Следует отметить, что осенью различия в содержании кислорода в зависимости от изменения уровня моря значительно меньше, чем в другие сезоны.

Итак, при снижении уровня моря прослеживается усиление аэрации глубинных слоев, особенно четко выраженное в Среднем Каспии.

Б. Н. Абрамов [1], изучавший распределение кислорода и биогенных веществ в 1939—1954 гг., сравнил эти данные с наблюдавшимися в предшествующие годы (1934—1938 гг.). Он отмечал также, что в период интенсивного снижения уровня моря (1934—1954 гг.) глубинные воды Среднего Каспия начали обогащаться кислородом и к 1943 г. его содержание достигло максимума. В Южном Каспии процесс обогащения глубинных вод кислородом происходил значительно медленнее.

Благодаря понижению уровня моря, уменьшению стока Волги и связанному с ним осолонению северной части моря увеличивается плотность вод на свале глубин и усиливается процесс вентиляции глубинных слоев средней части Каспийского моря.

Более поздние исследования [65, 75, 76] показывают, что повышение содержания кислорода в глубинных слоях моря вызвано усилением процесса сползания охлажденных, богатых кислородом и обладающих высокой плотностью вод по склонам дна в глубинные слои Среднего Каспия.

Заключение к гл. 3

Пространственное распределение растворенного кислорода в Каспийском море имеет ряд закономерностей.

Центральная часть акватории Северного Каспия характеризуется довольно однородным распределением абсолютного и относительного содержания кислорода. По данным средних многолетних наблюдений, повышенное содержание кислорода обнаруживается в районах предустьевого

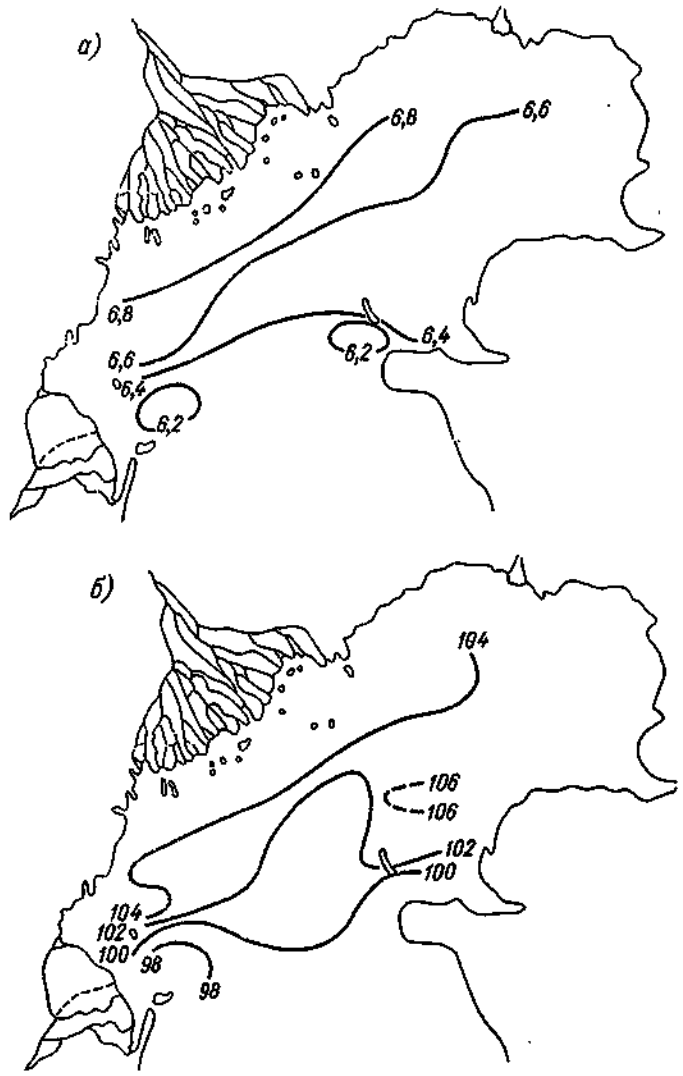


Рис. 3.19. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение содержания кислорода в Северном Каспии.

а — абсолютное содержание кислорода, ‰ по объему; *б* — относительное содержание кислорода, %.

взморья Волги, пониженное — в юго-западной части Северного Каспия (рис. 3.19).

В Среднем и Южном Каспии наибольшие концентрации кислорода приурочены к прибрежным мелководным районам и предустьевым взморьям рек, за исключением наиболее загрязненных районов моря (Бакинская бухта, район Сумгаита и т. д.). В западной части Среднего Каспия содержание кислорода, как правило, оказывается более высоким, чем в восточной части, что обусловлено перемещением более холодных вод из Северного Каспия вдоль западного берега в южном направлении и относительно теплых вод из Южного Каспия вдоль восточного побережья на север.

В глубоководных районах Каспийского моря во все сезоны сохраняется основная закономерность — понижение концентрации кислорода с глубиной.

В то же время даже в глубинных слоях Каспийского моря благодаря конвективному перемешиванию обнаруживаются относительно повышенные концентрации растворенного кислорода. Усиление или ослабление процесса конвективного перемешивания в глубоководных районах Каспийского моря в значительной степени зависит от из-

менений солености вод Северного Каспия, обусловленных колебаниями волжского стока.

Благодаря осенне-зимнему охлаждению плотность вод Северного Каспия возрастает до значения, при котором становится возможным поступление северокаспийских вод с высоким содержанием кислорода по материковому склону до значительных глубин Каспийского моря. Интенсивное конвективное перемешивание в зимний период обусловливает повышенное содержание кислорода в глубинных слоях Среднего Каспия и охватывает полностью 150-метровый слой в районе водообмена между Средним и Южным Каспием; в Южном Каспии глубина зимней вертикальной циркуляции изменяется от 80 до 100—150 м.

Сезонное распределение кислорода в основном связано с годовым ходом температуры воды и сезонным соотношением продукционно-деструкционных процессов, протекающих в море.

Весной в Северном Каспии и в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием вертикальное распределение кислорода оказывается довольно однородным, а его содержание близко к равновесному.

Продуцирование кислорода в процессе фотосинтеза весьма существенно перекрывает снижение кислорода, обусловленное уменьшением его растворимости с повышением температуры воды весной. В связи с этим деятельный слой Среднего и Южного Каспия благодаря интенсивному процессу фотосинтеза характеризуется высоким содержанием кислорода. Но в то же время из-за более высоких температур воды абсолютное содержание кислорода в деятельном слое Южного Каспия ниже по сравнению с содержанием в Среднем Каспии.

Значительный расход кислорода на окисление, связанный с процессами деструкции органического вещества, отмечается весной в Среднем Каспии в слое 100—400 м и в Южном Каспии в слое 100—200 м.

В районах устьевых взморьев рек, питающих Каспийское море, весной происходит резкое повышение относительного содержания кислорода, что в свою очередь является интегральным показателем интенсификации процесса фотосинтеза и характеризует степень продуктивности зон смешения морских и речных вод.

Летом благодаря значительному прогреву водных масс и активизации процессов фотосинтеза ведущими факторами формирования кислородного режима в поверхностных водах являются фотосинтетические процессы, в придонных — биохимическое потребление кислорода донными отложениями.

В это время года в западной части Северного Каспия, в районах с глубинами более 8 м, формируется резкая стратификация вод, обусловленная спецификой гидрологических условий в этом районе и возникновением соленостно-температурного градиента, которые способствуют затруднению газообмена в водной толще.

Благодаря высокой температуре вод, стратификации водной толщи, большому притоку органического веществсва и его интенсивному окислению кислород быстро расходуется при минимальном его поступлении в нижние слои моря, в результате чего в Северном Каспии образуется зона дефицита кислорода.

Площади акватории с дефицитом кислорода изменяются в различные годы в зависимости от объема половодья, ветровой активности и степени устойчивости вод.

В летнее время процесс фотосинтеза в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием охватывает слой 0—10 м. Относительное содержание кислорода в нем превышает 100 %; в придонных горизонтах этого же района оно довольно резко снижается благодаря деструктивным процессам.

В районах устьевых взморий рек Волги, Терека и Самура процесс фотосинтеза весьма активен и протекает от поверхности до дна.

Интенсивный фотосинтез в открытых водах глубоководных районов Среднего и Южного Каспия охватывает верхний 25-метровый слой, где насыщение кислородом составляет более 120 %. Снизу этот слой ограничен сезонным термоклином со значительными градиентами солености и температуры. Наиболее резкое снижение кислорода (более 1 ‰) наблюдается в слое 100—200 м.

В летнее время в Южном Каспии вертикальные различия в содержании кислорода проявляются более отчетливо, чем в Среднем Каспии, где они оказываются более сглаженными благодаря обогащению кислородом глубинных вод в результате зимней вертикальной циркуляции.

Осенью в хорошо аэрированных мелководных районах Северного, Среднего и Южного Каспия формирование полей кислорода определяется процессами выхолаживания вод и менее активного, но все еще продолжающегося процесса фотосинтеза.

В открытых районах Каспийского моря распределение кислорода в основном также соответствует распределению температуры воды. В связи с понижением температуры абсолютное содержание кислорода в воде увеличивается. Наиболее отчетливо это проявляется в районе водообмена между Северным и Средним Каспием. Исчезновение скачка плотности обусловливает в этом районе довольно равномерное распределение кислорода с глубиной.

Поверхностный слой в Среднем Каспии осенью хорошо аэрирован. В слое 75—150 м также наблюдаются повышенные значения абсолютного содержания кислорода.

Установленные различия в содержании кислорода поверхностного слоя Среднего и Южного Каспия, составляющие около 1 ‰, обусловлены различиями в температурном режиме вод этих районов моря в осенний период.

Анализ многолетней изменчивости кислорода показал, что существенные изменения в газовом режиме вод Каспийского моря произошли в 30-е годы в связи с резким понижением уровня моря: интенсифицировался процесс аэрирования водной толщи и придонных слоев Среднего и Южного Каспия, что вызвало увеличение в них содержания кислорода.

Зарегулирование волжского стока в Северном Каспии привело к некоторой стабилизации содержания и уменьшению амплитуды межгодовых изменений кислорода. Одновременно сгладились и

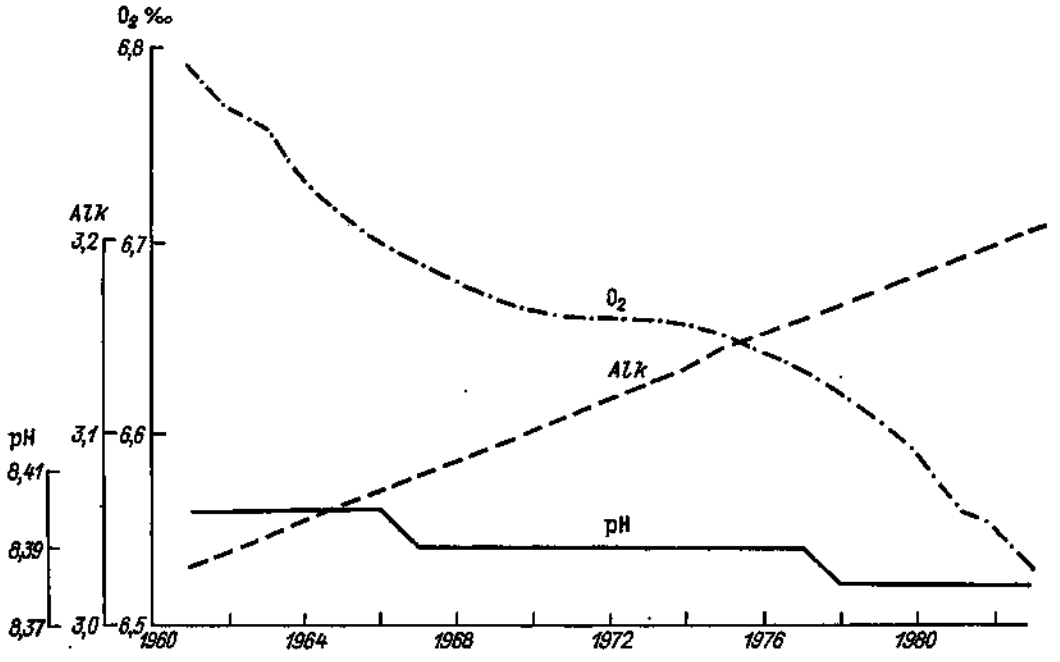


Рис. 3.20. Многолетняя изменчивость содержания кислорода, pH и щелочности в водах Северного Каспия.

амплитуды суточных колебаний кислорода в районах непосредственного влияния стока Волги и на свале глубин.

Шестидесятые годы характеризуются относительной стабилизацией положения уровня Каспийского моря и сравнительно устойчивым состоянием газового режима его вод.

В период понижения уровня моря в течение 1970—1977 гг., которое совпало с уменьшением стока Волги и повышением солености вод Северного Каспия, усилился процесс вентиляции глубинных слоев моря. При повышении уровня моря, которое происходило в течение 1978—1985 гг., прослеживается ослабление процесса аэрации глубинных вод. Особенно отчетливо эти закономерности проявились в Среднем Каспии.

Анализ тенденции многолетней изменчивости относительного содержания кислорода за период наблюдений с 1960 по 1983 г. в Северном Каспии показал его снижение в различные сезоны (наиболее значительное в летнее время), что в свою очередь свидетельствует об ухудшении газового режима вод Северного Каспия (рис. 3.20).

Сравнение данных по кислороду за 1962—1985 гг. с данными предшествующего периода исследований (1958—1962 гг.) указывает на явную тенденцию к увеличению содержания кислорода в водной толще Среднего и Южного Каспия. Исследование плотности и устойчивости вод в Каспийском море подтвердили, что основным фактором формирования глубинных вод Среднего Каспия является сползание охлажденных вод северной части Каспийского моря в среднекаспийскую впадину, где наибольшее увеличение содержания кислорода было отмечено в слое 150—300 м и где горизонт 300 м является нижней границей слоя, охваченного зимней вертикальной циркуляцией. Содержание кислорода в водах Южного Каспия в 1962—1985 гг. возросло во всей водной толще благодаря усилению аэрации глубинных вод Среднего Каспия.

4. РЕЖИМ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

4.1. Биогенный материковый сток в Северный Каспий

4.1.1. Многолетние изменения содержания биогенных веществ в волжском стоке

Многолетние изменения концентраций биогенных веществ в водах Каспийского моря зависят от ряда факторов. Северный Каспий со стоком Волги и Урала получает питательные соли в растворенном и взвешенном состоянии, которые необходимы для развития фитопланктона. К таким веществам прежде всего относятся соединения фосфора, азота и кремния. Круговорот биогенных веществ в море происходит следующим образом: биогенные вещества, поступая в море с речным стоком, в значительной своей части оседают в грунт; другая их часть в процессе фотосинтеза ассимилируется фитопланктоном; в результате минерализации отмирающего фитопланктона биогенные вещества вновь поступают в воду и благодаря интенсивному ветровому перемешиванию распределяются равномерно по всей водной толще в мелководных районах моря. Существенное влияние на режим биогенных веществ в Северном Каспии оказывает водообмен между западной и восточной его частью, а также водообмен со Средним Каспием.

Итак, биопродуктивность вод Северного Каспия тесно связана с химическим составом вод, питающих данный водоем, и прежде всего — с их биогенным составом.

После зарегулирования волжского стока произошли существенные изменения в речном стоке биогенных веществ.

Таблица 4.1

Приход биогенных веществ (тыс. т) с водами р. Волги * в Каспийское море в характерные периоды, по данным КаспНИРХа

Период наблюдений, годы	Фосфор				Азот				Кремний
	органический		минеральный	валовой	органический		минеральный	валовой	
	растворенный	взвешенный			растворенный	взвешенный			
1952—1955	11,3	13,6	3,0	27,9	116,3	115,2	89,9	321,4	683
1956—1959	16,1	12,3	2,9	31,3	131,6	95,6	116,2	343,4	—
1960—1970	17,0	9,7	2,8	29,5	145,2	93,0	77,8	316,0	554
1971—1977	16,6	6,3	2,8	25,7	189,0	97,0	91,0	377,0	443
1978—1983	47,9	25,6	6,4	79,9	195,0	94,0	136,0	425,0	590

* Приход рассчитан по данным наблюдений в г. Астрахани.

По многолетним данным КаспНИРХа, после зарегулирования волжского стока поступление взвешенных органических соединений азота и фосфора уменьшилось, а растворенных органических форм азота и фосфора — увеличилось (табл. 4.1).

Уменьшение концентраций взвешенного органического азота и фосфора вызвано существенным уменьшением скоростей течений в водохранилищах и, следовательно, интенсивным захоронением органического вещества в отложениях водохранилищ. К снижению содержания органических форм азота и фосфора привело также и ухудшение обводнения Волго-Ахтубинской поймы.

В период стабилизации уровня Каспийского моря (1960—1970 гг.) возросло поступление растворенных органических форм фосфора и азота по сравнению с естественным периодом водности реки: фосфора — на 50 %, азота — на 25 %; снизилось поступление взвешенного органического фосфора на 30 %, взвешенного органического азота на 20 %.

В период 1971—1977 гг., который характернзуется резким снижением уровня моря, сток фосфора снизился, в основном за счет взвешенной органической формы — на 35 %, и в меньшей степени — растворенной органической формы — на 3 % по сравнению со стоком фосфора в 1960—1970 гг.

В период 1978—1983 гг., который является многоводным и характеризуется повышением уровня Каспийского моря, фосфор и связанный азот поступали в Северный Каспий в огромном количестве. По сравнению с периодом стабилизации уровня моря, в 1978—1983 гг., поступление растворенного органического фосфора возросло на 180 %, взвешенного органического фосфора — на 160 %, минерального фосфора — на 130 %.

Вынос минеральных форм азота и кремния характеризуется резким снижением в маловодный период и увеличением в многоводный период по сравнению с этапом относительной стабилизации уровня моря. После зарегулирования стока Волги выявлено постепенное увеличение доли растворенных органических форм азота и уменьшение его взвешенных форм.

Значительная часть азота и фосфора, вовлекаемая в результате деятельности человека в техногенные миграционные потоки, не поступает с речными водами в конечные бассейны и накапливается на территории речных бассейнов [86]. Несмотря на многолетний ряд наблюдений по биогенному стоку Волги, сложность дифференциации антропогенной составляющей заключается в том, что биогенный речной сток является интегральным результатом целого ряда природных и антропогенных факторов, к которым относятся водность и продолжительность половодья реки, последовательный ввод в действие каскада водохранилищ, воздействие промышленных, бытовых и сельскохозяйственных стоков. Ключом к вычленению фактора антропогенного эвтрофирования речного стока на той стадии, когда общий вынос биогенных элементов еще не выходит за пределы природных колебаний, М. П. Максимовой предложено использовать соотношения в речном стоке биогенных элементов и их форм [86]. Наиболее показательным индикатором антропогенного поступления азота и фосфора в водотоки и водоемы может быть отношение их концентрации к содержанию минерального растворенного кремния, которое за счет антропогенных факторов, как правило, не возрастает. Эти соотношения были рассчитаны для различных периодов состояния волжского стока в связи с его последовательным зарегулированием:

— период I (1936—1940, 1952—1955 гг.) предшествовал зарегулированию волжского стока;

— период II (1956—1962 гг.) — последовательное заполнение и формирование основных, средних и нижних водохранилищ каскада;

— период III (1963—1966 гг.) — стабилизация гидрохимического режима водохранилищ;

— период IV (1967—1969 гг.) — заполнение и формирование гидрохимического режима Саратовского водохранилища,

— период V (1971—1975 гг.) — стабилизация гидрохимического режима водохранилищ и резкое снижение речного стока;

— период VI (1978—1985 гг.) — увеличение речного стока *.

Анализ рассчитанных соотношений позволил сделать вывод, что интенсивное антропогенное воздействие на волжский сток, поступающий в Каспийское море, проявилось с конца 60-х годов, когда было отмечено заметное последовательное уменьшение отношения содержания минерального растворенного кремния к концентрации азота и фосфора за счет относительного ее увеличения в волжском стоке, а также некоторое возрастание содержания азота относительно фосфора, антропогенное поступление которого было меньше [86].

* Период VI рассчитан Б. М. Затучной.

Эта тенденция для всех форм фосфора и минерального азота усиливается в многоводный период VI, когда при незначительном увеличении поступления кремния обнаруживается весьма существенное возрастание поступления всех форм фосфора и минерального азота (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Соотношение биогенных элементов различных форм в речной воде в разные периоды состояния волжского стока (по [86])

Период состояния волжского стока	$N_{вал}/P_{вал}$	$N_{орг}/P_{орг}$	$N_{мин}/P_{мин}$	$Si/N_{вал}$	$Si/N_{орг}$	$Si/N_{мин}$	$Si/P_{вал}$	$Si/P_{орг}$	$Si/P_{мин}$
I	10,5	9,2	20	2,5	3,4	10,6	26	30	17
II	10,0	7,6	39	1,7	2,5	5,7	17	18	22
III	10,3	9,1	19	2,2	2,8	9,8	24	28	22
IV	15,0	11,9	50	1,2	1,6	4,2	17	19	22
V	14,6	12,7	32	1,2	1,5	5,3	17	19	17
VI*	5,3	4,0	25	1,1	1,1	3,3	5,6	6,1	7

* Расчеты выполнены Б. М. Затучной.

Ежегодный вынос биогенных элементов с волжской водой имеет жесткую положительную связь с водным стоком. В то же время соотношения содержания кремния, азота, фосфора и их форм в речной воде не зависят от колебаний речного стока, что и было показано в работе [86]. В дальнейшем эти расчеты были продолжены и получены аналогичные соотношения для периода 1978—1985 гг. В результате расчетов было показано, что в этот период наиболее существенно изменились соотношения кремния и всех форм фосфора (табл. 4.2).

Согласно М. П. Максимовой [86], доля антропогенной составляющей за 1967—1975 гг. составила в среднем по азоту 55 % и по фосфору 35 % от общего биогенного стока, поступившего в море с водами Волги, и варьировала в отдельные годы по азоту в пределах 38—66 % и по фосфору от 10 до 46 %. Природный и антропогенный биогенный сток Волги представлен в основном органическими соединениями азота и фосфора. В антропогенной составляющей доля органических соединений фосфора возрастает по сравнению с долей минерального фосфора: доли минерального и органического азота оказываются практически одинаковыми (табл. 4.3).

В многоводный период VI особенно возросла антропогенная составляющая стока для всех форм фосфора и минерального азота (табл. 4.3). Известно, что во всех хозяйствах Астраханской области широко применяются минеральные удобрения и ежегодно расход азотных и фосфорных удобрений значительно возрастает, о чем свидетельствует повышение содержания биогенных веществ в волжской воде в последние годы (табл. 4.2 и 4.3).

Распределение водного стока по рукавам в створе с. Верхнее Лебяжье следующее: примерно 60 % поступает в п. Астрахань, и в основном этот сток проходит в западную часть Северного Каспия (разрез IIIа); 40 % стока по Рычану и Бузану — в центральную часть моря (разрез III и в некоторой степени сказывается влияние на изменении гидрохимических характеристик на разрезе II). Примерно аналогичное распределение наблюдается и для биогенного стока.

Волжские воды, поступающие от г. Астрахани, в основном снабжают биогенными веществами западную часть Северного Каспия, частично биогенный сток по Бузану поступает в центральную и восточную части Северного Каспия. Размеры антропогенной составляющей в с. Верхнее Лебяжье весьма близки к аналогичным показателям, рассчитанным для г. Астрахани (см. табл. 4.3).

В сравнении с вершиной дельты волжский сток, пройдя через дельту, обогащается различными формами фосфора, в результате чего концентрации общего фосфора в нижней зоне западной части дельты возрастают на 12—20 %. В нижней зоне восточной части дельты концентрации фосфора оказываются выше, чем в западной, соответственно для фосфатов и фосфора органического в растворенном и взвешенном состоянии на 30, 13, 62 % и в целом для общего фосфора — на 2 %.

Трансформация биогенного стока в дельте р. Волги приводит к тому, что в нижней зоне ее западной части содержание минеральных форм азота возрастает по сравнению с вершиной дельты на 13 %, а в восточной части дельты происходит обеднение вод этими соединениями в среднем на 53 %.

За период многоводных лет резко возросли концентрации растворенных и взвешенных форм органического фосфора и общего азота в вершине дельты (г. Астрахань). Такое резкое увеличение концентраций биогенных веществ определяется не только многоводностью лет, но и, по-видимому, обусловлено увеличением их поступления со зна-

Таблица 4.3

Антропогенная составляющая биогенного стока в различные периоды водности Волги (с. Верхнее Лебяжье) [88]

Период, годы	$N_{орг}$			$N_{мин}$			$P_{орг}$			$P_{мин}$		
	Суммарный сток	Антропогенная составляющая		Суммарный сток	Антропогенная составляющая		Суммарный сток	Антропогенная составляющая		Суммарный сток	Антропогенная составляющая	
	тыс. т	тыс. т	%	тыс. т	тыс. т	%	тыс. т	тыс. т	%	тыс. т	тыс. т	%
1967—1969*	234	126	54	86	51	59	19,4	7,5	39	1,7	0,3	18
1971—1975	316	173	55	90	44	49	25,1	9,4	37	2,8	0,4	14
1978—1982	289	154	53	112	67	60	73,5	58,5	80	6,4	1,9	30
1978—1985	—	—	—	213	130	61	—	—	—	10,9	2,6	24

* Антропогенная составляющая была рассчитана по данным наблюдений в г. Астрахани.

Таблица 4.4

Трансформация биогенных веществ в авандельте Волги [127]

Район исследования	$P_{мин}$		$P_{вал}$	$N_{мин}$		$N_{орг}$	$N_{вал}$	Si	
	1981 г.	1982 г.	1981 г.	1981 г.	1982 г.	1981 г.	1981 г.	1981 г.	1982 г.
				Весна					
Вершина дельты	27	23	600	639	648	585	1225	2535	1300
(г. Астрахань)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Нижняя зона дельты	37	35	205	731	596	1102	1833	3764	2410
	136	152	34	114	92	188	150	148	185
Морской край авандельты	6	3	86	394	192	667	1061	747	700
	22	13	14	62	30	114	87	29	54
	—78	—87	—86	—38	—70	14	—13	—71	—46
				Лето					
Вершина дельты	31	25	261	649	523	1039	1688	2070	877
(г. Астрахань)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Нижняя зона дельты	15	24	260	439	556	1044	1482	1238	1410
	49	96	100	68	106	100	88	60	161
Морской край авандельты	3	10	142	270	120	734	1004	2091	1010
	10	40	54	42	23	71	59	101	115
	—90	—60	—46	—58	—77	—29	—41	1	15
				Осень					
Вершина дельты	16	—	212	582	—	918	1500	3300	—
(г. Астрахань)	100	—	100	100	—	100	100	100	—
Нижняя зона дельты	42	—	285	827	—	550	1377	2592	—
	260	—	134	142	—	60	92	79	—
Морской край авандельты	8	—	269	75	—	759	818	1544	—
	50	—	127	13	—	83	55	47	—
	—50	—	27	—87	—	—17	—45	—53	—

Примечание. 1-я строка — содержание в мкг/л, 2-я строка — то же в %, 3-я строка — разность между процентным содержанием биогенных веществ на морском крае авандельты и в вершине дельты.

чительных сельскохозяйственных территорий. С конца 70-х годов возросло поступление в вершину дельты не только органических, но и минеральных форм азота и фосфора. Некоторые исследователи объясняют это слабым регулированием волжского стока при повышенной повторяемости лет с высокой водностью. В многоводные годы биогенный сток сравнительно мало трансформировался в каскаде водохранилищ, как бы проходя транзитом.

Исследования трансформации биогенного стока в дельте Волги [89, 127] позволили выявить следующие закономерности: в результате совокупности разнонаправленных физических, химических и биологических процессов, протекающих в дельте и авандельте Волги, доминирования (в годовом аспекте) процессов, ведущих к обогащению вод биогенными элементами и органическим веществом, речные воды за время следования от верхнего створа вниз обогащаются органическим веществом и соединениями азота и фосфора, вследствие чего воды нижней зоны дельты богаче этими соединениями (в среднем на 10—20 % за год), чем воды верхнего створа. Однако в отдельные периоды (особенно в летнюю и осеннюю межень маловодных лет) превалируют аккумулятивные процессы, вследствие чего воды нижней зоны дельты в это время могут быть несколько беднее биогенными веществами по сравнению с водами верхнего створа.

По результатам исследований [127], в многоводные годы (1981, 1982) в нижней зоне дельты в весенний период отмечалось существенное увеличение минерального фосфора, минерального и общего азота, а также кремния по сравнению с их содержанием в вершине дельты. Аналогичная картина наблюдалась для минеральных форм азота и фосфора в нижней зоне дельты в осенний период (табл. 4.4). В работе [127] для этого периода была рассмотрена также трансформация биогенных веществ при прохождении волжского стока через дельту и определено их содержание в районе морского края авандельты. Оказалось, что около $^2/_3$ фосфора и кремнекислоты поступает в западную часть дельты в основном в соответствии с распределением жидкого стока. При этом основная часть данных биогенных веществ переносится в нижней зоне дельты через межканальные пространства посредством плоскостного стока.

По данным КаспНИРХа, в 1980 г. около $^2/_3$ общего азота поступало в авандельту Волги через западную часть дельты во все сезоны года, при этом максимальное поступление азота приходилось на период паводка (апрель—июнь). Значительное количество общего азота поступало в авандельту Волги также в зимний период вследствие усиления процессов разложения органического вещества (табл. 4.5). Уменьшение поступления азота на морской край дельты в летне-осенний период связано с потреблением азота фитопланктоном и водной растительностью. Пик поступления минерального азота на морской край дельты приходится на весну, когда за 3 мес проходит около 37 % его годового стока. Значительное количество минераль-

Таблица 4.5

Поступление общего азота в авандельту Волги в 1980 г. [по данным научно-технического отчета КаспНИРХа (1981)]

Район дельты	Зима (декабрь — март)		Весна (апрель — июнь)		Лето (июль — октябрь)		Осень (октябрь — ноябрь)	
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
Вершина	18,8	100	44,7	100	15,9	100	15,6	100
Западная часть	14,7	69	26,8	63	11,2	61	9,2	67
Восточная часть	6,6	31	15,6	37	7,2	39	4,5	33
Авандельта	21,3	113	42,4	95	18,4	116	13,8	87

ного азота поступает в авандельту зимой (38 %). Летом вследствие потребления минерального азота в дельте его содержание на морском крае дельты по сравнению с его величиной в вершине дельты снижается. Второй пик обогащения авандельты минеральным азотом приходится на осень.

После прохождения волжской дельты биогенный сток вновь подвергается значительной трансформации. Обогащение речных вод в дельте биогенными соединениями не приводит к увеличению биогенного стока в мелководную зону Северного Каспия, поскольку значительная их часть аккумулируется на внешнем крае авандельты и моря достигает меньшее количество по сравнению с проходящим через верхний замыкающий створ. Воздействие экосистемы волжской авандельты на трансформацию биогенного стока очень велико. Мелководная авандельта, заросшая на 75 % высшей водной растительностью, в летнее время активно потребляет биогенные вещества. В авандельте процессы образования органического вещества сопровождаются одновременно и его деструкцией.

Осредненные концентрации биогенных веществ, по результатам наблюдений вдоль морского края авандельты в 1981—1982 гг. также резко уменьшаются практически по всем формам (см. табл. 4.4) по сравнению с концентрациями в вершине и нижней зоне дельты.

Итак, волжская вода, обогащенная биогенными веществами при прохождении через дельту и авандельту, претерпевает качественную и количественную трансформацию, особенно минеральных форм биогенных веществ. В многолетнем плане, по сравнению с периодом до зарегулирования, концентрации минерального фосфора снизились (за исключением восточной части в июне); уменьшился и вынос аммонийного азота. В то же время отмечается в Северном Каспии тенденция увеличения содержания кремнекислоты, особенно в центральной и восточной частях, за счет обогащения волжских вод в авандельте в связи с отмиранием диатомовых и харовых водорослей (табл. 4.6).

Таким образом, в современных условиях система водохранилищ и авандельта Волги выполняют роль «биофильтра», аккумулирующего биогенные элементы и препятствующего развитию процессов эвтрофирования Северного Каспия.

Если содержание основных минеральных форм биогенных веществ у морского края дельты в период квазистационарного состояния уровня моря (1961—1970 гг.) принять за 100 %, то период понижения уровня моря (1970—1977 гг.) характеризуется снижением концентраций фосфатов (в основном в августе) и аммонийного азота по всему морскому краю авандельты. Содержание кремния, как правило, в этот период повышается, за исключением восточной части дельты. В период повышения уровня моря (1980—1983 гг.) отмечается резкое снижение содержания минерального фосфора, за исключением восточной части дельты, и весьма значительное повышение концентраций аммо-

Таблица 4.6

Изменение концентраций биогенных веществ вдоль морского края авандельты в различные периоды водности Волги [по данным научно-технического отчета КаспНИРХа (1985)]

Период водности Волги, годы	Западная часть				Центральная часть				Восточная часть				Западная часть		Центральная часть		Восточная часть	
	Июнь		Август		Июнь		Август		Июнь		Август		Июнь	Август	Июнь	Август	Июнь	Август
	мкг/л	%	мкг/л	%	мкг/л	%	мкг/л	%	мкг/л	%	мкг/л	%	%					
Фосфаты																		
1955—1959	9,5	100	6,6	100	7,3	100	6,4	100	4,2	100	5,2	100	—	—	—	—	—	—
1961—1970	7,6	80	6,7	101	6,8	93	6,9	108	5,4	128	3,8	123	100	100	100	100	100	100
1971—1977	7,1	75	3,7	56	7,8	107	4,2	65	5,2	124	3,1	60	93	55	115	61	96	82
1980—1983	5,8	61	5,3	80	6,0	82	3,4	53	5,8	138	3,7	71	76	79	88	49	107	97
Кремнекислота																		
1955—1959	2468	100	1388	100	1936	100	1254	100	1430	100	1740	100	—	—	—	—	—	—
1961—1970	2012	82	1803	110	1908	92	2082	166	1440	101	2433	140	100	100	100	100	100	100
1971—1977	1966	80	2154	155	2369	122	2120	169	1262	88	2105	121	97	119	124	102	88	86
1980—1983	2405	97	1613	116	2769	143	1724	137	1888	132	1928	111	120	89	145	83	131	79
Азот аммонийный																		
1955—1959	148	100	100	100	140	100	95	100	123	100	89	100	—	—	—	—	—	—
1961—1970	87	69	84	84	78	56	86	90	83	67	64	72	100	100	100	100	100	100
1971—1977	59	40	80	80	67	48	55	58	76	62	55	62	68	95	86	64	92	86
1980—1983	146	99	127	127	163	116	110	116	105	85	53	60	168	151	209	128	126	83

нийного азота вдоль морского края авандельты. В этот период также отмечается повсеместное увеличение содержания кремния в июне и его снижение в августе вдоль всего морского края авандельты (см. табл. 4.6).

Таким образом, благодаря целенаправленным исследованиям стока в дельте Волги М. П. Максимовой с соавторами установлено следующее: дельта Волги играет значительную роль в трансформации биогенного и органического материкового стока в Северный Каспий. Речные воды за время следования от верхнего створа вниз обогащаются органическим веществом и соединениями азота и фосфора, вследствие чего воды нижней зоны дельты богаче этими соединениями, чем воды верхнего створа. Однако в период маловодных лет в летнюю и осеннюю межень превалируют процессы аккумуляции, вследствие чего воды нижней зоны дельты оказываются беднее биогенными веществами по сравнению с водами верхнего створа. Обогащение речных вод в дельте биогенными соединениями не приводит к увеличению биогенного стока в Северный Каспий, поскольку значительная часть биогенных соединений аккумулируется на внешнем крае мелководной зоны устьевого взморья. В паводковый период (дающий около половины годового биогенного стока) только около 60 % от количества биогенных элементов, поступившего в верховье дельты, достигает мелководья Северного Каспия, аккумулируются в основном взвешенные соединения (≈60 %) и в меньшей степени — растворенные (≈30 %). В этот период активно накапливаются биогенные элементы и органическое вещество в грунтах устьевого взморья. Воды мелководья Северного Каспия вследствие этого беднее органическим веществом и биогенными элементами по сравнению с водами нижней зоны дельты.

В результате трансформации в дельте изменяется и качественный состав биогенного и органического материкового стока. По биохимическому составу органические вещества в водах авандельты несколько богаче белками вод верхней зоны за счет автохтонного органического вещества планктона. Интенсивный фотосинтез в нижней зоне способствует биологическому связыванию минеральных растворенных форм биогенных элементов и их трансформации в органические формы, тем самым снижая питательную ценность для фитопланктона вод материкового стока, поступающих в Северный Каспий. При некоторой сезонной и зональной изменчивости в водах дельты отношение легкодоступных для фитопланктона минеральных растворенных форм азота и фосфора $N^{раст}_{мин}$: $P^{раст}_{мин}$ ниже, чем нормальное среднее стехеометрическое соотношение $N:P$ фитопланктона (около 7), что при обычно достаточной обеспеченности фитопланктона питательными солями свидетельствует об относительно пониженном содержании минеральных растворенных соединений азота. Средние для дельты значения соотношения $N:P$ летом составляют около 4—5.

Естественное маловодье 70-х годов, совпавшее по времени с резко возросшим хозяйственным изъятием стока рек, привело к образованию отмелой, сильно заросшей многолетней жесткой растительностью обширной буферной зоны устьевого взморья. Эта буферная зона оказывает мощное отрицательное влияние как биологический фильтр и преобразователь стока Волги.

В 60-е годы только 20 % этой зоны было занято растительностью, к концу 70-х годов водная растительность в период вегетации занимала уже около 85 % всей площади зоны. Резко возросла трансформация биогенного стока волжских вод в отмелой зоне. Здесь аккумулируется 40 % взвешенных и 30 % растворенных биогенных веществ. По оценке КаспНИРХа, эти процессы в дельте и отмелой зоне привели к снижению первичной продукции органического вещества в водах Северного Каспия в 1971—1976 гг. в среднем на 50 %.

Резкое увеличение поступления в Северный Каспий биогенных веществ в течение 1978—1983 гг. определяется многоводностью речного стока, однако, несомненно, это обусловлено и антропогенным воздействием. Для повышения урожайности во многих хозяйствах Астраханской области широко используются минеральные удобрения, и ежегодно расход азотных и фосфорных удобрений значительно возрастает.

В водах Северного Каспия минеральный азот находится в форме ионов аммония, нитритов и нитратов. В период последнего 20-летия концентрации минеральных форм соединений азота в водах Северного Каспия возросли. Особенно следует отметить значительное содержание в водах Северного Каспия аммонийного азота (в различные сезоны оно колеблется от 50 до 100 мкг/л), который в определенной мере может рассматриваться и как показатель качества вод в Северном Каспии. При этом следует отметить, что содержание аммонийного азота в водах волжского стока значительно возросло в последнее десятилетие.

Итак, с конца 70-х годов возросло поступление в вершину дельты не только органических, но и минеральных форм азота и фосфора. В этот период, характеризующийся повышенной водностью, сток биогенных веществ сравнительно мало трансформировался в каскаде водохранилищ.

Известно, что первичная продуктивность водоемов, в том числе и Каспийского моря, определяется наличием биогенных элементов, характером их соединений и скоростями оборачиваемости. Первичная продуктивность является основой всех последующих звеньев трофической цепи в водоеме, в том числе и рыбопродуктивности.

Была установлена положительная корреляционная связь биогенного стока Волги (по верхнему замыкающему створу) с биопродуктивностью Северного Каспия.

Так, коэффициент корреляции между сбросом фосфатов в половодье и первичной продукцией Северного Каспия (в июне) в течение периода 1940—1962 гг. равен $0{,}83 \pm 0{,}05$ [34].

Изучение трансформации стока соединений биогенных веществ в дельте и на устьевом взморье имеет большое значение для выяснения определенных закономерностей формирования биологической продуктивности в условиях возрастающего влияния антропогенных факторов.

4.1.2. Роль дельты и авандельты в трансформации соединений азота материкового стока

Дельта Волги — это уникальное природное образование общей площадью около 40 тыс. км², включающее в себя водные объекты, относящиеся к двум разным типам: речным и озерным. К первым относятся водотоки — каналы, реки, протоки, ерики; ко вторым — водоемы — култуки, ильмени, старицы, а также временные сезонные водоемы — полои. Морфометрические, гидрологические и гидрохимические особенности водных систем, разнотипность растительности и донных отложений определяют процессы трансформации в водных системах западной и восточной частей дельты. Меньшая обводненность восточной части дельты, ее большая зарастаемость определяют снижение скоростей течения, разлив и обмеление протоков, фильтрацию воды через заросли высшей водной растительности; все это вызывает интенсивное осаждение органического вещества, изменение его состава.

Азот в природных водах находится в виде различных соединений — взвешенных и растворенных, минеральных и органических, а также в молекулярном виде. Специфика дельты обусловливает повышенные концентрации взвешенных соединений азота относительно валового. Для устьевого взморья наиболее характерны растворенные соединения азота, органические и минеральные. Изменения концентраций различных форм соединений азота в дельте и на устьевом взморье зависят главным образом от водного стока и концентрации форм соединений азота в нем. В балансе азота Каспийского моря речной сток является определяющим, он поставляет порядка 80 % связанного азота. В период естественного стока основная масса биогенных элементов поступала в Каспий в период половодья. Зарегулирование Волги вызвало перераспределение водного стока, выразившееся в относительном увеличении его в периоды осенне-летней межени, зимой, и в уменьшении — в половодье, что обусловило соответственно перераспределение по сезонам и стока соединений азота.

Кроме речного стока, связанный азот поступает в дельту и на устьевое взморье с атмосферными осадками, играющими важную роль в миграции азота [25]. По данным исследований, в собственно дельту Волги поступает от 360 до 660 т связанного азота в год, что составляет порядка 0,08—0,14 % от среднего многолетнего стока связанного азота в верхнем замыкающем створе [110]. По данным М. П. Максимовой и др. [9, 88], количество связанного азота, поступающего с атмосферными осадками, составляет 1,5 % от волжского стока азота, что в 5—10 раз выше, чем по данным Л. Л. Россолимо.

Немаловажную роль в поступлении азота в водоем играют процессы фиксации его из атмосферы. Фиксировать молекулярный азот способно большое число видов обычных бактерий. В. К. Горбунов [40] приводит список сине-зеленых водорослей — возможных фиксаторов атмосферного азота в водоемах дельты Волги. Результаты его исследования свидетельствуют о том, что процессы азотфиксации в нижних зонах дельты Волги и на устьевом взморье могут играть значительную роль в азотном балансе.

Необходимо также учитывать и такой источник поступления соединений азота в водоем, как выделение их донными отложениями. Между донными отложениями, накапливающими минеральные и органические соединения азота, и водой осуществляется обмен, без количественной оценки которого невозможно достаточно полное изучение процессов преобразования соединений азота, а следовательно, и составление баланса азота. Для отмелого взморья в условиях мелководья, низких скоростей течения, тесного продолжительного контакта воды и грунта все вышеизложенное имеет существенное значение.

Исследованиями установлено, что при обмене биогенными веществами в системе вода—грунт происходит переход в воду биогенных веществ вследствие их регенерации из седиментированного органического вещества; переход биогенных элементов из грунтовых растворов и поверхностных отложений в результате диффузии или процессов разрушения комплексов, адсорбировавших вещества; миграция биогенных веществ из воды в грунт в результате химических, физических, биологических процессов. Имеются отдельные работы по содержанию валового азота в донных отложениях [27, 41], однако данных для оценки относительной значимости этих процессов в Каспийском море и в дельте Волги в настоящее время явно недостаточно.

Исследования трансформации стока азота в дельте Волги и на устьевом взморье (рис. 4.1) производились коллективом авторов ВНИРО под руководством М. П. Максимовой в течение трех лет

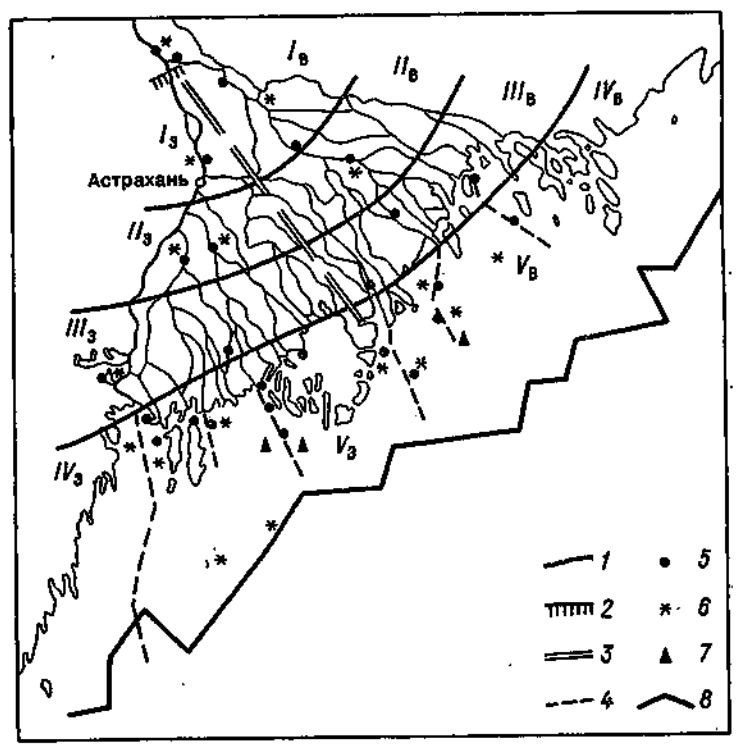


Рис. 4.1. Схема зон дельты и расположения станций исследования.

I — границы зон дельты (*I* — верхняя, *II* — средняя, *III* — нижняя, *IV* — приморская, *V* — устьевое взморье; индексы «в», «з» соответствуют восточной и западной частям дельты); *2* — вододелитель; *3* — дамбы вододелителя; *4* — каналы; *5—7* — станции отбора проб (зимние, вертолетные и экспериментальные исследования соответственно); *8* — маршрут рейсов в мелководье Северного Каспия.

(1977—1979 гг.), весьма отличающихся условиями водности и характеристиками половодья рек (1977 г. — маловодный, 1978 г. — средневодный, 1979 г. — многоводный). Особенно детальные исследования проводились в 1979 г. (табл. 4.7).

С целью изучения обмена соединениями азота в системе вода ⇌ грунт отмелого взморья были поставлены экспериментальные исследования в районе Кировского банка в западной части дельты Волги (1978 г.) и Карайского банка в восточной ее части (1979 г.). При изучении процессов обмена изолировали участок дна водоема посредством цилиндров из органического стекла.

В таком эксперименте остается ненарушенной поверхность ила, а также существует возможность параллельного изучения химического режима придонного слоя как в естественных условиях, так и внутри прибора, в котором исключается влияние ветрового перемешивания воды, затушевывающего картину химического обмена между дном и водой.

Количественную и качественную трансформацию в дельте и на устьевом взморье претерпевают все соединения азота: органические, минеральные, растворенные и взвешенные. Трансформацию соединений азота определяют физические, химические, биологические процессы, а также хозяйственная деятельность в дельте Волги. Значимость факторов, определяющих трансформацию соединений азота для восточной и западной частей дельты, различных ее зон и сезонов года, а также для разных по водности стока лет, неодинакова. Значение речных и ландшафтных факторов велико в периоды половодья и осенних попусков из водохранилищ. Влияние хозяйственной деятельности особенно сказывается в весенне-осенний период и связано с сельскохозяйственным производством, а также работой вододелителя. Трансформирующая роль факторов, действующих на устьевом взморье, максимально проявляется в весенне-летний период, когда речные воды при своем движении к морю проходят активно действующий «биофильтр», способствующий переводу значительной части минеральных соединений азота в органические. Для выяснения закономерностей трансформации стока соединений азота необходимо учитывать действие совокупности вышеуказанных факторов.

Известно, что параметром, определяющим степень трансформации материкового стока соединений азота в дельте в годовом аспекте, является водный сток. В связи с этим был рассмотрен характер трансформации соединений азота в годы экстремальной водности (маловодный и многоводный), а также в средний по водности год.

Трансформацию стока соединений азота в маловодный год (1977) определяли следующие факторы.

В маловодный год водный сток концентрируется в западных рукавах дельты Волги, Бахтемир — Главный банк, Кизань — Кировский банк. Вследствие маловодности обводнения Волго-Ахтубинской поймы не происходит, незначительно также влияние на сток соединений азота полоев вследствие короткого периода их существования и немногочисленности. Водный сток по каналам-рыбоходам поступает в мелководье Северного Каспия. Даже в половодье (короткое и маловодное) нижняя култучная зона не промывается.

В верхний замыкающий створ поступают воды, в которых содержание валового азота варьирует по сезонам от 800 ± 70 до (1185 ± 90) мкг/л.

В целом для маловодного года характерно возрастание концентрации валового азота при движении от верхнего замыкающего створа к отмелому взморью в предполоводье, половодье. В летнее время и осеннюю межень количество валового азота уменьшается в нижних зонах по сравнению с верхним замыкающим створом.

Основной формой азота в водах дельты и отмелого взморья в маловодный год являются органические соединения, преобладающие во все сезоны года над минеральными. Растворенные органические соединения азота превалируют над взвешенными, составляя в зонах дельты до 80 % от валового.

Взвешенные органические соединения азота составляют 3—35 % от валового в среднем для дельты.

Минеральные растворенные соединения азота в годовом аспекте имеют подчиненное значение. Доля их варьирует в зонах дельты от 5 до 32 % от валового. Количество минеральных взвешенных соединений изменяется в несколько меньших пределах: 1—20 % от валового.

При поступлении полых вод с нижних зон дельты в мелководье Северного Каспия в маловодный год происходит значительное уменьшение взвешенных соединений азота. Натурные наблюдения показали, что количество органических взвешенных соединений уменьшается вдвое от (340 ± 70) мкг/л, а содержание минеральных взвешенных соединений и, в частности, аммонийного азота уменьшается в 7 раз от 140 мкг/л. Это свидетельствует о существенной аккумулирующей роли устьевого взморья в отношении взвешенных соединений азота, определяющейся как степенью фильтрации вод многочисленными зарослями растительности, так и процессами смешения речных и морских вод.

Трансформацию материкового стока соединений азота при прохождении дельты и устьевого взморья в средний по водности год (1978) определяет тот же комплекс факторов, о которых детально говорилось выше. Однако в годы, разнотипные по водности, поскольку водность является определяющим фактором, имеются характерные различия в преобразовании соединений азота волжского стока.

Значительное возрастание водного стока, регулируемого попусками из верхних водохранилищ, а следовательно, и повышение уровней воды, увеличение площадей затопления наблюдаются в средневодном году в период, предшествующий половодью, и в осеннюю межень. Важной особенностью 1978 г. явилось также начало работы вододелителя, распределяющего водный сток между восточной и западной частями дельты в период половодья.

В условиях средневодного 1978 г. отличительные особенности трансформации волжского стока соединений азота в дельте выразились в следующем.

При различии годовых водных стоков сток в половодье средневодного года (88 км^3) незначительно превышает таковой маловодного 1977 г. (66,7 км^3), однако интенсивное наращивание расходов воды (с середины апреля) привело к быстрому наступлению пика половодья (за 23 дня).

Таблица 4.7

Трансформация волжского стока соединений азота (в числителе — концентрация в мг/м³, в знаменателе — % от валового) в различные периоды

Зона дельты	Количество проб	$N_{вал}$	Растворенный азот					Взвешенный азот				
			$N_{орг}$	$\Sigma N_{мин}$	NH_4	NO_2	NO_3	$N_{орг}$	$\Sigma N_{мин}$	NH_4	NO_2	NO_3
Зимний подледный период (февраль—март 1979 г.), $n \geqslant 4$, $P > 0{,}95$												
Западная часть дельты												
1	4	1258,0±27 / 100	84,9±33 / 6,7	979,3±97 / 77,4	304,6±78 / 24,0	0,0	686,8±7,5 / 53,2	50,6±5,4 / 3,9	143,6±17,8 / 11,3	132,9 / 10,4	0,0	35,1 / 0,8
2	8	1952,7±92,3 / 100	104,0±128,0 / 53,3	697,4±10 / 35,6	158,3±24,5 / 8,0	0,0	539,0±16,4 / 27,5	59,9±27,6 / 3,0	155,4±34,0 / 7,9	111,7 / 5,6	0,0	42,9 / 2,1
3	8	1427,9±294 / 100	251,6±60 / 17,6	771,1±62,9 / 53,9	212,5±14,7 / 14,8	0,0	558,0±48,2 / 39,0	165,0±85 / 11,5	240,3±39,4 / 16,8	198,5 / 13,8	0,0	41,4 / 2,8
4	8	1565,0±168 / 100	755,1±122 / 48,4	425,3±36 / 27,2	218,3±8,3 / 13,9	Сл.	207,1±44,0 / 13,2	24,5±6,5 / 1,5	355,6±13,0 / 22,7	209,2 / 13,3	Сл.	146,3 / 9,3
5	6	1718,7±29 / 100	293,4±19 / 17,0	718,5±9,0 / 41,6	200±0,0 / 11,6	0,0	518,5±18 / 30,0	497,4±15 / 28,8	209,5±24 / 12,1	192,5 / 11,1	Сл.	17,0 / 0,9
Восточная часть дельты												
1	4	1258,4±27 / 100	84,9±33 / 6,7	979,3±97 / 77,4	304,6±78 / 24,0	0,0	686,8±7,5 / 53,2	50,7±5,4 / 3,9	143,6±17,8 / 11,3	132,9 / 10,4	0,0	35,1 / 0,8
2	6	1636,8±209 / 100	816,3±151 / 50,1	582,3±30,9 / 34,9	131,2±7,6 / 7,8	0,0	451,0±16 / 27,0	50,4±23,0 / 2,8	191,9±12,6 / 11,4	134,4 / 2,7	0,0	57,7 / 3,4
3	6	1476,4±57 / 100	463,3±37 / 31,4	771,0±66,4 / 51,6	340,8±53,4 / 26,1	Сл.	380,2±12,9 / 25,4	118,7±40,2 / 7,9	123,5±42,3 / 8,2	46,7 / 3,0	Сл.	76,7 / 5,0
4	6	1366,1±58,8 / 100	240,7±93,7 / 17,6	786,4±55,3 / 57,3	347,1±50,2 / 25,3	Сл.	435,4±83 / 31,7	242,0±81,7 / 17,6	96,9±62,3 / 7,0	65,8 / 4,7	Сл.	34,4 / 2,4
5	6	1596,2±80 / 100	707,5±42 / 44,2	327,0±2,0 / 20,2	134,0±3,0 / 8,3	0,0	193,0±5,0 / 11,9	497,1±26 / 30,8	64,6±5,0 / 3,9	55,7 / 3,4	0,0	8,9 / 0,6
Половодье (июнь 1979 г.), $n \geqslant 3$, $P > 0{,}95$												
Западная часть дельты												
1	3	2365,5±136,8 / 100	1354,7±110,8 / 57,3	367,7±58,9 / 15,5	56,5±16,0 / 2,4	114,5±23,8 / 4,8	196,7±49,5 / 8,3	642,7±120 / 27,2	67,5±20,5 / 2,8	19,7 / 0,8	51,5 / 2,2	8,1 / 0,3
2	8	2112,4±126,8 / 100	1313,6±126,0 / 62,2	268,9±177 / 12,7	28,9±3,2 / 1,4	115,9±4,8 / 5,5	124,1±12,4 / 5,8	483,0±78,3 / 22,8	170,6±35,0 / 8,0	40,3 / 1,9	75,0 / 3,6	101,5 / 4,8
3	6	1030,6±96,0 / 100	515,6±51,7 / 50,0	309,0±43,8 / 29,9	16,3±2,3 / 1,6	61,1±12,4 / 5,9	231,3±33,4 / 22,4	95,6±55,4 / 9,3	106,0±48,2 / 10,0	43,3 / 4,2	33,6 / 3,3	22 / 2,1
4	6	1584±191,7 / 100	809,6±31,5 / 51,1	343,0±13,5 / 21,6	16,5±2,4 / 1,0	66,7±17,2 / 4,2	260±10,0 / 16,4	293,3±55,9 / 18,5	124,0±30,5 / 7,8	57,3 / 3,6	28,6 / 1,8	25,6 / 1,6
5	4	2415,2±100,3 / 100	1856,6±59,0 / 76,9	345,7±59,2 / 14,3	14,8±3,5 / 0,6	35,4±7,6 / 4,5	314,7±57,8 / 13,0	101,2±32,5 / 4,2	61,8±16,3 / 2,6	32,4 / 1,3	6,6 / 0,3	0,0 / 0,0

Зона дельты	Количество проб	$N_{вал}$	Растворенный азот					Взвешенный азот				
			$N_{орг}$	$\Sigma N_{мин}$	NH_4	NO_2	NO_3	$N_{орг}$	$\Sigma N_{мин}$	NH_4	NO_2	NO_3
Восточная часть дельты												
1	3	2365,5±136,8 / 100	1354,7±110,8 / 57,3	367,7±58,9 / 15,5	56,5±16,0 / 2,4	114,5±23,8 / 4,8	196,7±49,5 / 8,3	642,7±120 / 27,2	67,5±20,5 / 2,8	19,7 / 0,8	51,5 / 2,2	8,1 / 0,3
2	4	1803,5±164,6 / 100	830,0±24,0 / 46,0	542,7±8,9 / 30,0	148,4±17,6 / 8,2	280,5±12,3 / 15,5	113,6±3,5 / 6,3	259,7±100 / 14,4	192,5±92 / 10,7	99,2 / 5,5	50,3 / 2,8	42,6 / 2,4
3	6	1415,3±147,7 / 100	768 / 54,2	366 / 25,8	93 / 6,5	150 / 10,5	123,1 / 8,7	97 / 6,8	183 / 12,9	85 / 6,0	57 / 4,0	40 / 2,8
4	3	1480,0 / 100	981,0 / 66,2	302 / 20,4	103 / 6,9	150 / 10,1	49 / 3,3	89 / 6,0	108 / 7,3	80 / 5,4	20 / 1,3	8 / 0,5
5	4	1650,5±149,3 / 100	1023,7±138,5 / 62	339,7±31,1 / 20,5	105,2±3,4 / 6,3	Сл.	174,5±25,9 / 10,5	160,0±48,0 / 9,7	128,5±34,0 / 7,8	70 / 4,2	Сл.	18,2 / 1,1
Летняя межень (июль—август 1979 г.), $n = 3$, $P > 0{,}95$												
Западная часть дельты												
1	3	2588,2±606 / 100	456,6±65,4 / 17,8	801,5±14,9 / 30,9	384,8±22,3 / 14,8	65,6±14,4 / 2,5	352,7±31,8 / 13,6	1316,6±533 / 50,8				
2	8	2562,8±55,4 / 100	1648,0±217 / 64,3	631,0±63,3 / 24,6	345,1±12,8 / 13,5	12,1±1,9 / 0,5	273,7±49,9 / 10,7	455,5±254 / 17,8				
3	6	3323,0±321 / 100	1219,0±175 / 36,7	723,1±49,6 / 22,0	330,5±14,4 / 9,9	13,1±0,8 / 0,4	280,5±39,5 / 1,1	1631±352 / 49,0				
4	6	3487,0±23 / 100	1982,0±178 / 56,8	530,6±190 / 15,2	345,0±36 / 9,9	26,5±16 / 0,7	159±11 / 4,6	975±26,0 / 27,9				
5	6	3520,0±642 / 100	1733,0±273 / 49,2	558,0±60 / 15,8	255,2±8,1 / 7,2	10,5±0,7 / 1,0	288,2±52,2 / 8,2	1229,0±694 / 35				
Восточная часть дельты												
I	3	2588,2±606 / 100	456,6±65,4 / 17,8	801,5±14,9 / 30,9	384,8±22,3 / 14,8	65,6±14,4 / 2,5	352,7±31,8 / 13,6	1316,6±533 / 50,8				
2	6	2465,0±414 / 100	1638±844 / 66,4	612±94 / 24,8	443±115 / 17,9	69±6,0 / 2,7	100±27 / 4,0	215±58 / 8,7				
3	4	2691,8±322 / 100	1673,0±240 / 62,1	568,5±39 / 21,1	277,0±14,6 / 10,3	23,1±5,5 / 0,8	268±53 / 9,9	450,8±358 / 16,7				
4	4	2838,0±941 / 100	1727 / 56,8	499,0±34,0 / 15,2	280,5±18,7 / 9,9	17,2 / 0,7	159,2±35 / 4,6	610 / 27,9				
5	4	2025,0±270 / 100	1178,0±283 / 49,2	526,0±35,0 / 15,8	272,1±33 / 7,2	17,3±2,1 / 1,0	236,5±53 / 8,2	321 / 15,8				

Примечание. «Сл.» — следы; P — доверительный интервал; n — количество проб.

Распределение водного стока в 1978 г. отличалось от такового в маловодный год. Высокие уровни в зимние месяцы средневодного года превышали весенние уровни маловодного года. Характерны резкие колебания уровней воды в дельте, связанные с попусками из верхних водохранилищ в весеннее время и осеннюю межень. В то же время относительное распределение водного стока по системам и рукавам дельты мало отличается от такового в маловодном году. Кратковременная работа вододелителя в период половодья хотя и оказала влияние на распределение водного стока между восточной и западной частью дельты, однако не вызвала значимых изменений условий трансформации соединений азота.

Исследования в подледный период показали, что при гидрохимическом режиме, сформировавшемся к концу гидрологической зимы, трансформирующая роль дельты минимальна. Речные воды транзитом проходят русловые зоны почти без изменений, лишь в водах нижних зон (култучной, отмелом взморье) в конце гидрологической зимы отмечается некоторое возрастание органических соединений азота за счет слабой фотосинтетической деятельности подо льдом.

Существенное влияние на сток соединений азота на спаде половодья оказал сброс вод полойных систем (заполнившихся в предполоводье и половодье за счет резких колебаний уровней воды), содержащих большое количество органических и минеральных соединений азота вследствие длительного контакта с почвогрунтами, разложения затопленной полой водой луговой растительности.

В целом для средневодного года отмечено некоторое уменьшение абсолютного количества валового азота и его соединений по сравнению с маловодным годом. В волжских водах, поступающих в верхний замыкающий створ, концентрации валового азота колебались по сезонам от 615 ± 80 до (1190 ± 6) мкг/л (максимум в половодье, минимум на спаде половодья).

Таким образом, учитывая описанные особенности, трансформирующее значение дельты в средневодный год выразилось в следующем.

При движении водных масс от верхнего замыкающего створа к устьевому взморью количество валового азота возрастает в половодье за счет резких колебаний уровней воды в результате смыва соединений азота с затапливаемых территорий, на спаде половодья за счет сброса в водотоки вод полоев, богатых соединениями азота. В зимний подледный период и в летнюю межень количество валового азота и форм его соединений при движении по дельте мало меняется, а в осеннюю межень на отмелом взморье отмечено даже уменьшение валового азота по сравнению с количеством его в вершине дельты, что связано с резким похолоданием, отмиранием и оседанием фитопланктона и его остатков, сорбирующих и растворенные органические соединения азота.

В отличие от маловодного года, в средневодный год органические соединения азота являются основной формой в дельте Волги только в предполоводье, половодье, на спаде его и в летнюю межень, составляя 58—85 % от валового. В зимний подледный период и в осеннюю межень количество органических соединений и минеральных соединений азота примерно равно. Во все сезоны средневодного года растворенные соединения азота преобладают над взвешенными, составляя около 53—88 % от валового.

Максимальное количество аммонийного азота приходится на половодье в култучной зоне благодаря вымыванию аммиака — продукта разложения органических остатков. Доля нитратного растворенного азота относительно аммонийного повышается в периоды, когда синтез органического вещества минимален: в предполоводье, зимой, а в осеннюю межень нитратный азот преобладает над аммонийным. Промежуточная форма — нитритный азот — находится в растворенном виде от следовых количеств до (45 ± 15) мкг/л.

При движении по дельте водные массы обогащаются органическим растворенным азотом в зимний период и на спаде половодья, а минеральным растворенным — в половодье и в осеннюю межень.

В остальные сезоны количество органических и минеральных соединений азота в водах дельты при движении от верхнего замыкающего створа к устьевому взморью меняется мало.

Взвешенные соединения азота в условиях средневодного года, как и в маловодный год, имеют подчиненное значение, лишь в половодье, достигая 40 % от валового в култучной зоне за счет взмучивания или со дна и вымывания минеральных соединений азота из култуков.

В предполоводье при движении по дельте воды обогащаются взвешенными соединениями за счет минеральных форм вследствие смыва с площади водосбора дельты при колебаниях уровней воды, определяемых попусками из водохранилищ. В половодье возрастание количества взвешенного азота в нижних зонах относительно верховьев дельты происходит преимущественно за счет органических взвешенных соединений вследствие вымывания их из заполняющихся полой водой многочисленных стариц, ильменей, воды которых содержат значительное количество взвешенной органики. На спаде половодья увеличение количества взвешенных соединений азота происходит за счет органических форм вследствие сброса вод полойных систем. В зимний период и осенью отмечено уменьшение концентраций взвешенного азота по мере следования вод от верхнего замыкающего створа к устьевому взморью.

По условиям водности 1978-79 гидрологический год является уникальным. Повышение уровней в дельте Волги началось с осени и достигло критических значений в половодье.

Гидрологические условия 1979 г. оказали решающее влияние на процессы трансформации стока соединений азота в дельте.

Особенности в преобразовании волжского стока соединений азота в дельте и на отмелом взморье в уникально многоводном 1979 г. выразились в следующем.

Годовой водный сток в верхнем замыкающем створе составил 304 км^3; сток в половодье — 138 км^3. В половодье многоводного года наблюдалось повышение до «критических» уровней воды в дельте. Это способствовало обводнению Волго-Ахтубинекой поймы, смыву в водотоки дельты значительных количеств соединений азота. В условиях максимального водного стока наибольшее значение из совокупности факторов, определяющих трансформацию соединений азота в дельте, приоб-

ретают физические процессы: повышение скоростей течения, увеличение затопляемых полой водой площадей дельты, вымывание соединений азота из почвогрунтов. Они обусловили количественные изменения стока соединений азота в дельте, которые носили ступенчатый характер. Высокие концентрации валового азота и всех форм его соединений в верхнем замыкающем створе за счет вымывания соединений азота из Волго-Ахтубинской поймы несколько снижались в нижних зонах дельты вследствие растекания вод и уменьшения скоростей течения. За счет фильтрации вод окаймлениями култуков и бровками надводной растительности часть поступающих с водами дельты соединений азота, особенно взвешенных форм, оседает. Одновременно происходит вымывание органических и минеральных соединений азота — продуктов минерализации органических веществ и разложения остатков высшей водной растительности в култуках, нижней зоне, на устьевом взморье.

Роль русел в поставке соединений азота в Северный Каспий в период возрастания уровней воды в нижних зонах уменьшается. В многоводное половодье основная масса водного стока и соединений азота поступает в мелководье Северного Каспия с водами забровочных пространств отмелого взморья, со стоковым течением.

Вследствие долгого стояния высоких уровней воды дельты в период половодья многоводного года прогревались медленнее. Замедлен по этой причине и рост интенсивности продукционных процессов в водоемах дельты. Активность «биофильтра» в нижних зонах повышается в конце спада половодья и в летнюю межень.

Степень влияния вод полойных систем на количество соединений азота в водотоках и водоемах дельты в период спада половодья выше, чем в средневодный год, что объясняется более продолжительным контактом вод с почвогрунтами. Причем, если в средневодный год основную роль играли полои и полойные системы в нижних зонах, в многоводном году отмечено влияние полоев во всех зонах как западной, так и восточной части дельты.

Исследования в конце зимнего подледного периода многоводного года совпали по времени с интенсивным таянием снега и льда, что оказало решающее влияние на увеличение количества соединений азота в водах дельты в сравнении с этим же периодом средневодного года, когда в дельте были морозы и таяния снега не происходило. В этот период отмечено преобладание минеральных форм соединений азота во всех зонах дельты Волги. Конец гидрологической зимы и в многоводный, и в средневодный год характеризуется наибольшей вялостью протекания продукционно-деструкционных процессов.

В целом для многоводного года отмечено резкое возрастание абсолютных концентраций валового азота и соответственно форм его соединений в воде по сравнению с маловодным и средневодным годами.

Таким образом, особенности уникально многоводного года определили характер трансформации стока соединений азота в дельте и на устьевом взморье.

Поступление валового азота в верхний замыкающий створ в годовом аспекте составило от 1260 ± 30 до (2600 ± 600) мг/м^3 (минимум — зимой, максимум — на спаде половодья за счет сброса вод затопленной в половодье Волго-Ахтубинской поймы, полоев верхней зоны).

При движении вод от верхнего замыкающего створа к отмелому взморью количество валового азота возрастает в конце зимнего подледного периода за счет поступления в водотоки и водоемы дельты соединений азота вследствие таяния снега и льда.

В период уникально многоводного половодья култучная зона, нижняя русловая зона и отмелое взморье представляли сплошное водное зеркало. В районах нижней зоны дельты отмечено некоторое уменьшение концентрации валового азота преимущественно за счет взвешенных его форм вследствие фильтрации полых вод многочисленными зарослями надводной жесткой растительности, а также за счет гашения скоростей течения и оседания взвешенных веществ, содержащих соединения азота. На спаде половодья содержание валового азота в нижних зонах дельты возрастает относительно верховьев дельты за счет «сброса» полойных вод, богатых органическими соединениями азота.

Колебания уровней воды в осенне-зимнее время способствовали вымыванию из временных водоемов верхней и средней зоны дельты минеральных соединений азота, содержание которых в зимний период выше, чем органических. В весенне-летнее время преобладающими были органические соединения азота, составлявшие в зимний период порядка 75 % от валового, в половодье — 59—84 % от валового, на спаде половодья — до 68 % от валового.

Зимой и в половодье многоводного года так же, как и в предыдущие годы, растворенные соединения азота превалируют над взвешенными, составляя порядка 59—91 % от валового. В летнюю межень снижение уровней и несколько запоздалый в сравнении с предыдущим годом интенсивный прогрев вод способствовали интенсификации фотосинтетических процессов и в водах дельты увеличивалось количество органических взвешенных соединений азота. Концентрация суммарного взвешенного азота достигала порядка 51 % от валового в верхнем замыкающем створе, достаточно высоко его количество было в остальных зонах дельты.

Из минеральных растворенных соединений значительно возросла концентрация нитратного азота, превышающая содержание аммонийного азота в зимнее время и в половодье. На спаде половодья доли аммонийной и нитратной форм приблизительно равны.

Для взвешенных соединений характерно преобладание минеральных форм над органическими в подледный период. В половодье и в летнюю межень содержание органических взвешенных соединений азота выше, чем взвешенных минеральных. При движении от верхнего замыкающего створа к отмелому взморью количество взвешенных соединений увеличивается зимой, в половодье, и изменяется в соответствии с изменением содержания взвешенных веществ.

4.1.3. Роль взвешенных веществ дельты и устьевого взморья в трансформации соединений азота материкового стока

Часть соединений азота речного стока поступает в Северный Каспий во взвешенном состоянии. В ряде работ [10, 12, 91, 127, 142] рассматривается роль взвешенных веществ в поставке биогенных элементов с водами речного стока в море в разные периоды: до зарегулирования и после. Установлено, что зарегулирование стока Волги изменило водный режим, привело к обеднению речных вод взвешенным веществом (за счет аккумуляции их в водохранилищах), и это в свою очередь сказалось на ухудшении биогенного питания вод Северного Каспия.

В период исследований трансформации стока соединений азота в дельте и на устьевом взморье в 1977—1979 гг. изучалось количественное распределение взвешенных веществ, их биогенный состав, причинно-следственная обусловленность процессов и факторы, их определяющие [127].

Трансформация взвешенных соединений азота в дельте происходит под воздействием совокупности физических, химических и биологических процессов, протекающих в водотоках и водоемах. Из их многообразия можно выделить процессы: а) способствующие появлению в водах дельты минеральных взвешенных соединений азота (смыв с площади водосбора, размыв берегов и дна водотоков, деструкция органических веществ) и б) определяющие органический характер взвешенных соединений азота (фотосинтетическая деятельность в водохранилищах и водоемах дельты, смыв с полоев, затопляемых сельскохозяйственных угодий органических взвешенных веществ, содержащих азот). Особенно отчетливо изменение содержания азота во взвешенных веществах прослеживается в период половодья (табл. 4.8).

В маловодный год суммарный взвешенный азот составляет 0,4—0,8 % от массы взвешенных веществ, причем в русловых зонах изменение относительного количества азота невелико и соответствует колебаниям концентрации взвешенных веществ. Концентрирование водного стока в руслах, обособленность и незначительное «промывание» култуков вследствие маловодности обусловили в них пониженное по сравнению с русловыми участками количество взвешенных веществ. Благоприятные условия для протекания продукционных процессов в култуках, малая глубина, хорошая прогреваемость определили повышенное по сравнению с русловыми зонами количество взвешенного азота, при этом превалирующее значение занимают органические взвешенные соединения азота.

В половодье средневодного года наблюдается увеличение количества взвешенных веществ при движении от верхнего замыкающего створа к нижней русловой зоне, а количество взвешенного азота не меняется, составляя 0,3—1,4 % от массы взвешенных веществ, при этом преобладают органические взвешенные соединения азота. Как отмечалось ранее, резкие колебания уровней воды в периоды, предшествующие половодью средневодного года, способствовали вымыванию взвешенных веществ, содержащих азот, поэтому в половодье наблюдается незначительное изменение количества взвешенного азота в зонах дельты.

Таблица 4.8

Трансформация взвешенных веществ и взвешенных форм азота в периоды половодий исследуемых лет в зонах западной части дельты Волги и отмелом взморье [127]

Год	Концентрация взвешенных веществ, г/м³	Концентрация $N_{взв}$		$N^{орг}_{взв}$ %	$N^{мин}_{взв}$ %
		г/м³	% от массы взвешенных веществ		
Верхний замыкающий створ					
1977	74,7±2,6	0,31	0,4	82,0	18,0
1978	34,0±2,3	0,27	0,8	58,0	11,2
1979	61,4±7,6	0,53	0,8	90,5	9,5
Средняя зона					
1977	78,0±17,9	0,39	0,5	95,0	5,0
1978	45,7± 5,0	0,27	0,6	69,0	31,0
1979	80,8± 1,5	0,63	0,8	74,0	26,0
Нижняя русловая зона					
1977	91,7±30,5	0,36	0,4	94,0	6,0
1978	85,7± 8,1	0,27	0,3	65,0	35,0
1979	20,3± 0,9	0,20	1,0	47,5	52,5
Култучная зона					
1977	59,4±13,5	0,49	0,8	68,0	32,0
1978	(21,0)	0,30	1,4	85,0	15,0
1979	43,5± 3,5	0,35	0,8	70,3	29,7
Отмелое взморье					
1977	—	—	—	—	—
1978	45,0±4,5	0,23	0,5	49,0	51,0
1979	16,7±1,2	0,30	1,8	62,0	38,0

В многоводный год увеличилась площадь затопления дельты, усилился размыв берегов и дна водотоков, что в свою очередь обусловило возрастание содержания суммарного взвешенного азота при движении от верхнего замыкающего створа к средней зоне. Водный сток в нижних зонах, проходя многочисленные заросли надводной жесткой растительности, отфильтровывается, в нем резко уменьшается количество суммарного взвешенного азота — до 0,2 мг/л (преимущественно за счет органического взвешенного азота). В то же время взмучивание водным потоком рыхлых илистых отложений в култуках, вымывание взвешенных веществ из окаймлений култуков и бровок способствуют некоторому увеличению в култуках содержания взвешенных веществ и суммарного азота.

В районе отмелого взморья уменьшение скоростей течения, значительная фильтрация водных масс зарослями надводной и подводной растительности обусловливают оседание взвешенных веществ.

При этом количество органического взвешенного азота оказывается преобладающим. Изменение относительного содержания минерального взвешенного и органического взвешенного азота в зонах дельты свидетельствует о качественной трансформации взвешенных соединений азота в период половодья многоводного года (см. табл. 4.8). Аналогичные качественные преобразования взвешенных соединений азота наблюдаются в различных зонах дельты, но в другие сезоны они оказываются выраженными не так существенно.

Взвешенные вещества в дельте выступают транспортировщиками различных соединений азота,

как входящих в состав взвешенных веществ, так и сорбированных на их поверхности органических и минеральных соединений азота. И если в русловых участках дельты преобразования взвешенных соединений азота связаны в основном с транспортировкой, сортировкой взвешенных веществ, то в нижних зонах вследствие гашения скоростей течения, растекания вод, а также фильтрации через многочисленные заросли надводной и подводной растительности происходит аккумуляция взвешенных веществ, и трансформация взвешенных соединений азота связана с биохимическими процессами, которые наиболее активно протекают в придонных слоях воды и в верхнем слое донных отложений.

4.1.4. Роль грунтов дельты и устьевого взморья в трансформации соединений азота материкового стока

Взвешенные вещества и грунты дельты играют существенную роль в трансформации соединений азота речного стока. Взвешенные вещества являются транспортировщиками различных соединений азота, включенных в их состав и сорбированных на поверхности, от верхних зон дельты к нижним. Вследствие седиментации взвешенных веществ и фильтрации вод через заросли надводной и подводной растительности в нижних зонах особое значение приобретает влияние грунтов (илов) на преобразования соединений азота, результатом чего являются не только количественные изменения форм соединений азота, но и изменения их качественного состава.

Итак, проведенные исследования факторов, определяющих трансформацию биогенных веществ в дельте Волги, показали, что в русловых участках дельты определяющими в трансформации взвешенных соединений азота выступают физические процессы (вымывание соединений азота, транспортировка их взвешенными веществами, сорбция и т. д.). В нижних зонах дельты, наряду с физическими факторами (гашение скоростей течения, фильтрация вод через многочисленные заросли надводной и подводной растительности, оседание взвешенных веществ (аккумуляция)), происходит также трансформация взвешенных соединений азота, связанная с биохимическими процессами, наиболее активно протекающими в придонных слоях воды и в верхнем слое донных отложений.

Таким образом, значительное влияние на преобразование соединений азота материкового стока в дельте и на отмелом взморье оказывают подстилающие грунты.

При движении от верхнего замыкающего створа к отмелому взморью в грунтах увеличивается доля мелких илистых частиц и в соответствии с этим увеличивается и содержание азота.

Азот в грунтах на 87—94 % от валового представлен органическими соединениями. Большая часть соединений азота прочно закреплена в грунтах (негидролизуемый азот составляет от 70 до 80 % от валового).

После значительных переформирований ложа водотоков и водоемов дельты в половодье, в период на его спаде, наблюдается увеличение содержания азота в грунтах верхней и средней зон в 2 раза по сравнению с периодом предполоводья.

Для дельты в целом на спаде половодья маловодного года валовой азот составляет 0,05—0,19 % от массы сухого грунта. Органические соединения азота составляют 94—99 % от валового азота, но, в отличие от периода предполоводья, они являются подвижными (доля негидролизуемого азота колеблется всего от 13 до 47 % от валового). Количество минеральных соединений азота еще больше уменьшилось.

Влияние подстилающих грунтов русловых участков на трансформацию соединений азота максимально проявляется в половодье и паводки, когда поток, обладая наибольшей силой, осуществляет перенос содержащих азот веществ, вымытых за счет глубинной, боковой эрозии.

Наряду с гидрологическими факторами, немаловажную роль в повышени доли подвижных форм соединений азота в грунтах в послеполоводье играют и биологические процессы (микробиологическая деятельность, вегетация надводной и подводной растительности), способствуя включению азота, закрепленного в грунтах, в биотический круговорот.

Наибольшие преобразования соединений азота происходят в илах нижних зон, что обусловлено падением скоростей течений, приводящих к аккумуляции в этих зонах взвешенных веществ, вымываемых с полоев, остатков органических веществ из зарослей тростника, повышенной микробиологической активностью поверхностной пленки илов, находящейся на границе раздела вода—грунт.

В средневодном 1978 г. основное внимание было уделено изучению химического биогенного состава и влияния грунтов отмелого взморья на трансформацию соединений азота волжского стока. Исследования проводились в районе Кировского банка в период интенсивного влияния гидрологических (повышение уровней воды, возрастание скоростей течения с последующим изменением этих параметров) и биологических (продукционные процессы) факторов на процессы трансформации соединений азота, в которых участвует как вода, так и грунты дельты.

Преобладающими в зоне отмелого взморья Кировского банка являются черно-серые илы.

Наименьшее количество валового азота в грунтах отмелого взморья в целом за период исследований отмечено в 1-й и 2-й декадах мая, что можно объяснить смывом верхнего илистого слоя первой половодной волной. В условиях устойчивой погоды (без ветра и перемешивания слоев воды и грунта) наблюдается повышение концентрации азота в илах (3-я декада мая). Концентрация соединений азота в грунтах в июне в среднем выше апрельской и майской. В октябре (осенняя межень) и апреле (предполоводье) количество валового азота в илах отмелого взморья приблизительно одинаково (табл. 4.9).

Доля минеральных соединений азота в грунтах отмелого взморья возрастает от апреля к июню вследствие поступления в эту часть дельты взвешенных веществ, содержащих минеральные формы соединений азота (вымываемых из зарослей надводной растительности, окаймлений култуков) и их седиментации. Минимум содержания минерального азота (0,1 % от валового) в илах, как и валового, отмечен в периоды активной ветровой деятельности (1-я и 2-я декады мая), когда про-

Таблица 4.9

Динамика содержания валового азота в грунтах отмелого взморья (Кировский банк, 1978 г.)[127]

Месяц	Декада	Влажность грунта, %	$N_{вал.}$ мг/100 г сух. гр.	Азот, мг/100 г сух. гр.				Азот, % от валового			
				мин.	л. гидр.	тр. гидр.	негидр.	мин.	л. гидр.	тр. гидр.	негидр.
Апрель	2-я	25,5	465,5±147,5	1,4±0,8	55,7±27,0	53,3±29,5	354,9±75,9	0,3	11,9	11,4	76,3
	3-я	22,2	414,8± 68,6	2,9±2,0	53,1±17,6	51,2±11,2	307,6±95,4	0,7	12,8	12,4	74,3
Май	1-я	16,3	350,5 *	0,53	35,8	23,8	290,3	0,2	10,2	6,8	82,8
	2-я	25,0	355,5	0,36	71,1	39,5	346,3	0,1	20,0	11,1	69,4
	3-я	20,1	1001,2	1,43	33,3	54,2	912,3	0,1	3,3	5,4	91,2
Июнь	2-я	44,0	761,9	16,16	89,3	35,7	620,7	2,1	11,7	4,7	81,4
	3-я	49,4	853,3	18,42	120	72	642,8	2,1	14,0	8,4	75,3
Октябрь	2-я	1,4 **	487,0±2,2	2,15±0,12	68,95±1,0	38,8±1,8	377,0±1,5	0,4	14,2	7,9	77,4

* Среднее из двух параллельных анализов одной пробы грунта.
** Анализы выполнены в воздушно-сухом образце грунта.

исходит взмучивание верхнего слоя грунтов и переход минеральных соединений азота в воду. Максимальное количество минерального азота (2,1 % от валового) в илах отмелого взморья отмечено в июне (см. табл. 4.9). Количество минерального азота в грунтах в октябре сравнимо с таковым в апреле.

Органические соединения азота в илах представлены в основном негидролизуемым азотом, составляющим порядка 69—91 % от валового. Легкогидролизуемый азот, составляющий 3—20 % от валового, подвержен значительным колебаниям; минимум отмечен в мае, максимум — в июне (см. табл. 4.9). Содержание трудногидролизуемого азота варьирует в пределах 5—12 % от валового; максимум отмечен в апреле, минимум — в июне, что свидетельствует об активности биохимических процессов в илах в летнее время, способствующих переводу азота из трудногидролизуемой формы в легкогидролизуемую и вовлечение его в биотический круговорот.

Взаимозависимость количеств соединений азота при переходе их из грунта в воду и из воды в грунт иллюстрирует рис. 4.2, показывающий, что

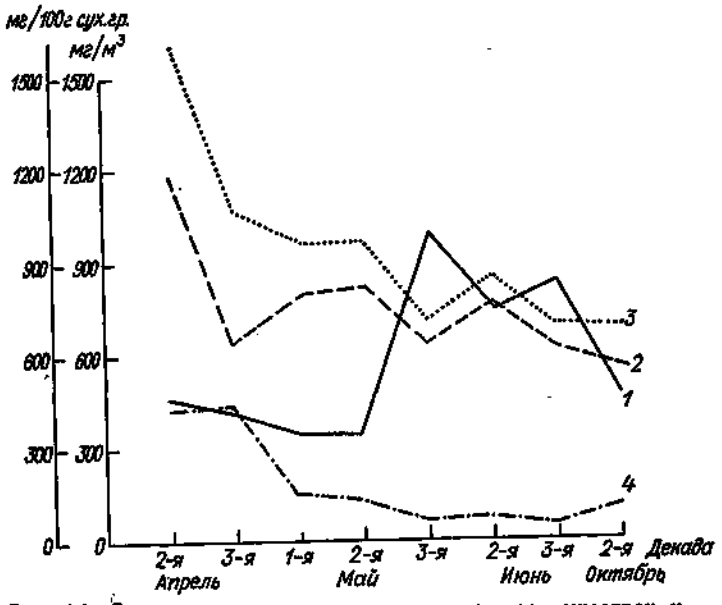


Рис. 4.2. Содержание азота в воде, взвешенных веществах и грунтах отмелого взморья Северного Каспия (1978 г.).

1 — $N_{вал}$ в грунте; *2* — $\Sigma N_{взв}$, *3* — $\Sigma N_{раст}$, *4* — $N_{вал}$ в воде.

увеличение содержания валового азота в илах отмелого взморья сопровождается уменьшением его концентраций в воде (кривые *1* и *4*) и наоборот, причем колебания содержания валового азота и растворенных форм в воде синхронны.

Влияние илов отмелого взморья на преобразования соединений азота речного стока проявляется не только при действии физических факторов (концентрационная диффузия, ветровое перемешивание, взмучивание донных отложений при повышении скоростей течения и др.), но также и в результате биологических процессов (микробиологическая деятельность, вегетация макрофитов, надводной растительности). Интенсивность каждого из этих процессов носит выраженный сезонный характер и неодинакова в различных биотопах отмелого взморья.

Таблица 4.10

Отдача (+) или поглощение (—) соединений азота [мг/(м²·сут)] илами отмелого взморья Кировского банка в 1978 г.

Азот	Экспериментальная установка	Водоем
Апрель		
(h = 0,75 м; V = 0,157 м³; t = 4 сут; S = 0,21 м²)		
Валовой	—119,5	—100,0
Суммарный органический	—114,5	—90,9
Минеральный	—5,1	—8,7
Май		
(h = 0,8 м; V = 0,168 м³; t = 10 сут; S = 0,21 м²)		
Валовой	—38,6	—19,6
Суммарный органический	—36,7	—20,7
Минеральный	—1,8	1,2
Июнь		
(h = 1,5 м; V = 0,315 м³; t = 8 сут; S = 0,21 м²)		
Валовой	—66,9	—29,2
Суммарный органический	—20,0	—13,5
Минеральный	—50,8	—19,6

Примечание. Исходные данные для расчетов: h — высота столба; V — объем; t — время; S — квадратное сечение.

В условиях отмелого взморья (малые глубины, длительный контакт воды и грунта) существенное значение в преобразовании соединений азота материкового стока играют процессы обмена соединениями азота в системе вода ⇄ грунт.

На основании полученных экспериментальных данных определены величины поглощения и отдачи илами отмелого взморья соединений азота.

Результаты исследований 1978 г. свидетельствуют об активном обмене соединениями азота между водой и грунтом отмелого взморья Кировского банка (табл. 4.10).

В период половодья, когда в нижние зоны дельты поступает наибольшее количество соединений азота, обмен ими происходит в направлении аккумуляции валового азота, форм его соединений, илами отмелого взморья (см. табл. 4.10).

Установлены количественные различия обмена форм соединений азота по месяцам, объясняющиеся отличием условий (водность, скорость течения, интенсивность продукционно-деструкционных процессов) в предпаводок, пик половодья и на спаде половодья. Максимальное количество соединений азота, мигрировавшее в грунт (119,5 мг/(м²·сут) для экспериментальной установки и 100 мг/(м²× ×сут) для открытого водоема), наблюдалось в период, предшествующий половодью (см. табл. 4.10).

4.1.5. Роль дельты и авандельты в трансформации соединений фосфора материкового стока

Количество ежегодно ассимилируемых фитопланктоном биогенных элементов — азота, фосфора, кремния — значительно превышает содержание питательных солей в фотической зоне океана [85]. Фосфор занимает второе место после азота в пищевых потребностях растений. Его основное физиологическое значение в том, что он входит в состав макроэнергетических соединений, способных запасать и расходовать энергию в процессах клеточного обмена.

Фосфор в морской воде может находиться в разных формах: растворенной и взвешенной неорганической, растворенной и взвешенной органической. Характер фосфатных форм, присутствующих в морской воде, очень сложен, что обусловлено трехступенчатой диссоциацией фосфорной кислоты:

$$H_3PO_4 \rightleftarrows H^+ + H_2PO_4^-;$$

$$H_2PO_4^- \rightleftarrows H^+ + HPO_4^{2-};$$

$$HPO_4^{2-} \rightleftarrows H^+ + PO_4^{3-}.$$

Обычно преобладающей формой в океанических водах является ортофосфат PO_4^{3-}. В морских водах растворимость фосфатов контролируется активной реакцией водной среды, степенью ее минерализации и содержанием кальция, образующего с трехзарядным фосфат-анионом труднорастворимые соединения, в силу чего в определенных условиях фосфор может выпадать в осадок и переходить в разряд лимитирующих элементов.

Источником фосфора или фитопланктона служат преимущественно ионы ортофосфорной кислоты, но могут использоваться и органические соединения, в состав которых входит фосфор.

Трансформация фосфора в дельте и авандельте Волги вследствие менее прочного связывания его в клеточной структуре организмов, большей лабильности, а соответственно, более ускоренного биотического круговорота в природных водах, отличается от трансформации азота (табл. 4.11).

Таблица 4.11

Средние годовые и средние зональные концентрации форм фосфора (мг/м³) в дельте Волги в 1978—1979 гг.

Зона*	Западная часть					Восточная часть				
	Растворенный фосфор		Взвешенный фосфор		$P_{вал}$	Растворенный фосфор		Взвешенный фосфор		$P_{вал}$
	$P_{мин}$	$P_{орг}$	$P_{мин}$	$P_{орг}$		$P_{мин}$	$P_{орг}$	$P_{мин}$	$P_{орг}$	
1978 г.										
I	29	23	24	10	86	29	23	24	10	86
II	39	28	36	6	109	39	29	39	34	141
III	32	10	21	20	83	35	—	—	—	—
IV	41	9	18	5	73	41	—	—	—	—
V	54	1	31	1	87	63	—	—	—	—
1979 г.										
I	41	15	33	137	226	44	22	34	150	250
II	61	17	37	180	295	63	24	37	166	290
III	62	18	35	105	220	55	25	36	100	216
IV	66	14	17	86	183	55	21	36	79	191
V	50	24	19	185	278	56	26	32	226	340

* Деление дельтовой области Волги на зоны (по Д. Н. Катунину, рис. 4.1): I — верхняя; II — средняя; III — нижняя; IV — култучная; V — устьевое взморье.

Содержание и соотношение форм фосфора в водах, поступающих в вершину дельты, изменяется по сезонам. Летом и осенью воды, поступающие в вершину дельты, богаты фосфором ($P_{вал}$ ~ ~400 мкг/л), доминируют в них органические соединения фосфора, концентрации которых за счет «цветения» в водохранилищах очень высоки (более 300 мкг/л) и достигают 85—88 % от валового, причем в основном за счет взвешенных форм, доля которых около 90 % от суммарного органического (табл. 4.12). Концентрация валового фосфора (в верховье дельты) резко понижается зимой (~200 мкг/л) и особенно в паводковый период (до 100 мкг/л); изменяется и соотношение форм: минеральные соединения (около 55 % от валового), хотя и незначительно, преобладают над органическими (около 45 % от валового). Зимой доли растворенных и взвешенных форм соединений фосфора (как органического, так и минерального) относительно близки.

В речных водах, поступающих в верховье дельты, концентрации минеральных растворенных соединений фосфора, минимальные в пик паводка (10—15 мкг/л), возрастают к осени (до 30 мкг/л); содержание минерального взвешенного фосфора весьма стабильное в течение года (изменения в пределах 30—40 мкг/л).

В течение всего года, кроме зимы, концентрация валового фосфора в восточной части дельты несколько выше, чем в западной.

Особенно детально трансформация стока фосфора в дельте и авандельте была исследована в 1979 г.

Таблица 4.12

Сезонные изменения средних зональных концентраций и соотношений форм фосфора (мг/м³) в дельте Волги по зонам в 1979 г.

Зона	Западная часть					Восточная часть				
	Растворенный фосфор		Взвешенный фосфор		$P_{вал}$	Растворенный фосфор		Взвешенный фосфор		$P_{вал}$
	$P_{мин}$	$P_{орг}$	$P_{мин}$	$P_{орг}$		$P_{мин}$	$P_{орг}$	$P_{мин}$	$P_{орг}$	
Март										
I	93	21	29	20	162	93	21	29	20	162
II	145	8	5	5	163	141	10	13	13	174
III	126	3	42	50	221	81	27	9	19	135
IV	86	12	0	165	275	73	31	0	53	157
V	64	11	0	75	150	83	11	0	30	124
Июнь										
I	13	13	31	18	75	13	13	31	18	75
II	20	15	46	144	227	56	8	—	—	—
III	29	11	35	50	123	60	9	—	—	—
IV	59	10	34	16	119	60	14	—	—	—
V	25	20	22	34	101	58	20	—	—	—
Август										
I	26	15	40	340	421	40	43	43	343	469
II	38	31	71	404	554	27	66	67	287	357
III	51	35	49	181	316	50	41	52	155	298
IV	82	17	13	66	178	56	23	80	57	216
V	67	23	39	203	332	53	31	64	412	560
Октябрь										
I	31	—	33	—	480	31	—	33	—	480
II	39	12	26	168	247	29	—	21	219	—
III	40	21	15	139	211	29	—	47	176	—
IV	35	17	20	97	169	30	—	31	191	—
V	44	43	14	428	529	28	—	41	—	530

Для зимнего периода характерно некоторое обогащение речных вод фосфором в дельте (в каналах и особенно култуках) за счет поступления из донных отложений и разложения высшей водной растительности. В авандельте, наоборот, выносимые рекой взвешенные вещества осаждаются и фосфор накапливается в грунтах. Но в целом содержание фосфора в водах при прохождении дельты зимой мало меняется вследствие затухания интенсивности как биологических, так и физических процессов.

В западной части дельты зимой в зонах I и II валовое содержание фосфора почти одинаково (около 160 мкг/л), но в зоне II уже заметно некоторое перераспределение форм — увеличение в 1,5 раза минерального растворенного фосфора за счет минерализации органических соединений и растворения взвешенного минерального. В зоне III содержание валового фосфора несколько увеличивается за счет поступления взвешенных форм из межканальных пространств; но особенно значительно оно возрастает в култучной зоне IV (275 мкг/л) в основном за счет обогащения органическим взвешенным фосфором в результате разложения растительности в култуках. Минеральный взвешенный фосфор в култуках отсутствует. В авандельте (зона V) преобладает аккумуляция, и фосфор накапливается в грунтах за счет седиментации; поэтому заметно снижается содержание всех форм фосфора в воде, а концентрация валового — до 125 мкг/л в восточной и 150 мкг/л в западной частях дельты. При одинаковой направленности процессов трансформации соединений фосфора в дельте зимой в западной части дельты они более выражены, чем в восточной. Количество всех форм фосфора, особенно органического взвешенного, в восточном районе дельты ниже, чем в западном, концентрация валового фосфора в зонах III, IV и V восточной части составляла соответственно в среднем 135, 157 и 124 мкг/л. Таким образом, зимой в Северный Каспий выносится значительно меньше фосфора, чем поступает с речным стоком в верховья дельты (несмотря на обогащение вод фосфором в зоне IV), за счет его аккумуляции авандельтой.

В паводковый период концентрация фосфора в водах, поступающих в дельту в верхнем створе, минимальна вследствие разбавления (в среднем 75 мкг/л, в том числе минерального растворенного 17 %). В паводок в зоне II вода интенсивно обогащается всеми формами фосфора, обильно вымываемыми из почвогрунтов на полях, особенно в многоводный паводок 1979 г., когда максимум содержания валового фосфора в западной части дельты достигает 230 мкг/л в основном за счет органического взвешенного, поступающего с полоев. В воде полоев концентрация минерального фосфора в 2,5 раза, органического фосфора в 3—4 раза выше, чем в русле. Из култуков (зона IV) первой паводковой волной были вынесены на взморье зимние запасы биогенных веществ. В пик паводка в култуках из-за малых скоростей течений взвешенные формы фосфора оседают (концентрация взвещенного фосфора снижается со 190 мкг/л в зоне II до 50 мкг/л в зоне IV, содержание общего растворенного фосфора изменяется сравнительно мало (концентрация минерального растворенного фосфора увеличилась до 60 мкг/л). В воде каналов зоны III концентрации различных соединений фосфора являются промежуточными между зонами III и IV. В авандельту (зона V) поступает больше фосфора, чем в верховье дельты, так как его приток с полоев и култуков превышает процесс осаждения при прохождении дельты. В нижних зонах в паводок превалирует аккумуляция фосфора (в основном взвешенные формы), что связано со снижением скоростей течений. Концентрация валового фосфора в авандельте составила около 100 мкг/л, в том числе минерального растворенного — 25 %, а взвешенного — 22 %; органического растворенного — 20 %, взвешенного — 33 %. Несмотря на седиментационные процессы при прохождении вод через дельту, концентрация фосфора несколько превышает его содержание в водах верхнего створа. В восточной части дельты при одинаковом характере процессов концентрация всех форм фосфора была выше, чем в западной.

В летний период в водах, поступающих в вершину дельты, возросла концентрация всех форм фосфора при доминировании органического взвешенного, особенно в августе, когда интенсивность фотосинтетических процессов достигает максимума; на долю минерального растворенного фосфора приходится менее 10 %. В западной части дельты

концентрация фосфора непрерывно возрастала по мере движения вод к морю в первых двух зонах (I, II) в основном за счет органического взвешенного фосфора, одновременно возрастала концентрация и растворенных форм.

В летний период имеет место процесс перехода из грунтов в воду фосфора, накопившегося за время паводка. Затем фосфор частично задерживается в култуках и аванделыте. В результате концентрация валового фосфора снижается на 21 % — с 420 мкг/л в верхнем створе до 330 мкг/л в аванделыте. В восточной, сильно заросшей маловодной части дельты уже в первых четырех зонах по мере движения вод по дельте концентрация органического взвешенного фосфора и соответственно валового снижается вследствие седиментации, а также связывания водной растительностью.

В аванделыте концентрация органического взвешенного фосфора увеличивается за счет интенсивного продуцирования фитопланктона и выноса из култучной зоны. В целом содержание фосфора в восточной части дельты возросло с 470 (верхний створ) до 560 мкг/л в аванделыте в основном за счет его органических форм.

В осенний период в первых четырех зонах (I—IV) западной и восточной частей дельты происходила в основном седиментация взвешенных форм фосфора, а в аванделыте, наоборот, наблюдался рост концентраций органического взвешенного фосфора. В результате трансформации в дельте концентрация валового фосфора возросла от 480 мкг/л в верхнем створе западной и восточной частей аванделыты до 580 мкг/л в основном за счет органического взвешенного фосфора.

В маловодный 1978 г. трансформация соединений фосфора в дельте Волги носила такой же характер, как и в многоводный 1979 г., различия заключались только в абсолютных значениях концентраций.

По экспериментальным исследованиям, в конце мая 1980 г. на взморье Урала выделение минерального растворенного фосфора из донных отложений в воду в зависимости от ветровых условий на илистых песках с примесью ракушки составляло от 2,6 до 4,3 мкг/(л·сут), на илистых грунтах с высоким содержанием органики — до 31,7 мкг/(л × × сут).

Таким образом, в результате совокупности взаимодействия комплекса физических, химических и биологических процессов зимой в западной и восточной частях дельты и аванделыты Волги, а летом в западной части, пропускающей больший объем стока Волги, процессы аккумуляции фосфора преобладают, приводя к тому, что в Северный Каспий вынос фосфора оказывается меньше, чем поступление его в верхний замыкающий створ дельты. Зимой в дельте и аванделыте аккумулируется примерно 10—15 % речного стока фосфора, летом в западной части — около 20 %, а в восточной — около 15 %.

В паводок и осенью результирующей процессов при прохождении дельты является дополнительное обогащение вод фосфором, за счет чего его количество в аванделыте больше, чем то, которое поступает через верхний замыкающий створ: в паводок порядка 15 %, а осенью до 10 % в западной части и 17 % в восточной части дельты.

4.2. Баланс биогенных веществ

Важнейшую роль в балансе биогенных элементов замкнутого водоема играет речной сток. В балансе биогенных элементов Каспийского моря определяющим также является речной сток (в первую очередь волжский), поставляющий около 78 % общего годового стока биогенных элементов в Каспий.

Направленность антропогенного воздействия на материковый биогенный сток оказывается различной. Зарегулированность речного стока и аккумулирующая роль водохранилищ приводят к уменьшению выноса биогенных веществ с речными водами в Каспийское море. В то же время антропогенная эвтрофикация речных вод за счет промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных стоков, наоборот, способствует повышению концентраций биогенных веществ в речных водах. Прогрессирующее зарастание дельты и отмелого взморья, играющее роль фильтра, также способствует снижению биогенного стока в море.

Для периода естественного стока Волги баланс биогенных элементов Каспийского моря рассчитан С. В. Бруевичем [24]. Им учтено поступление биогенных элементов с речным стоком и атмосферными осадками, составившее в общей сложности 12,5 тыс. т растворенного фосфора, 193 тыс. т связанного азота (растворенного и взвешенного) и 600 тыс. т растворенного кремния.

В Северный Каспий в настоящее время поступает вода, химический состав которой изменился по сравнению с периодом естественного стока под воздействием гидротехнических сооружений, внутриводоемных процессов в водохранилищах и антропогенной эвтрофикации.

Баланс биогенных веществ Каспийского моря после зарегулирования стока (1956—1975 гг.) был впервые составлен М. П. Максимовой, Д. Н. Катуниным и Б. Д. Елецким [88]. При составлении баланса биогенных веществ в этот период было учтено их поступление с речным стоком, за счет субмаринной разгрузки подземных вод и ориентировочно с атмосферными осадками и эоловым приносом пыли (табл. 4.13).

Сопоставление баланса биогенных веществ после зарегулирования стока с данными баланса естественного стока, рассчитанного Бруевичем [24] для 30-х годов, характеризующихся чрезвычайной маловодностью, не является некорректным.

Авторы [88] сопоставили вынос биогенных веществ волжскими водами в период зарегулированного стока (1956—1975 гг.) с близким по средней водности стока предшествующим периодом 1949—1955 гг. (разница значений средней водности этих периодов составила 3 %) и отметили идентичность и средних значений биогенного стока, лишь несколько уменьшился вынос растворенного кремния (~18 %), а по валовому фосфору и азоту отмечено даже незначительное увеличение (~10 %). Однако в соотношении форм соединений биогенных элементов по сравнению с периодом 1949—1955 гг. отмечены некоторые сдвиги: несколько уменьшился вынос взвешенных органических соединений азота и фосфора (~на 20 %) и, наоборот, несколько увеличился вынос растворенных органических соединений азота и фосфора (~ на 20—30 %); вынос минеральных растворенных сое-

Таблица 4.13

Баланс биогенных элементов Каспийского моря после зарегулирования стока [88]

Приход	Количество вещества, тыс. т		Расход	Среднее количество вещества, тыс. т
	среднее	диапазон изменений		
Азот общий				
Материковый сток	450	297—682	Отложение в грунт	594
Субмаринная разгрузка подземных вод	85	20—150	Изъятие с выловленной рыбой	13,2
Поступление с пылью	20	—		
Поступление с атмосферными осадками	52	—		
Сумма	607	389—904	Сумма	607
Фосфор общий				
Материковый сток	37,7	23,8—51,6	Отложение в грунт	39,0
Субмаринная разгрузка подземных вод	3,0	2,5— 3,5	Изъятие с выловленной рыбой	1,65
Сумма	40,7	26,3—55,1	Сумма	40,7
Кремний растворенный				
Материковый сток	697	385—1180	Отложение в грунт	730
Субмаринная разгрузка подземных вод	33	15—51		
Сумма	730	400—1230	Сумма	730

динений фосфора несколько снизился (~ на 17 %), минеральных растворенных соединений азота — практически не изменился.

4.3. Распределение и изменчивость содержания биогенных веществ

4.3.1. Основные закономерности пространственного распределения биогенных веществ в Северном Каспии

Западная и восточная части Северного Каспия отличаются от других частей Каспийского моря рельефом дна, глубинами, условиями водообмена, объемами поступления речных вод и интенсивностью процесса испарения.

Волжская вода из западных рукавов дельты Волги продвигается к югу вдоль западного побережья моря. Вода из восточных рукавов дельты переносится в северо-восточном, восточном и юго-восточном направлениях. Опресняющее действие уральского стока локализовано на устьевом взморье и прилегающей к нему северо-восточной части моря.

В непосредственной зависимости от стока, как правило, располагаются границы площадей вод различной солености. Достаточно заметить, что если в приустьевой области соленость воды оказывается немногим выше 0 ‰, то на границе со Средним Каспием она достигает 10—12 ‰.

В Северном Каспии, в основном в его западной части, во все сезоны года обнаруживаются три типа водных масс: водная масса с соленостью 0—2 ‰, находящаяся под непосредственным влиянием речных вод; воды с соленостью 10—12 ‰, которые формируются под влиянием вод Среднего Каспия, и, наконец, воды с соленостью 2—10 ‰ — смешанная водная масса. Водные массы, взаимодействуя, влияют друг на друга, каждой из них соответствует определенная гидрохимическая характеристика.

Речные воды характеризуются повышенным содержанием биогенных веществ, в то время как воды, поступающие с юга из средней части Каспия, содержат их значительно меньше.

Для того чтобы проследить пространственные изменения содержания биогенных веществ на акватории Северного Каспия по мере удаления от устья Волги и Урала, были проанализированы средние многолетние концентрации биогенных веществ на каждой станции разрезов, расположенных в Северном Каспии.

Далее представлены общие закономерности пространственного распределения биогенных веществ в различных районах Северного Каспия.

По длине векового разреза 1, который пересекает с северо-востока на юго-запад восточную часть Северного Каспия, включая и район Уральской бороздины (наиболее глубокий район в этой части моря), четко выраженной закономерности в горизонтальном изменении содержания фосфатов не обнаружено: средние концентрации по всему разрезу колебались в пределах 10—13 мкг/л. В районе устьевого взморья Урала отмечалось некоторое повышение содержания фосфатов; в районе Уральской бороздины их концентрации были несколько ниже, чем на остальной части разреза (рис. 4.3 *а*).

Содержание кремния, нитритного и нитратного азота изменяется на участке между станциями 1 и 5.

Обращает на себя внимание резкое увеличение аммонийного азота в районе, подверженном влиянию уральских вод; в районе Уральской бороздины содержание аммонийного азота уменьшалось вдвое (рис. 4.3 *а*).

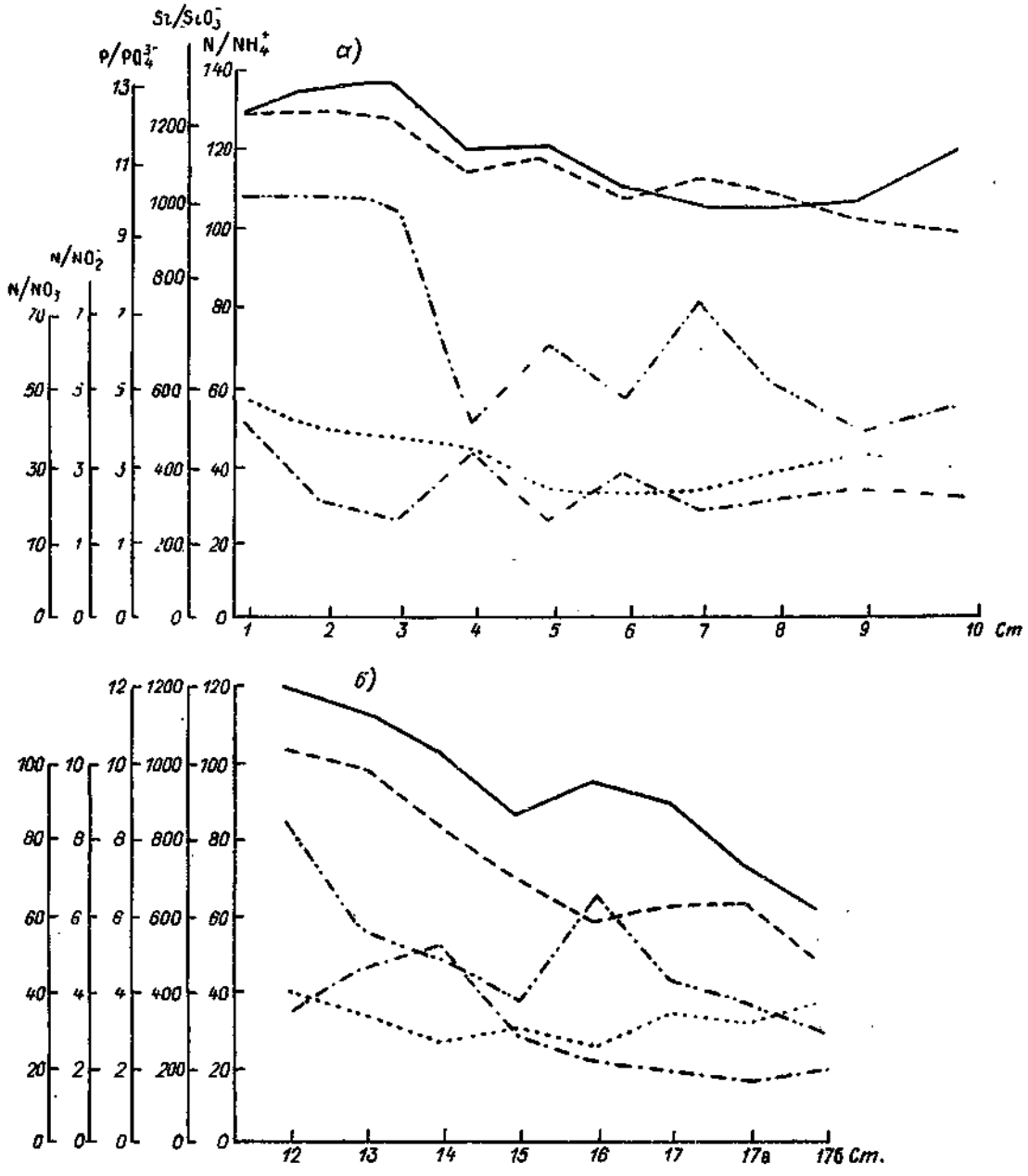


Рис. 4.3. Среднее многолетнее содержание биогенных веществ (мкг/л) в водной толще на разрезах Северного Каспия.

а — разрез I; *б* — разрез II; *в* — разрез III; *г* — разрез IIIа.

Вековой разрез II как бы отделяет восточную часть Северного Каспия от западной, располагаясь вдоль их границы — Бузачинского порога.

Многолетние гидрологические исследования в этом районе показали, что вдоль разреза II в направлении архипелага Тюленьих островов распространяется одна из ветвей стокового течения Волги. С другой стороны, согласно общей схеме поверхностных течений Каспийского моря, северо-западнее о. Кулалы течение из Северного Каспия разветвляется: одна ветвь, следуя общему циклоническому круговороту, направляется в центральную и западную части Северного Каспия, другая — на восток.

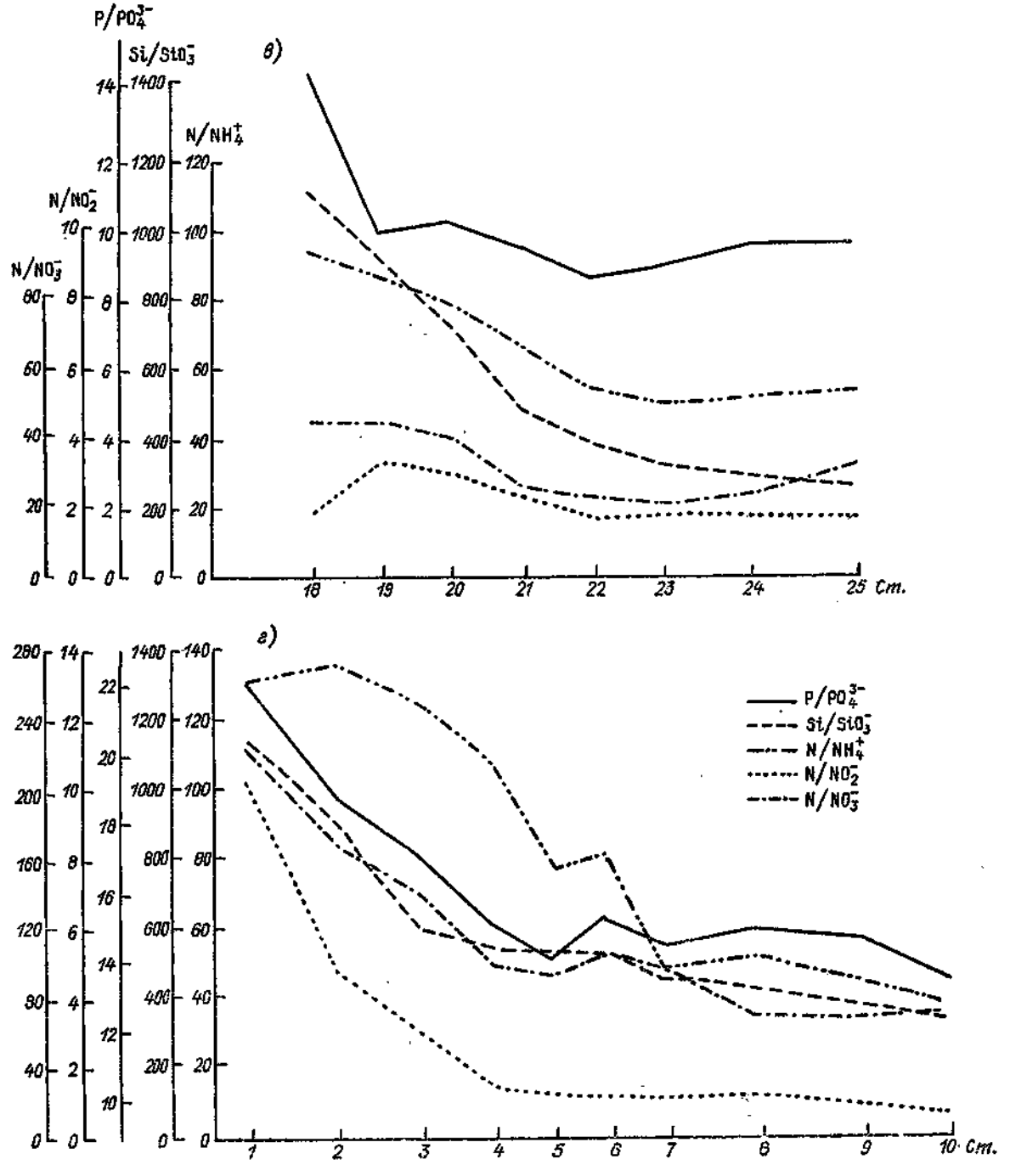
Таким образом, северные станции разреза II подвержены воздействию волжского стока, южная часть разреза находится под влиянием вод, поступающих из Среднего Каспия.

В целом по разрезу с севера на юг наблюдается уменьшение содержания кремния и фосфора. В зоне влияния волжских вод среднее многолетнее содержание фосфора составляет 10—12 мкг/л, кремния — от 800 до 1000 мкг/л. В зоне выноса среднекаспийских вод, по многолетним данным, фосфаты содержатся в количествах 6—8 мкг/л, кремний — от 500 до 700 мкг/л (рис. 4.3 *б*).

Характер распределения минеральных форм азота по длине разреза II в целом сохраняет ту же тенденцию, хотя и не проявляется так отчетливо, как для фосфатов и кремния.

На вековом разрезе III сохраняются те же закономерности в распределении биогенных веществ, которые были выявлены на разрезе II.

Начинаясь в приустьевой области, разрез III захватывает на юге район наибольших глубин Северного Каспия. Последние станции этого разреза



расположены на границе со Средним Каспием и наименее подвержены влиянию речного стока, а также возможному влиянию хозяйственной деятельности человека.

На северных станциях наблюдается повышенное содержание всех биогенных элементов, что объясняется влиянием богатого биогенами речного стока. Характерно то, что наибольшие концентрации нитритов и нитратов наблюдались, как правило, не на ст. 18, а на ст. 19. На этом вековом разрезе более четко выражено уменьшение содержания аммонийного азота по мере продвижения с севера на юг. Начиная со ст. 21, содержание ионов аммония практически не изменяется.

Среднее многолетнее содержание кремния на приустьевых станциях составляет 1000 мкг/л. К югу оно довольно равномерно уменьшается и на границе со Средним Каспием достигает 300 мкг/л (рис. 4.3 *в*).

Наиболее своеобразен вековой разрез IIIа, бо́льшая часть станций которого расположена в зоне стокового течения Волги. Южные станции этого разреза находятся в районе максимальных глубин Северного Каспия — 20—22 м (свал глубин).

Именно здесь, как правило, отмечаются наибольшие горизонтальные градиенты в содержании биогенных веществ. Волжские воды, богатые биогенными веществами, смешиваясь с морскими водами, образуют гидрофронт, положение которого непостоянно во времени и зависит от стока Волги, направленности течений и ветрового режима. При пересечении гидрофронта и наблюдаются значительные градиенты в распределении гидрохимических элементов.

Значительное уменьшение содержания биогенных веществ происходит, как правило, между стан-

циями 1 и 4, причем нередко эти различия в концентрациях на расстоянии около 6 миль происходят скачкообразно, меняясь на порядок (рис. 4.3 *г*).

На северных станциях разреза концентрация кремния достигала 1100 мкг/л. Уменьшаясь к ст. 4 до 550 мкг/л, на юге разреза концентрация кремния составляет 350—400 мкг/л. Принимая во внимание высокое содержание кремния в водах Волги, следовало бы ожидать более высокие его концентрации в этой части Северного Каспия. Действительно, при поступлении вод половодья концентрация кремния возрастает с 500—600 мкг/л в апреле до 1200—1500 мкг/л в июне—июле. Интенсивное потребление кремния диатомовыми водорослями, вероятно, сглаживает этот максимум, и в среднем за год концентрация кремния остается на уровне концентраций, полученных по другим разрезам.

В значительно большем количестве, чем в других районах, на приустьевых станциях векового разреза IIIа содержатся нитраты. На участке разреза между станциями 1 и 4 средняя многолетняя концентрация нитратного азота уменьшается с 200 до 30 мкг/л. Минимальное содержание нитратов отмечено на ст. 10 — 17,5 мкг/л.

Нитриты также присутствуют в этом районе в несколько большем количестве, чем на остальной акватории Северного Каспия. Максимум отмечается на северных станциях и составляет 8—11 мкг/л, на границе со Средним Каспием концентрация нитритов уменьшается до 4 мкг/л. Концентрации фосфатов здесь также оказываются выше, чем в других районах Северного Каспия. В зоне интенсивного влияния волжского стока их содержание составляет 18—20 мкг/л, на границе со Средним Каспием — 13—14,5 мкг/л. Уменьшение концентраций фосфатов наиболее интенсивно происходит на участке между станциями 1 и 4. Концентрации аммонийного азота здесь нередко превышают предельно допустимые концентрации (рис. 4.3 *г*).

Известно, что соотношение между минеральными формами азота и фосфора для морских вод в среднем составляет 14 : 1 [3].

На основной акватории Северного Каспия, за исключением узкой зоны интенсивного влияния речного стока, это же соотношение уменьшается и на границе со Средним Каспием составляет 5 : 1. Это обусловлено, по-видимому, резким снижением здесь концентраций нитратов и аммонийного азота, тогда как содержание фосфатов изменяется незначительно.

Н. А. Скриптунов [120] показал, что «факторами, определяющими вертикальную стратификацию солености на взморье, являются приток пресных волжских вод и ветер, вызывающий волнение и дрейфовое течение». Сильный ветер в зоне до свала глубин создает однородное распределение солености воды по вертикали, а на свале глубин, наоборот, — резко выраженную стратификацию солености.

По характеру вертикального распределения солености Скриптунов выделяет три района: 1) от морского края дельты до склона морского бара (изобата 2 м) с однородным распределением солености по глубине; 2) от изобаты 2 м до свала глубин с незначительным изменением солености по вертикали; 3) свал глубин (8—15 м), где обнаруживается существенная вертикальная стратификация солености воды. Здесь слой скачка солености оказывается достаточно устойчивым и хорошо прослеживается в зоне прохождения западной волжской струи. Он залегает в среднем на горизонте 4—6 м, имеет толщину в межень около 1 м, в период прохождения волны половодья — 2—3 м. За свалом глубин, на границе со Средним Каспием, галоклин располагается на горизонтах 10—15 м [65]. Галоклин в Северном Каспии обычно совпадает с термоклином и служит индикатором интенсивности поступления пресных вод в море [121].

Для восточной части Северного Каспия характерна гомохалинность. Вертикальная стратификация солености, причем весьма незначительная, отмечается только в северной части Уральской бороздины. Это обусловлено незначительным поступлением речного стока, относительной изоляцией от Среднего Каспия, мелководностью района и интенсивным ветровым перемешиванием.

Вертикальное распределение биогенных веществ в разных районах Северного Каспия оказывается неодинаковым, что в значительной мере обусловливается различиями в распределении водных масс, отличающихся по солености и температуре, и их взаимодействием.

В восточной части Северного Каспия, как правило, имеет место однородное распределение биогенных веществ по вертикали. Лишь в районе Уральской бороздины, по средним многолетним данным, количество биогенных элементов с глубиной несколько возрастает, за исключением аммонийного азота (рис. 4.4 *а*).

В районе водообмена между восточной и западной частями Северного Каспия распределение биогенных элементов в толще вод также оказывается однородным. Однако в южной части этого района (южная оконечность о. Кулалы, ст. 17б) отмечалось уменьшение с глубиной биогенных веществ (рис. 4.4 *б*), обусловленное наличием в этом районе течения, идущего из Среднего Каспия, которое здесь разветвляется. В зоне расхождения ветвей течения создаются условия для переслоения и обратной стратификации вод. В этом районе на поверхности оказываются воды, более богатые биогенными веществами, которые генетически являются водами Среднего Каспия.

В западной части моря на вертикальных профилях вдоль оси вековых разрезов III и IIIа хорошо прослеживается распространение биогенных веществ, поступающих с волжским стоком. Так, на северных станциях разрезов III и IIIа отмечаются максимальные средние многолетние концентрации всех исследуемых биогенных элементов. В районах станций 18—21 (разрез III) и станций 1—3 (разрез IIIа) ввиду незначительных глубин и интенсивного ветрового перемешивания всей водной толщи распределение биогенных веществ по глубине оказывается практически однородным, с некоторым снижением концентраций фосфатов и минеральных форм азота ко дну.

В то же время на разрезе III, начиная со ст. 22, хорошо прослеживается «язык» вод с уменьшенным содержанием кремния и аммонийного азота в слое 4—7 м (рис. 4.5). На ст. 24 у дна отмечается локальный максимум содержания фосфа-

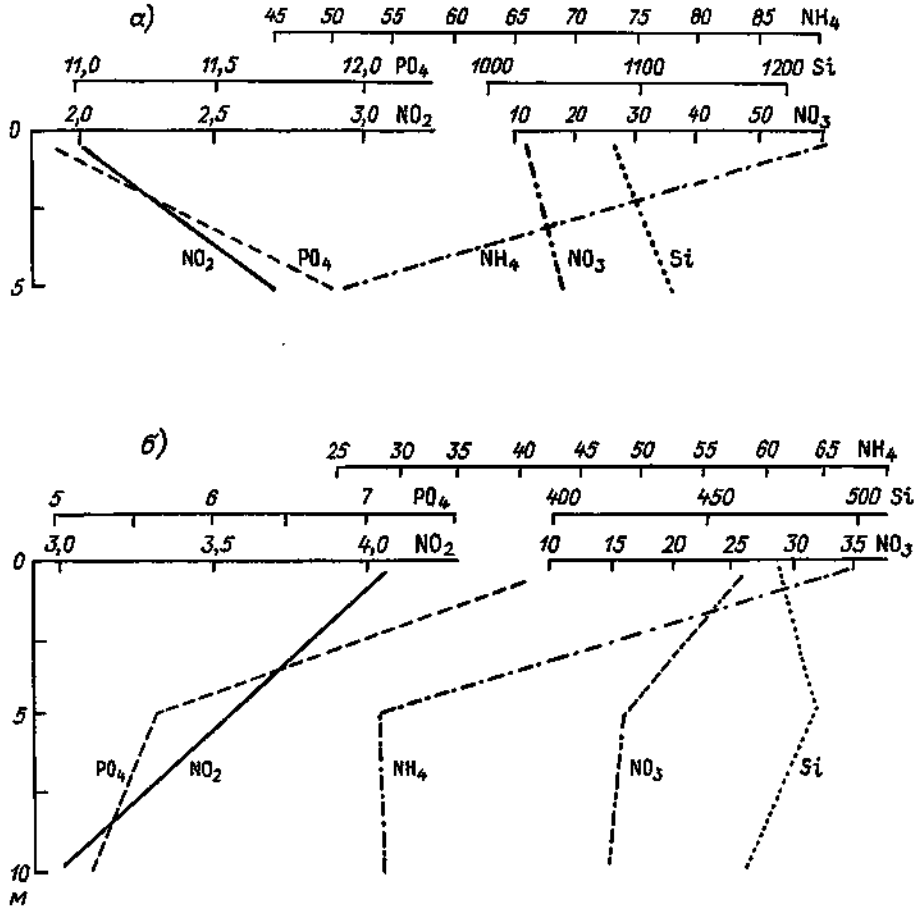


Рис. 4.4. Вертикальное распределение биогенных веществ (мкг/л) в Северном Каспии.

а — разрез I, ст. 5; *б* — разрез II, ст. 17б.

тов (рис. 4.5 *б*, *в*) и аммонийного азота. То же самое наблюдается по кремнию, нитритному и нитратному азоту у дна на ст. 25, расположенной в районе свала глубин (рис. 4.5 *а*, *г*).

Таким образом, в глубоководных районах моря, значительно менее подверженных влиянию ветрового перемешивания, в результате резкого расслоения вод по солености увеличение биогенных веществ с глубиной обусловлено активизацией процессов разложения органических веществ в придонных слоях.

Юго-западная часть Северного Каспия (разрез IIIа) находится под наиболее интенсивным воздействием волжского стока, богатого биогенными веществами. Поэтому в северной части разреза, в зоне наибольшего влияния стока Волги, содержание всех минеральных форм биогенных элементов оказывается повышенным во всей толще вод от поверхности до дна. Глубины в этом районе незначительные, ветровое перемешивание охватывает всю массу воды. Однако по мере продвижения на юг начинает обнаруживаться некоторая расслоенность вод по вертикали. Так, в этом районе (ст. 5—7) отмечалось понижение содержания нитратов ко дну (рис. 4.5 *з*) и рост концентраций кремния у дна на протяжении всего разреза, начиная со ст. 3 (рис. 4.5 *д*). В то же время промежуточный слой воды оказывается несколько обедненным кремнием по сравнению с поверхностным и придонным слоями. Значительный «язык» вод с пониженным содержанием фосфатов, нитритов и аммонийного азота также отчетливо прослеживается в промежуточном слое в районе глубоководных станций разреза IIIа (рис. 4.5 *е*, *ж*). Такое вертикальное распределение биогенных элементов обусловлено, по-видимому, особенностями и сложностью циркуляции водных масс на взморье Волги в районе свала глубин (глубина более 5 м), для которого характерны двуслойные течения, особенно при наличии вертикальной стратификации плотности [122, 123].

4.3.2. Биогенный состав льда Северного Каспия

Аспекты поведения биогенных элементов, связанные с процессами ледообразования и существования ледяного покрова, изучены намного слабее по сравнению с солевым составом. До настоящего времени, например, не установлены эвтектические температуры этих компонентов не только в природных водах, но и в моносолевых растворах. Ситуация осложняется еще и тем, что биогенные элементы менее консервативны. Учитывая, что различные биохимические процессы могут не прекращаться в подледной воде, а возможно, и во льду, сравнивать биогенный состав льда и воды крайне сложно.

В середине 80-х годов сотрудником ГОИНа А. Г. Цыцариным были проведены исследования биогенного состава льда, снега и подледной воды Северного Каспия. Ниже публикуются результаты этих исследований.

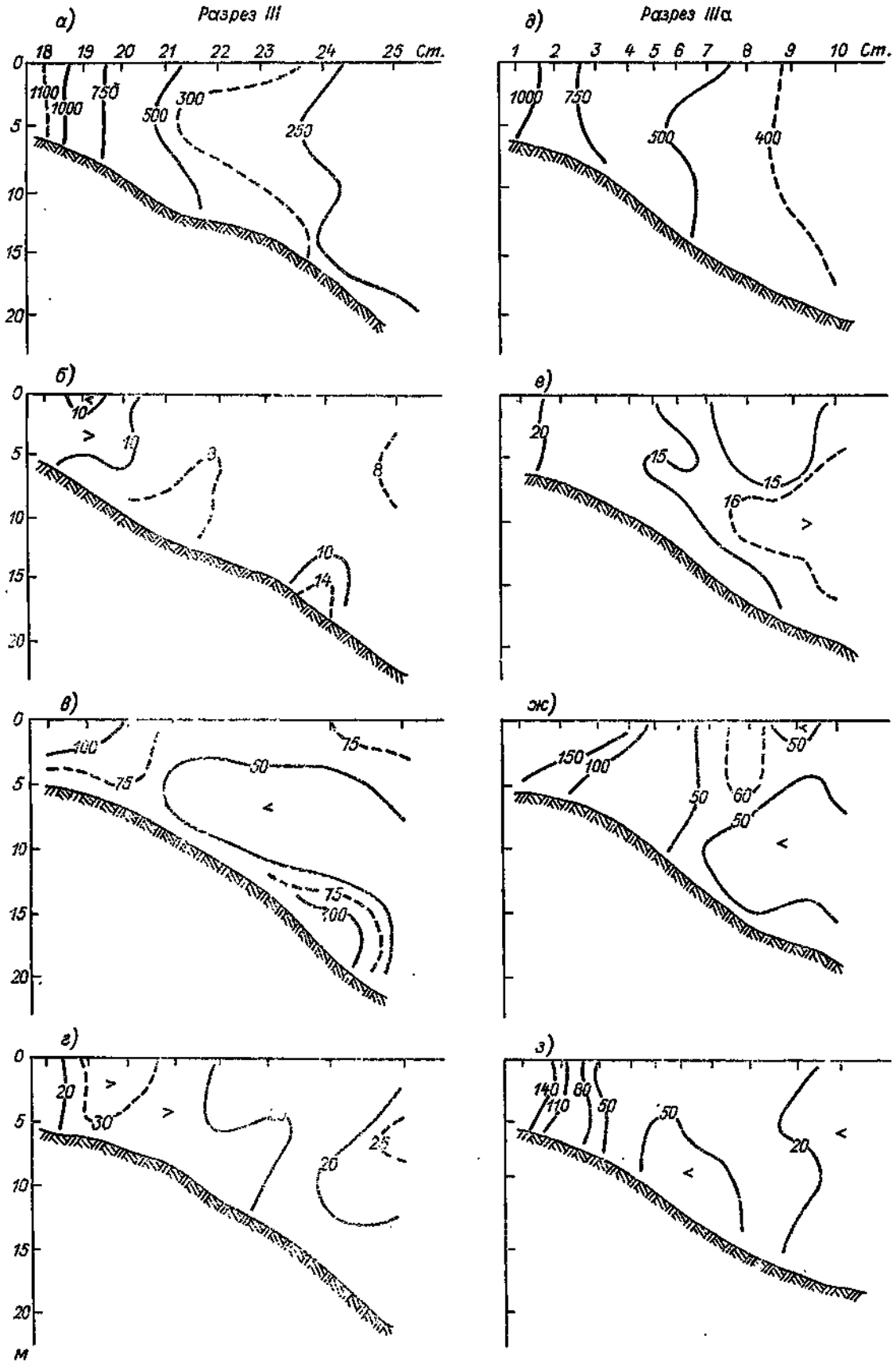


Рис. 4.5. Среднее многолетнее распределение биогенных веществ (мкг/л) на разрезах III и IIIа.
а, д — кремний; *б, е* — фосфаты; *в, ж* — аммонийный азот; *г, з* — нитраты.

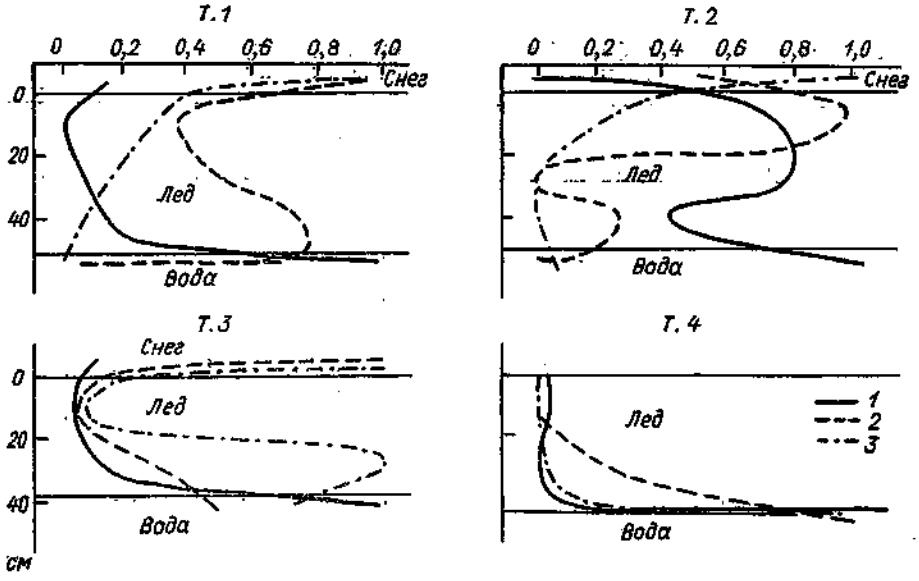


Рис. 4.6. Вертикальное распределение содержания (мкг/л) кремния (*1*), суммарного фосфора (*2*) и суммарного азота (*3*), приведенных к интервалу 0—1,0 в системе снег — лед — вода.

Растворенный кремний. В Северном Каспии существенные изменения (в точках 4—9 *) концентраций кремния во льду от 30 до 140 мкг/л, а также коэффициентов вовлечения $K_в$ кремния от 2,5 до 15 % связаны с постоянным изменением гидрохимических показателей подледной воды, в которой под воздействием речного стока концентрации кремния колеблются от 560 до 1680 мкг/л (табл. 4.14).

Увеличение $K_в$ кремния относительно $K_в$ суммы солей, по-видимому, можно объяснить его меньшей миграционной способностью по сравнению с компонентами солевого состава. В пользу этого объяснения свидетельствует и возрастание в ряде случаев концентраций кремния в верхних слоях льда, где наблюдается минимум солености (рис. 4.6).

С ростом солености льда в направлении от т. 3 к т. 1 наблюдается повышение концентрации кремния до 445—480 мкг/л и увеличение $K_в$ кремния до 40—90 % (рис. 4.7). Вертикальное распределение кремния в этих точках (см. рис. 4.6) соответствует распределению солености во льду и снеге. Лишь в т. 2 отмечались пониженные концентрации кремния в снегу и верхнем слое льда. Концентрации кремния в подледной воде превышают его концентрации во льду и снеге практически во всех точках.

Растворенный фосфор. Лед, образовавшийся из собственно волжских вод (точки 4—9), содержит суммарный фосфор $P_{вал}$ в концентрациях 50—95 мкг/л (табл. 4.14), которым соответствуют значения $K_в$ от 40 до 65 %, значительно превышающие $K_в$ суммы солей или кремния.

По-видимому, наряду с механическим захватом воды, при поступлении фосфора в лед участвует еще какой-то дополнительный фактор. Так, Гротеруд [147, 148] обнаружил отщепление во льду остатков фосфорной кислоты от природных фосфорорганических соединений. Если такой процесс действительно имеет место, то он должен играть большую роль при формировании режима биогенных элементов Северного Каспия, так как после зарегулирования р. Волги основную часть стока растворенного фосфора стали составлять органические формы [56]. Объяснением этого факта могут быть меньшая, чем у кремния, миграционная способность фосфора, а также снижение концентрации фосфора в подледной воде в результате биохимических процессов.

Вертикальное распределение фосфора во льду в большинстве случаев характеризуется увеличением его концентраций к нижним слоям льда, за исключением распределения фосфора в т. 2 (рис. 4.6). При этом во всех пробах льда отмечается преобладание органического фосфора над минеральным; в то же время в подледной воде это соотношение форм фосфора может быть и обратным (см. табл. 4.14). Значения $K_в$ органического фосфора колебались в пределах 13—44 %, $K_в$ минерального фосфора — в пределах 14—53 %.

У кромки льда $K_в$ суммарного растворенного фосфора возрастал до 140 % (т. 2) и 240 % (т. 1) (см. рис. 4.7), что в большей степени связано с понижением его концентрации в подледной

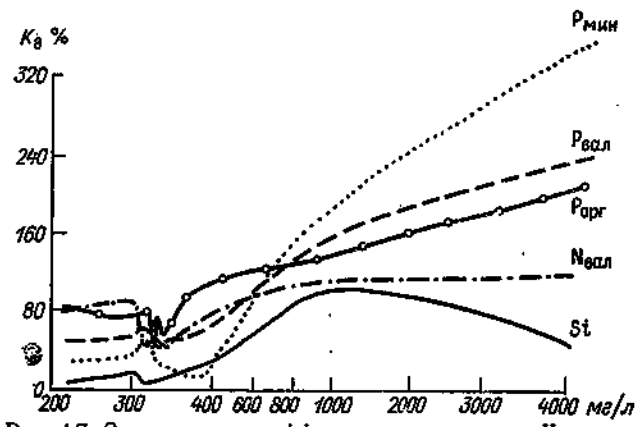


Рис. 4.7. Зависимость коэффициента вовлечения $K_в$ растворенных форм биогенных веществ от солености подледной воды в Северном Каспии.

* Схема расположения точек наблюдения представлена на рис. 2.3.

Таблица 4.14

Концентрации растворенных форм биогенных элементов (мкг/л) в наледном снегу, отдельных слоях льда (см) и подледной воде

Среда	Si	$P_{вал}$	$P_{мин}$	$P_{орг}$	$N-NH_4$	$N-NO_2$	$N-NO_3$	$N_{орг}$	$N_{вал}$
Точка 1									
Снег	541	156	25	131	4351	2,7	468	1279	6100,7
Слой льда:									
0—17	421	85	43	42	346	0,8	12	3739	4097,8
18—35	481	97	26	72	342	0,6	8	3378	3728,6
36—53	541	131	16	115	451	1,4	15	2892	3359,4
Вода	1202	44	8	36	590	0,0	8	2637	3235,0
Точка 2									
Снег	361	103	33	70	1783	0,0	625	2645	5053,0
Слой льда:									
0—17	469	137	36	101	385	0,3	30	3713	4128,3
18—35	481	72	22	50	422	4,3	26	3368	3820,3
36—52	421	89	22	66	366	1,4	12	3441	3820,4
Вода	511	71	16	55	467	1,9	58	3340	3866,9
Точка 3									
Снег	541	218	74	144	1953	0,0	619	2403	4975,0
Слой льда:									
0—19	349	50	14	36	317	0,1	8	2910	3235,1
20—39	541	90	20	70	355	1,6	15	4712	5083,6
Вода	2826	126	51	75	503	0,3	708	3349	4560,3
Точка 4									
Слой льда:									
0—21	142	88	31	57	313	3,0	8	1315	1639,0
22—43	109	103	51	52	373	5,0	5	1310	1693,0
Вода	1676	146	77	69	516	1,0	817	2593	3927,0
Точка 5									
Слой льда:									
0—18	27	50	22	26	142	6,0	6	2532	2686,0
Вода	1113	117	53	64	560	7,0	620	3709	4896,0
Точка 6									
Слой льда:									
0—17	54	72	16	56	121	4,0	4	1435	1564,0
Вода	1265	135	70	65	530	6,0	605	2075	3216,0
Точка 7									
Слой льда:									
0—19	133	47	11	36	104	3,0	8	1544	1659,0
20—39	31	62	5	57	218	0,0	10	4005	4233,0
Вода	559	103	58	45	623	4,0	615	3365	4607,0
Точка 8									
Слой льда:									
0—20	54	39	14	25	222	6,0	8	1580	1816,0
21—41	61	56	16	40	494	6,0	15	2512	3026,0
Вода	626	100	33	67	417	3,0	524	4343	5287,0
Точка 9									
Слой льда:									
0—15	70	72	15	57	176	3,0	11	4000	4190,0
16—32	70	31	15	16	235	6,0	12	4054	4307,0
Вода	1245	94	50	44	373	1,0	557	4315	5246,0

воде в этих точках — до 16 и 8 мкг/л соответственно. Возрастание средней концентрации фосфора во льду до 104 мкг/л объясняется, по-видимому, общим усилением вовлечения в лед всех компонентов солевого и биогенного состава.

Доля минерального фосфора от валового в подледной воде понижется до 23 % в т. 2 и 18 % в т. 1, а во льду, напротив, повышается до 28 %, в результате чего коэффициенты вовлечения минерального фосфора здесь оказываются больше, чем для органического фосфора (см. рис. 4.7).

Вертикальное распределение суммарного фосфора во льду и в воде в целом соответствует распределению солености и кремния (см. рис. 4.6). Отличие состоит в появлении минимума концентраций фосфатов в подледной воде, что связано с общим понижением концентрации фосфора по мере удаления от дельты Волги в сторону открытого моря. Для наледного снега в точках 1 и 3 оказываются характерными максимальные концентрации фосфора. Содержание минерального фосфора во всех пробах льда и снега в точках 1—3 (кроме верхнего слоя льда в т. 1), несмотря на резкое увеличение его $K_в$, меньше, чем содержание органического фосфора (см. табл. 4.14).

Полученные результаты, а также данные предшествующих исследований [96] показывают, что у кромки льда концентрации растворенного минерального фосфора во льду и поверхностном слое подледной воды уменьшаются в 3—5 раз по отношению к его содержанию в точках 1 и 2.

Растворенный азот. Для льда, образующегося в районе Нижней Волги и волжских каналов, характерны концентрации суммарного растворенного азота 1600—4200 мкг/л, для подледной воды этого же района — 3200—5300 мкг/л. Значения $K_в$ азота составляют 42—80 %, т. е. находятся в тех же пределах, что и для фосфора. Увеличение концентраций всех форм азота в нижних слоях льда происходит аналогично вертикальному распределению фосфора (см. рис. 4.6).

Во льду и подледной воде 50—80 % растворенного азота приходится на органические формы. Аммонийный азот составляет 5—20 % от суммарного азота, при этом его концентрации в воде в 2—3 раза выше, чем во льду ($K_в = 25... 85$ %) (см. табл. 4.14). Концентрации нитритного и нитратного азота во льду и нитритного азота в воде не превышают 5—15 мкг/л, т. е. на их долю приходится менее 1 % от суммарного азота. В то же время в воде концентрации нитратного азота оказываются относительно высокими — 10—20 % от суммарного азота (см. табл. 4.14). Таким образом, $K_в$ органического азота, хотя и меняется в широких пределах (47—93 %), оказывается выше, чем для минеральных форм азота.

В направлении кромки льда (от т. 3 к т. 1) наблюдается снижение средней взвешенной по толщине льда концентрации суммарного азота от 4200 до 3700 мкг/л. В этом же направлении концентрации суммарного азота в подледной воде уменьшаются быстрее, а $K_в$ возрастает до 102 % в т. 2 и 115 % в т. 1 (см. рис. 4.7).

Для вертикального распределения суммарного и органического азота в точках 1 и 2 характерно понижение концентраций к нижним слоям льда (рис. 4.6). Значения $K_в$ и характер вертикального распределения аммонийного и нитритного азота в точках 1—3, а также нитратного азота в т. 3 в целом соответствуют их вертикальному распределению в точках 4—9 (см. табл. 4.14).

В точках 1 и 2 отмечается понижение концентраций нитратного азота в подледной воде на 1—2 порядка, в т. 2 — возрастание его концентраций во льду до 20 мкг/л. Значения $K_в$ нитратного азота в направлении открытой части моря возрастают до 38 и 140 %. Можно предположить, что это связано с преимущественным поступлением нитратов в лед (в отличие от других форм азота) при механическом захвате воды, хотя не исключена также возможность воздействия некоторых биохимических факторов.

Ранее наблюдавшиеся в районе кромки льдов Северного Каспия концентрации нитритов во льду и подледной воде были в тех же пределах [96], что и в точках 1—2; концентрации нитритов были в 2—6 раз большими для подледной воды и на порядок большими для льда, что в свою очередь можно объяснить значительным поступлением нитратов в море с атмосферными осадками [103].

В наледном снегу (точки 1—3) наблюдается значительное повышение концентрацнй растворенного азота в основном за счет аммонийного и нитратного азота. Их концентрации на порядок выше, чем во льду или подледной воде (см. табл. 4.14). На долю органического азота в этих точках приходится значительно меньшая часть растворенного азота, что, по-видимому, обусловлено существенным поступлением минеральных форм азота с атмосферными осадками, а также поглощением атмосферного аммиака снежным покровом, о чем свидетельствуют данные некоторых исследований [103]. При этом надо иметь в виду, что происхождение атмосферного аммиака может быть как за счет антропогенного фактора в результате промышленных выбросов в атмосферу, так и естественное, как, например, образование абиотического аммиака при помощи естественного катализатора — двуокиси титана, содержащегося в песке пустынь [141]. С такой точкой зрения неплохо согласуется увеличение в данном регионе концентраций аммонийного азота в юго-восточном направлении.

Таким образом, для компонентов биогенного состава льда характерны значения $K_в$ в 2—3 раза большие, чем для компонентов солевого состава.

В результате замерзания растекающейся подо льдом волжской воды, богатой биогенными элементами, и общего усиления процессов вовлечения солей в лед в направлении кромки льда, концентрации растворенного фосфора и азота во льду в зоне смешения вод в Северном Каспии возрастают в 1,5—2,0 раза по сравнению с подледной водой этого района или льдом, образующимся в районе Нижней Волги. При этом наблюдается увеличение доли минерального растворенного фосфора.

Наледный снег характеризуется увеличением по сравнению со льдом концентраций биогенных элементов, особенно растворенного азота.

Таким образом, лед Каспийского моря можно рассматривать как своеобразный аккумулятор и одновременно трансформатор биогенных веществ, поступающих в море с речным стоком и из атмосферы.

4.3.3. Сезонные и многолетние изменения содержания фосфатов и их распределение

Распределение фосфатов в зимний период

В связи с тем что наблюдения за содержанием фосфатов в водах Северного Каспия в зимний период почти не проводились, поведение компонентов биогенного состава, связанное с процессами ледообразования, было изучено мало. Только в середине 80-х годов биогенный состав льда Северного Каспия исследовался ГОИНом [138]. Результаты этих исследований представлены в п. 4.3.2.

Зимой в районе водообмена между Северным и Средним Каспием на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак концентрации фосфатов в поверхностном слое колеблются в пределах 10 мкг/л (табл. 4.15). Среднее многолетнее содержание фосфатов в зимний период за 1969—1983 гг. в целом по разрезу в поверхностном слое составило около 20 мкг/л, что в 2 и 1,5 раза превышает концентрации, полученные соответственно в разные периоды исследования [65, 100]. В течение 1969—1988 гг. рост содержания фосфатов на периферийных станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак, как правило, достигал 27 мкг/л. Распределение фосфатов в поверхностном и придонном горизонтах на большей части разреза оказывалось одинаковым, но на горизонте 10 м, там, где ранее отмечалось наличие подповерхностного максимума кислорода, содержание фосфатов практически всегда меньше, чем в поверхностном и придонном горизонтах (особенно четко это проявилось на станциях 2 и 5).

В зимний период повышенными значениями фосфатов характеризуются прибрежные части моря, примыкающие к району водообмена между Северным и Средним Каспием. Мелководность этих районов определила и однородное распределение фосфатов по всей водной толще. В западной части максимум фосфатов был обнаружен в районе устьевого взморья Терека, где он составил более 30 мкг/л (табл. 4.16). В зоне восточного мелководья, также примыкающего к району водообмена, содержание фосфатов в зимнее время было высоким. Так, в районе Форт-Шевченко оно достигало почти 30 мкг/л, а в районе м. Бекдаш — превышало 40 мкг/л на поверхности и у дна (табл. 4.17).

В предшествующих исследованиях зимой отмечалось довольно однородное распределение фосфатов в открытой части Среднего Каспия; вертикальные градиенты концентраций фосфатов были незначительными до горизонтов 200—300 м (в зависимости от степени суровости зимы) вследствие

Таблица 4.15

Основные статистические характеристики фосфатов (мкг/л) на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак в разные сезоны за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность				Горизонт 10 м				Дно			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
						Зима						
1	7	27	32	118	—	—	—	—	5	26	23	91
2	6	16	22	139	5	8	10	118	5	11	12	108
3	7	19	21	108	5	12	11	95	5	11	11	95
4	6	17	10	58	5	13	10	76	5	14	12	91
5	7	25	20	78	5	71	16	76	5	28	20	72
6	7	18	16	89	5	21	17	78	5	29	22	77
7	7	27	17	65	—	—	—	—	5	26	23	90
						Весна						
1	7	22	21	95	—	—	—	—	5	19	20	104
2	9	12	14	111	6	19	33	179	8	20	27	133
3	12	17	17	97	9	11	10	88	10	20	21	105
4	11	20	30	147	7	6	4	70	9	11	14	126
5	10	12	10	83	9	9	9	100	10	12	18	149
6	8	9	10	113	8	19	31	161	8	7	7	100
7	12	12	8	68	—	—	—	—	11	16	13	83
						Лето						
1	15	27	29	106	—	—	—	—	12	19	15	81
2	12	24	26	108	11	23	23	97	12	27	33	122
3	16	24	20	84	14	20	23	114	14	17	20	119
4	16	29	27	92	13	19	18	97	14	22	20	88
5	17	21	24	115	13	24	24	98	15	22	19	85
6	16	27	23	86	13	24	25	103	13	17	21	122
7	16	31	26	83	—	—	—	—	14	27	19	69
						Осень						
1	12	32	29	91	—	—	—	—	10	31	22	71
2	13	36	30	85	9	31	28	91	10	25	28	114
3	11	23	17	81	11	25	24	97	11	19	17	90
4	6	17	10	58	5	13	10	76	5	14	12	91
5	7	25	20	78	5	21	16	76	5	28	20	72
6	7	18	16	89	5	21	17	78	5	29	22	77
7	7	27	17	65	—	—	—	—	5	26	23	90

Таблица 4.16

Средние многолетние сезонные концентрации соединений фосфора (мкг/л) на взморьях рек Терека и Самура

Период наблюдений, годы	Ингредиент	Зима		Весна		Лето		Осень	
		Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Взморье р. Терека									
1974—1984	$P_{мин}$	32	31	36	36	27	26	33	33
1980—1985	$P_{вал}$	—	—	54	45	44	44	65	58
Взморье р. Самура									
1974—1984	$P_{мин}$	27	26	22	20	30	27	31	28

интенсивной зимней вертикальной циркуляции в этой части моря [65]. Авторы этих исследований сделали ряд весьма важных выводов относительно факторов, влияющих на распределение фосфатов в течение всего года, в том числе и в зимнее время, в Среднем Каспии:

— вдоль западного берега существует перенос вод на юг, что обусловливает повышенные концентрации фосфатов в этом районе вплоть до Апшеронского полуострова;

— в этом районе преобладает циклонический характер циркуляции, что способствует поднятию к поверхности глубинных вод, богатых биогенными веществами;

— теплые и обедненные биогенными веществами южнокаспийские воды проникают в восточную часть Среднего Каспия почти до Казахского залива.

По данным зимних наблюдений за 1961—1980 гг., в западной части Среднего Каспия в слое 0—100 м также наблюдалось повышенное содержание фосфатов (более 20—30 мкг/л); в восточной половине разреза Дивичи—Кендерли оно в этом же слое моря снижалось до 20—15 мкг/л. С глубиной концентрации фосфатов равномерно повышались и у дна достигали 45 мкг/л (рис. 4.8).

В течение 1981—1985 гг. в зимнее время (рис. 4.8 б) произошло существенное уменьшение концентрации фосфатов во всей толще вод Среднего Каспия от поверхности до дна. В то же время характер распределения фосфатов остался прежним: в западной части моря, в зоне влияния пресных вод, концентрации фосфатов в верхнем 100-метровом слое по-прежнему выше (20 мкг/л), чем в восточной части (10 мкг/л). В центральной части разреза в слое 0—100 м содержание фосфатов не превышало 10—15 мкг/л; в слое 100—200 м оно постепенно увеличивалось до 20 мкг/л. Для остальной толщи вод до дна был характерен незначительный рост концентрации фосфатов до 25 мкг/л.

Авторы предшествующих исследований проследили изменения в режиме фосфатов в многолетнем аспекте [1, 65, 75, 100].

Этими работами было показано, что по сравнению с результатами исследований, проведенных на Каспии в 30-х годах, в последующие годы произошли значительные изменения в распределении биогенных веществ не только в водах Северного Каспия, где они были обусловлены количественными и качественными изменениями химического стока Волги, но и в глубоководных частях Каспийского моря, где происходило усиление вертикального обмена и аэрации придонных слоев, способствующее вовлечению в процессы формирования биопродуктивности запасов биогенных веществ из зоны их аккумуляции и даже из донных отложений.

Средние многолетние данные, характеризующие содержание фосфатов в зимний период за 1961—1985 гг., показали их увеличение по сравнению с периодом 1958—1962 гг. по всей водной толще разреза Дивичи—Кендерли, за исключением слоя 150—300 м, где изменений не произошло (табл. 4.18).

Изучение динамики фосфатов на станциях 4 и 6 разреза Дивичи—Кендерли при различном положении уровня моря показало, что в период понижения уровня моря происходил значительный рост концентрации фосфатов по всей водной толще: максимальное ее увеличение наблюдалось

Таблица 4.17

Средние многолетние сезонные концентрации фосфатов (мкг/л) в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия

Район	Период наблюдений, годы	Зима		Весна		Лето		Осень	
		Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Средний Каспий									
Район Махачкалы	1974—1984	25	24	27	25	23	27	25	25
Район Форт-Шевченко	1967—1985	26	27	18	17	30	26	16	12
Район м. Бекдаш	1967—1985	44	43	34	31	28	24	25	20
Южный Каспий									
Бакинская бухта	1967—1985	49	43	54	47	68	50	54	90
Сумгант		38	36	38	36	34	40	28	24
Туркменский залив		25	23	21	19	25	20	30	31
Район п-ова Челекен		22	21	18	15	51	43	33	21
Красноводский залив		49	59	24	—	48	—	45	41
Ленкорань		66	81	37	46	39	44	45	45
Взморье р. Куры		42	—	45	—	75	—	49	—

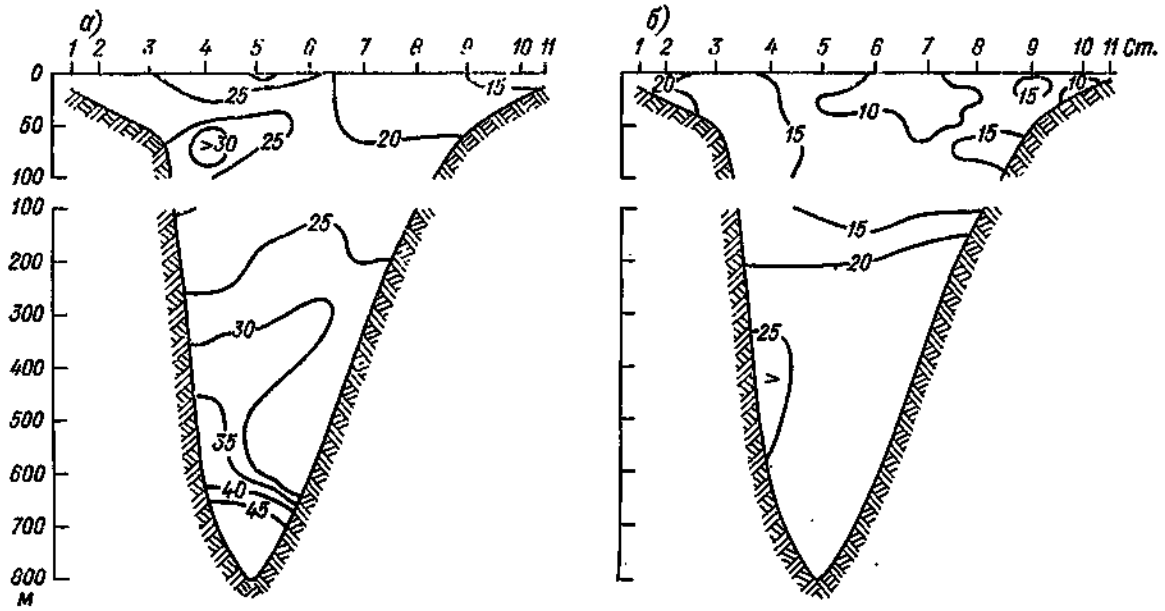


Рис. 4.8. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) на разрезе Дивичи—Кендерли зимой в 1961—1980 гг. (*а*) и 1981—1985 гг. (*б*).

в слое 50—100 м и достигало 45—70 мкг/л (ст. 4); в слое 75—100 м и на горизонте 250 м (ст. 6) — соответственно 25—30 и около 50 мкг/л. Повышение уровня моря отличалось резким снижением концентраций фосфатов на всех горизонтах, особенно существенным оно было на ст. 4 (табл. 4.19).

Наибольшей изменчивостью характеризуются значения, полученные по прибрежным станциям разреза Дивичи—Кендерли: здесь в зимний период коэффициенты вариации значительно превышают 100 % (табл. 4.20).

Район Апшеронского порога отличается большой активностью гидрометеорологических процессов, обусловливающих интенсивную подвижность вод и практически полное их перемешивание в некоторые сезоны до дна. Ряд исследователей обнаруживали в этом районе весьма пеструю картину распределения фосфатов в зимний период [100].

В настоящей работе была также предпринята попытка выявить определенные закономерности в распределении фосфатов на разрезе о. Жилой — м. Куули в зимний период. По данным средних многолетних наблюдений за 1961—1980 гг., повышенные концентрации фосфатов отмечались на периферийных станциях разреза; в районе западного мелководья они были максимальными (35—40 мкг/л), в центральной части разреза в деятельном слое моря — снижались до 15 мкг/л, возрастая ко дну до 30—35 мкг/л (рис. 4.9). В течение 1981—1985 гг. выявленные ранее закономерности в распределении фосфатов в холодный период года сохранялись по площади и по вертикали. В то же время отмечалось уменьшение концентраций фосфатов в районе Апшеронского порога в 1,5—2,0 раза (рис. 4.9 *б*).

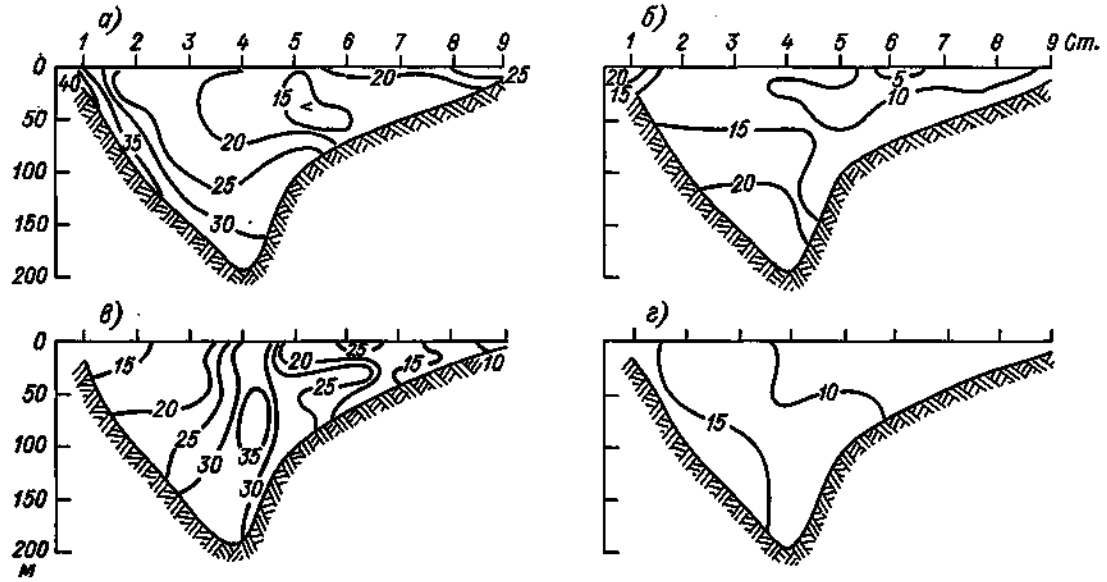


Рис. 4.9. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) на разрезе о. Жилой — м. Куули зимой (*а*, *б*) и весной (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

Таблица 4.18

Изменение средних многолетних концентраций фосфатов (мкг/л) в водах Среднего и Южного Каспия за отдельные периоды исследования

Горизонт, м	Зима			Весна			Лето			Осень		
	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	12	19	7	4	21	17	6	19	13	7	19	12
10	10	19	9	—	19	—	—	13	—	—	19	—
25	12	20	8	4	19	15	3	18	15	7	19	12
50	14	21	7	10	21	11	6	24	18	9	22	13
75	14	21	7	14	18	4	—	30	—	—	20	—
100	15	21	6	19	19	0	9	26	17	11	22	11
150	22	22	0	25	22	—3	11	24	13	—	26	—
200	24	24	0	27	27	0	18	14	—4	18	28	10
300	26	24	—2	28	30	2	25	16	—9	16	33	17
400	—	29	—	37	29	—8	27	18	—9	22	33	11
500	22	28	6	39	34	—5	33	(27)	(—6)	37	36	—1
600	20	25	5	44	34	—10	40	(29)	(—11)	37	40	3
700	—	—	—	—35	—	—	31	—	—	40	—	—
750	16	—	—	—	—	—	33	—	—	44	—	—
800	—	44	—	47	38	—9	—	(24)	—	—	38	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	16	23	7	7	19	12	11	16	5	2	21	19
10	14	18	4	5	16	11	7	—	—	1	—	—
25	11	18	7	5	19	14	5	—	—	2	—	—
50	15	17	2	7	19	12	12	20	8	4	20	16
75	19	20	1	13	22	9	—	—	—	—	—	—
100	17	24	7	18	25	7	24	35	11	8	28	20
150	22	26	4	23	28	5	13	—	—	14	—	—
200	23	31	8	28	27	—1	24	34	10	16	24	8
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	10	25	15	6	19	13	13	21	8	1	22	21
10	9	21	12	—	17	—	—	14	—	—	19	—
25	7	20	13	3	15	12	8	16	8	2	19	17
50	6	25	19	4	20	16	17	15	—2	3	20	17
75	—	24	—	—	17	—	—	16	—	—	20	—
100	12	29	17	7	21	14	22	18	—4	7	21	14
150	—	32	—	19	25	6	15	23	8	—	22	—
200	19	35	16	19	29	10	33	28	—5	16	24	8
300	22	38	16	34	33	—1	37	31	—6	20	24	4
400	28	41	13	37	38	1	41	34	—7	26	26	0
500	23	40	17	39	38	—1	37	30	—7	30	30	0
600	—	46	—	35	35	0	43	31	—12	38	31	—7
700	28	—	—	—	—	—	48	—	—	46	—	—
750	24	—	—	41	—	—	57	—	—	—	—	—
800	—	45	—	43	46	3	55	27	—28	—	38	—

Примечания. 1. В скобках представлены значения, полученные по неполному ряду наблюдений. 2. Δ — разность между значениями в 1962—1985 и 1958—1962 гг.

Таблица 4.19

Изменение содержания минерального фосфора (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	24	34	10	20	—14	10	18	8	14	—4
10	15	45	30	18	—27	5	21	16	17	—4
20	10	38	28	20	—18	4	21	17	18	—3
30	11	36	25	20	—16	6	17	11	15	—2
50	10	77	67	22	—55	5	23	18	15	—8
75	10	66	56	23	—43	5	29	24	19	—10
100	10	54	44	20	—34	7	35	28	21	—14
150	12	45	33	19	—26	15	28	13	23	—5
200	16	36	20	20	—16	21	20	—1	27	7

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
250	12	50	38	22	—28	28	75	47	25	—50
300	16	52	36	24	—28	16	14	—2	—	—
400	12	54	42	30	—24	27	—	—	—	—
500	24	54	30	36	—18	37	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	33	23	—10	23	0	38	23	—15	19	—4
10	14	25	—11	14	—11	21	21	0	15	—6
20	10	23	—13	19	— 4	13	14	1	16	2
30	19	15	— 4	18	3	11	17	6	15	—2
50	36	15	—21	15	0	6	20	14	11	—9
75	38	22	—16	21	— 1	19	21	2	18	—3
100	36	22	—14	26	4	29	22	—7	23	1
150	36	30	— 6	30	0	38	36	—2	30	—6
200	37	38	1	27	—11	48	37	—11	29	—8
250	37	40	3	37	— 3	44	39	—5	31	—8
300	39	41	2	31	—10	42	42	0	32	—10
400	42	44	2	30	—14	39	44	5	33	—11
500	48	46	— 2	36	—10	45	46	1	33	—13
600	55	52	— 3	37	—15	54	47	—7	38	—9
800	59	42	—17	37	— 5	—	—	—	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 4.24, 4.28, 4.30 Δ — разность между значениями в 1970—1977 и 1962—1969 гг.; Δ_1 — разность между значениями в 1978—1985 и 1970—1977 гг.

Таблица 4.20

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	14	24	25	105	12	25	25	97	14	20	23	114
10	14	17	22	126	12	23	22	98	14	14	19	131
20	14	19	23	120	12	23	25	108	14	19	21	111
30	14	21	25	117	12	23	23	99	12	17	20	115
50	13	20	26	129	12	23	23	102	—	—	—	—
75	—	—	—	—	12	22	22	105	—	—	—	—
100	—	—	—	—	12	21	24	116	—	—	—	—
150	—	—	—	—	12	26	25	95	—	—	—	—
200	—	—	—	—	12	29	25	86	—	—	—	—
300	—	—	—	—	11	31	28	90	—	—	—	—
400	—	—	—	—	11	30	26	87	—	—	—	—
500	—	—	—	—	9	25	20	83	—	—	—	—
600	—	—	—	—	6	25	19	84	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	16	23	14	60	16	29	38	130	15	34	45	133
10	16	22	14	66	16	17	14	84	15	23	25	111
20	16	22	23	103	16	22	23	107	—	—	—	—
30	16	20	13	66	16	19	15	81	—	—	—	—
50	15	20	14	69	15	15	12	79	—	—	—	—
75	15	22	16	72	11	15	12	83	—	—	—	—
100	15	22	16	72	—	—	—	—	—	—	—	—
150	15	28	18	64	—	—	—	—	—	—	—	—
200	10	33	15	46	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	14	28	18	65	13	29	28	98	13	20	18	89
10	14	27	25	94	13	20	13	65	13	15	12	78
20	14	25	23	91	13	15	12	77	13	15	14	88
30	14	26	28	111	13	14	11	81	10	13	13	100
50	14	27	25	91	13	14	12	84	—	—	—	—
75	14	25	26	106	12	20	12	58	—	—	—	—
100	14	42	55	129	13	26	19	73	—	—	—	—
150	14	31	23	74	13	37	18	50	—	—	—	—
200	13	37	20	56	13	42	15	35	—	—	—	—
250	9	34	16	46	13	40	15	37	—	—	—	—
300	6	37	22	59	13	40	17	41	—	—	—	—
400	—	—	—	—	12	41	20	49	—	—	—	—
500	—	—	—	—	11	43	24	54	—	—	—	—
600	—	—	—	—	9	49	26	54	—	—	—	—
800	—	—	—	—	4	56	36	66	—	—	—	—

Прибрежное мелководье, на западе и востоке примыкающее к этому району, характеризуется высоким содержанием фосфатов и однородным их распределением от поверхности до дна. Максимальные концентрации фосфатов были обнаружены в водах Бакинской бухты и Красноводском заливе — 45 и 55 мкг/л соответственно (см. табл. 4.17).

Сравнение данных по фосфатам за 1962—1985 гг. с аналогичными данными, полученными в 1958—1962 гг. в зимний период [100], свидетельствует об увеличении содержания фосфатов во всей водной толще в районе Апшеронского порога (см. табл. 4.18).

Наибольшей изменчивостью в зимний период года характеризуются концентрации фосфатов в деятельном слое района водообмена между Средним и Южным Каспием, где коэффициенты вариации возрастали до 130 % (см. табл. 4.20).

Предшествующими исследователями [65, 100] установлен ряд особенностей в распределении фосфатов в зимний период в Южном Каспии:

— наличие максимальных концентраций фосфатов в районе западного побережья и на востоке в районе свала глубин;

— наличие минимальных концентраций фосфатов в районах восточных мелководий, где при достаточно высоких температурах воды и зимой происходит их интенсивное потребление в процессе фотосинтеза;

— повышенная концентрация фосфатов в поверхностном горизонте моря в зоне свала глубин, обусловленная подъемом вод, а в ряде случаев и деятельностью грязевых вулканов.

Были также исследованы и факторы, влияющие на распределение биогенных веществ в Среднем и Южном Каспии:

— суровость зимы, определяющая глубину конвективного перемешивания и степень обогащения верхнего эвфотического слоя биогенными веществами, поступающими из зоны их аккумуляции;

— накопление в поверхностном микрослое биогенных веществ [114];

— чередование областей поднятия и опускания вод в западной части Южного Каспия, обусловливающее формирование зон, обогащенных и обедненных биогенными веществами в этой части моря;

— роль куринского стока в увеличении содержания биогенных веществ в поверхностном слое западной части Южного Каспия и т. п.

Обобщение материалов наблюдений за 1960—1980 гг., которое провели авторы настоящей работы, показало, что зимой в Южном Каспии в верхнем деятельном слое 0—100 м концентрации фосфатов колебались в пределах 20—25 мкг/л незначительно, уменьшаясь в слое 0—25 м в направлении с запада на восток. У западного берега на глубине 50 м содержание фосфатов возрастало до 45 мкг/л. На границе верхнего деятельного слоя и зоны накопления (~100 м) различие в содержании фосфатов между западной и восточной частями Южного Каспия было более существенным. Если в западном районе концентрации фосфатов составляли 40 мкг/л и более, то на востоке — около 30 мкг/л; ниже 100 м ко дну они повышались до максимальных значений, достигающих 55 мкг/л (рис. 4.10).

Обобщение средних многолетних данных наблюдений показало, что в течение 1981—1985 гг. по сравнению с периодом 1960—1981 гг. произошли значительные изменения в распределении фосфатов в Южном Каспии зимой. Прежде всего это выразилось в снижении концентрации фосфатов по всей водной толще, аналогичное тому, что было отмечено и в Среднем Каспии, и в заметном уменьшении их различий между верхними и глубинными водами. Содержание фосфатов изменяется на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский от 10 до 30 мкг/л; наименьшие значения находятся на глубинах 50—75 м, максимальные — приурочены к глубинным и придонным водам западной части котловины (500—800 м) (рис. 4.10 *б*).

Наиболее детально было рассмотрено горизонтальное распределение фосфатов в Среднем и Южном Каспии в зимний сезон 1981—1985 гг. на глу-

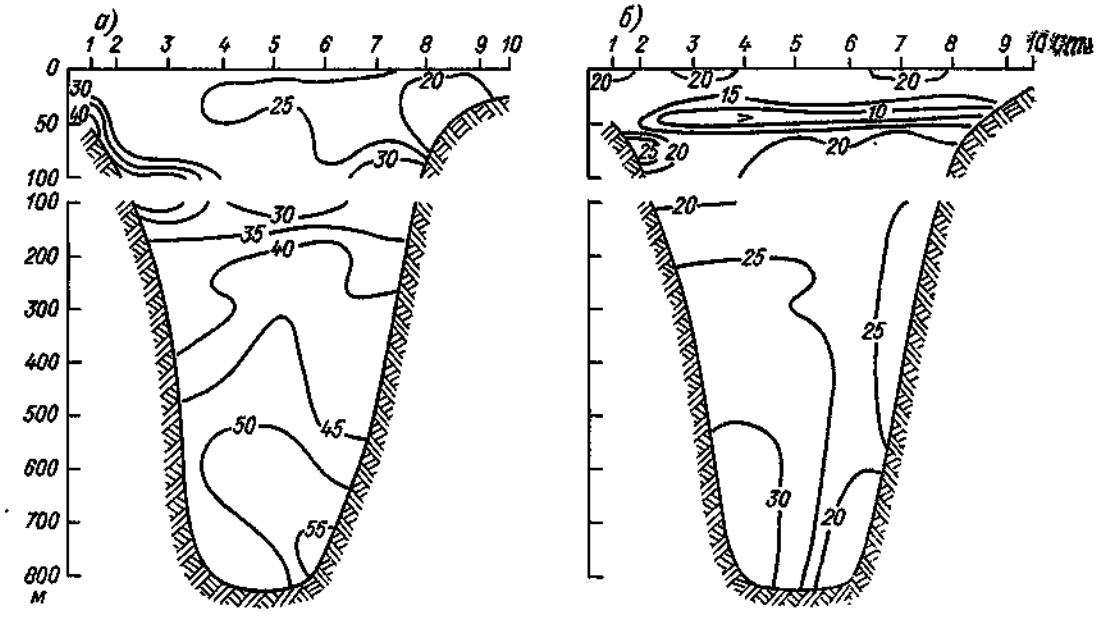


Рис. 4.10. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский зимой в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

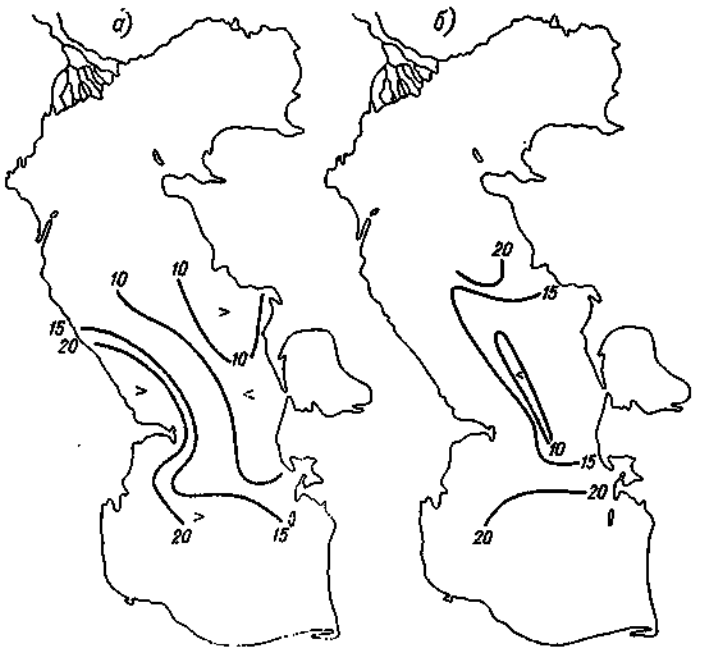


Рис. 4.11. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой на поверхности (*а*) и на горизонте 100 м (*б*).

бинах 0; 50 и 100 м, что соответствует поверхностным водам, нижней границе пикноклина и нижней глубине проникновения зимней вертикальной циркуляции.

На поверхности моря в Среднем и Южном Каспии концентрации фосфатов изменялись от 10 до 20 мкг/л. В Среднем Каспии зона повышенных и максимальных значений находилась в западной части моря; наименьшие концентрации фосфатов были отмечены в центральной глубоководной его части (8—10 мкг/л). В Южном Каспии в восточной части моря наблюдался рост концентрации фосфатов по сравнению с более северными районами моря до 14—20 мкг/л (рис. 4.11).

На глубине 50 м общий характер распределения фосфатов в Среднем и Южном Каспии оставался таким же, как на поверхности. Однако концентрации почти во всех районах были заметно ниже, чем в поверхностных водах: в западной части Среднего Каспия максимум содержания фосфатов не превышал 15 мкг/л.

На границе зоны обеднения и накопления на глубине 100 м распределение фосфатов отлично от вышележащих горизонтов. Наименьшие концентрации (ниже 10 мкг/л) находились в центральной части Среднего Каспия и на Апшеронском пороге. На остальной акватории моря преобладали значения в диапазоне 15—20 мкг/л, которые на Апшеронском пороге имели явную тенденцию к понижению в восточном направлении. В Среднем Каспии, в его восточной части, отмечалась тенденция к понижению содержания фосфатов с севера на юг до их минимума на Апшеронском пороге (5—10 мкг/л). В Южном Каспии, концентрации фосфатов вновь повышаются до 20—25 мкг/л (рис. 4.11 *б*).

В районах западного побережья Южного Каспия, Ленкорани и взморья р. Куры, средняя концентрация фосфатов в зимний период достигала наиболее высоких значений, особенно в районе Ленкорани — 65 мкг/л на поверхности и 80 мкг/л у дна (см. табл. 4.17). Резкое повышение содержания фосфатов в этих районах обусловлено тем, что они находятся под большим влиянием куринских вод, богатых биогенными веществами, хотя известно, что общий биогенный сток Куры в море после его зарегулирования в значительной степени сократился [65]. В то же время в восточной прибрежной части моря, в районах Туркменского залива и п-ова Челекен, содержание фосфатов было в 3—4 раза ниже, чем у западного побережья моря.

По сравнению с данными, полученными в зимний период в 1958—1962 гг. [100], среднее содержание фосфатов в Южном Каспии в течение последующего 25-летнего периода возросло на поверхности и глубоководных горизонтах более чем в 2 раза (см. табл. 4.18).

Распределение фосфатов в весенний период

Минимум содержания фосфатов в водах Северного Каспия отмечается в апреле, что объясняется весенней вспышкой развития фитопланктона в море, а также тем, что паводковые воды в этот период поступают в море еще не в полном объеме.

Многолетние наблюдения, проведенные в течение 1961—1983 гг., позволили проанализировать распределение фосфатов на акватории Северного Каспия в весенний сезон (рис. 4.12 *а*).

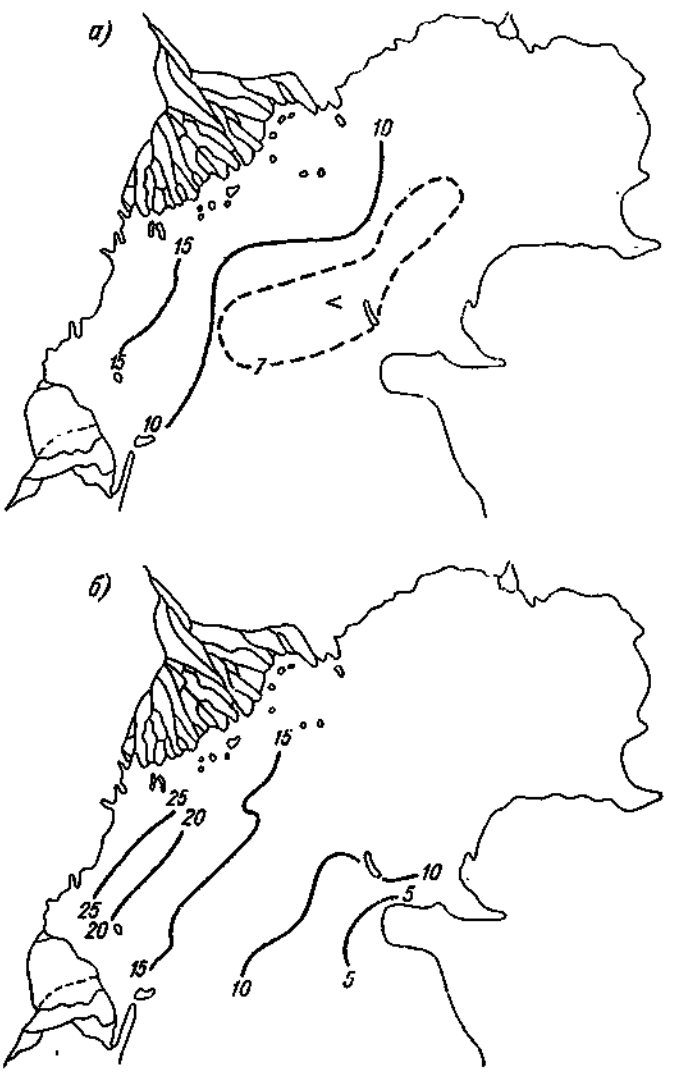


Рис 4.12. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение фосфатов (мкг/л) в Северном Каспии весной (*а*) и осенью (*б*).

В восточной части Северного Каспия (разрез I) оно оказывается довольно однородным при незначительном понижении концентраций фосфатов в районе Уральской бороздины.

Северные станции векового разреза II находятся под влиянием волжского стока, южная часть разреза — под влиянием морских вод, поступающих из Среднего Каспия. В связи с этим наблюдается закономерное уменьшение концентраций фосфатов в Северном Каспии по мере продвижения с севера на юг с 13 до 6 мкг/л.

В центральном районе западной части Северного Каспия (вековой разрез III) весной отмечалось однородное распределение фосфатов по всему разрезу, за исключением северной станции, где содержание фосфатов было максимальным, что объясняется непосредственным влиянием речного стока, богатого биогенными веществами. Наиболее же высокими концентрациями фосфатов в Северном Каспии характеризуется западный район (разрез IIIа), который находится полностью под влиянием волжского стока.

Высокая динамичность вод Северного Каспия весной обусловливает и значительную изменчивость концентраций фосфатов в это время года. При этом естественно, что максимальные значения показателей изменчивости относятся к районам, находящимся под непосредственным влиянием пресного стока — разрезы II и IIIа (табл. 4.21).

С помощью расчета линейного тренда было обнаружено повышение среднего многолетнего содержания фосфатов в водах Северного Каспия весной на 3,5 мкг/л в течение периода 1960—1985 гг., который характеризуется возросшим использованием фосфорсодержащих удобрений в сельском хозяйстве в бассейне Волги. В связи с этим рост фосфатов в водах Северного Каспия объясняют смывом вносимых в почву фосфорсодержащих удобрений при высоких уровнях половодья, а также и естественным усиленным поступлением биогенных веществ с территории бассейна во время паводка.

Весной в районе водообмена между Северным и Средним Каспием, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, концентрации фосфатов, как правило, на всех станциях разреза уменьшаются по сравнению с зимним периодом. Особенно существенно это проявляется в восточной части района водообмена от поверхности до дна. В отличие от зимнего распределения, весной максимум содержания фосфатов обнаруживается в западной части района водообмена. В то же время на горизонте 10 м в районе станций 3, 4, 5 (там, где был обнаружен подповерхностный максимум в содержании кислорода) наблюдается подповерхностный минимум в распределении фосфатов (см. табл. 4.15). По-видимому, в целом такое распределение фосфатов в районе водообмена обусловлено, с одной стороны, влиянием паводковых волжских вод, богатых биогенными веществами, что повышает концентрацию фосфатов в западной части района, с другой — усилением фотосинтетических процессов, которые способствуют снижению содержания фосфатов во всей водной толще и создают предпосылки для образования подповерхностного минимума их концентрации.

В районах устьевых взморий Терека и Самура концентрации фосфатов в весенний период оставались практически на уровне зимних, которые были довольно высокими, особенно в районе устьевого взморья Терека — около 40 мкг/л на поверхности и у дна (см. табл. 4.16). На востоке, в районах м. Бекдаш и Форт-Шевченко, содержание фосфатов по сравнению с зимним периодом снизилось, это сезонное различие составило около 10 мкг/л (см. табл. 4.17).

Авторы ранее проводимых исследований сделали ряд выводов относительно закономерностей в распределении фосфатов в водах Среднего Каспия в весенний период [65, 100]. При этом они отмечали следующее:

— увеличение горизонтальных градиентов содержания фосфатов в слое фотосинтеза;

— наличие максимальных концентраций в западной области района благодаря влиянию волжского стока (40—45 мкг/л);

— наличие повышенных значений (15—20 мкг/л) в центральном районе Каспия, обусловленное циклоническим круговоротом;

— снижение содержания фосфатов (10—12 мкг/л) в южной части Среднего Каспия.

Таблица 4.21

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Северном Каспии весной за 1961—1983 гг.

Номер станции разреза	Слой 0—2,5 м				Поверхность — дно			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Восточная часть (разрез I)								
1	35	7	7	100	52	7	7	100
2	25	7	6	86	50	6	6	100
3	26	6	5	93	52	8	14	175
4	27	9	15	167	52	8	11	137
5	26	8	7	87	52	9	9	100
6	26	7	7	100	52	7	6	86
7	26	7	9	128	54	7	8	114
8	25	6	6	100	57	7	10	146
9	27	6	5	86	55	5	5	100
10	26	6	7	117	51	9	17	189
Район водообмена между западной и восточной частью (разрез II)								
12	36	15	22	147	50	13	19	146
13	26	12	18	150	51	12	19	158
14	26	12	16	133	52	10	14	140
15	26	7	8	114	52	7	8	114
16	25	7	8	114	51	6	7	117
17	24	7	7	100	50	7	8	114
17а	8	7	12	171	16	6	10	167
17б	8	3	5	167	25	2	4	200
Западная часть (разрезы III и IIIа)								
18	32	11	11	100	52	11	10	90
19	27	7	5	71	52	8	7	87
20	24	7	6	86	50	6	6	100
21	26	8	9	112	56	8	8	100
22	24	7	6	86	74	7	7	100
23	26	6	4	67	83	6	5	83
24	24	6	5	82	84	7	6	87
25	25	6	5	82	122	7	7	100
1	14	16	17	106	28	17	17	100
2	14	16	15	93	28	14	13	94
3	14	10	10	100	28	13	15	115
4	14	13	17	130	29	13	15	115
5	14	11	13	118	32	10	12	120
6	14	11	11	100	37	13	16	123
7	14	12	12	100	39	11	14	127
8	12	11	11	100	45	12	14	117
9	12	11	12	110	49	11	12	109
10	12	8	10	125	50	9	11	122

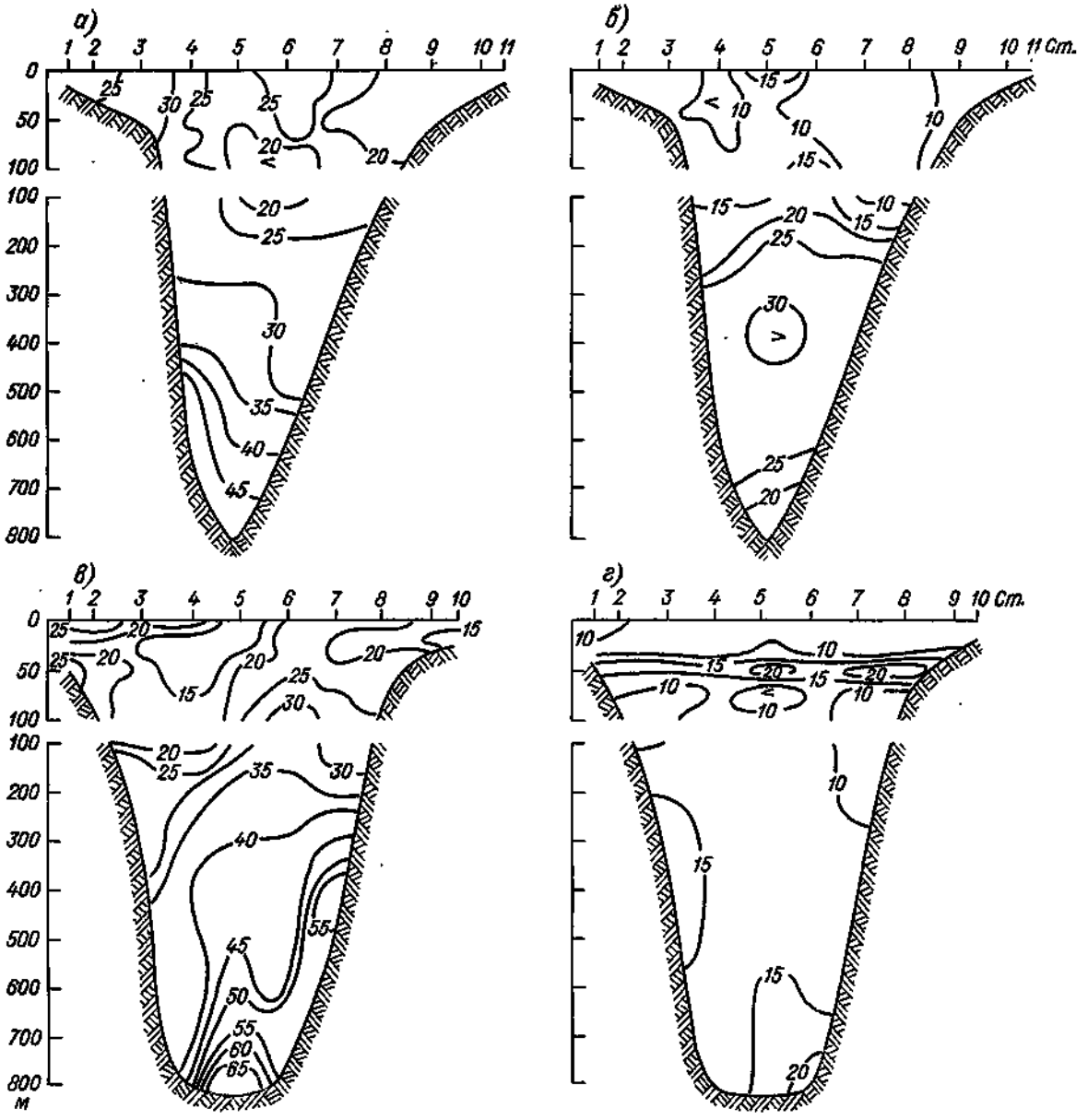


Рис. 4.13. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) весной на разрезах Дивичи—Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

Авторы этих же работ [65, 100] показали, что в весеннее время с усилением процесса потребления фосфатов фитопланктоном их запас в эвфотическом слое уменьшается: в глубинных же слоях, наоборот, рост концентрации фосфатов достигает годового максимума. Здесь источником фосфатов служит минерализация органического фосфора, запасы которого в глубинных слоях довольно велики в зимний период. Это также подтверждается тем, что глубже 200-метрового горизонта происходит снижение содержания растворенного кислорода от зимнего сезона к весне благодаря интенсивным процессам окисления в глубинных слоях моря.

Итак, в весенний сезон в Среднем Каспии происходит усиление вегетации фитопланктона, прогрев воды вызывает интенсификацию процессов окисления органического вещества, образуется сезонный пикноклин. Эти факторы обусловливают довольно сложную картину весеннего распределения фосфатов в пространстве.

По данным наблюдений в весенний период за 1961—1980 гг., средние многолетние концентрации фосфатов в Среднем Каспии колебались от 20 до 45 мкг/л. Различия в содержании фосфатов по вертикали в слое 0—100 м не превышали 5 мкг/л; они же на стандартных горизонтах в слое 0—50 м были не более 10 мкг/л. В западной части Среднего Каспия концентрации составляли 25—30 мкг/л, что было немного выше, чем в восточной (20 мкг/л и менее). Ниже 100 м с глубиной наблюдался постепенный рост концентрации фосфатов до 45 мкг/л с максимумом в слое 600—800 м (рис. 4.13 *а*).

По сравнению со средним многолетним весенним распределением фосфатов за период 1961—1980 гг. в последующее пятилетие (1981—1985 гг.) на разрезе Дивичи — Кендерли были обнаружены существенные изменения по всей водной толще: в слое 0—100 м содержание фосфатов было однородным и составило около 10 мкг/л, практически отсутствовали также и различия в значениях

Таблица 4.22

Изменение содержания минерального фосфора (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	30	24	—6	13	—11	22	22	0	13	—9
10	13	39	26	12	—27	10	29	19	11	—18
20	10	20	10	15	—5	13	18	5	16	—2
30	13	22	9	15	—7	11	28	17	12	—16
50	13	34	21	18	—16	16	32	16	14	—18
75	15	26	11	18	—8	16	27	11	15	—12
100	20	28	8	22	—6	17	32	15	16	—16
150	25	31	6	26	—5	21	23	2	17	—6
200	30	24	—6	27	3	26	34	8	24	—10
250	31	22	—9	27	5	—	—	—	—	—
300	35	21	—14	33	12	—	—	—	—	—
400	38	22	—16	34	12	—	—	—	—	—
500	44	47	—3	35	—12	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	31	20	—11	13	—7	20	22	2	14	—8
10	21	8	—13	13	5	34	16	—8	11	—5
20	19	9	—10	14	5	22	22	0	13	—9
30	12	10	—2	13	3	18	21	3	13	—8
50	13	11	—2	16	5	29	22	—7	21	—1
75	16	15	—1	11	—4	23	35	12	12	—23
100	19	17	—2	12	—5	23	41	18	14	—27
150	21	24	3	15	—9	25	44	19	16	—28
200	25	37	12	12	—25	29	53	24	17	—36
250	30	43	13	14	—29	29	52	23	14	—38
300	33	16	—17	15	—1	34	53	19	15	—38
400	36	52	16	17	—35	36	51	15	15	—36
500	38	62	24	17	—45	36	67	31	15	—52
600	38	33	—5	18	—15	36	67	31	16	—51
800	46	36	—10	16	—20	50	63	13	24	—39

между западной и восточной частью разреза. В верхней части зоны накопления в слое 100—300 м концентрации фосфатов повышались с 10 до 25 мкг/л; с глубиной их вертикальные градиенты и абсолютные значения уменьшались до 20 мкг/л (рис. 4.13 *б*). На горизонте 400 м был обнаружен фосфатный максимум — около 30—35 мкг/л.

По сравнению с данными 1958—1962 гг. весной в период 1962—1985 гг. на разрезе Дивичи — Кендерли происходил заметный рост концентраций фосфатов лишь в деятельном слое моря, где $\Delta P_{\text{мин}}$ составило 10—15 мкг/л; максимальное снижение концентраций фосфатов было отмечено в глубинном слое 600—800 м, но $\Delta P_{\text{мин}}$ здесь не превышало 10 мкг/л (табл. 4.18).

Направленность изменений в содержании фосфатов на глубоководных станциях разреза Дивичи — Кендерли была различной в зависимости от изменения состояния уровня моря: период понижения уровня характеризовался повышением концентраций фосфатов (станции 4, 6) лишь в слое 10—200 м и уменьшением их с глубиной (ст. 4) по сравнению с периодом квазистационарного состояния уровня. В период повышения уровня моря наблюдалась обратная картина: уменьшение концентраций фосфатов в слое 0—200 м и их рост с глубиной. При этом максимальные изменения значений в ту или иную сторону отмечались либо в подповерхностном горизонте, либо на глубине 50 м (табл. 4.22).

Наибольшей изменчивостью концентраций фосфатов характеризуются районы и горизонты Среднего Каспия, где протекают интенсивные процессы фотосинтеза: мелководные станции разреза Дивичи — Кендерли от поверхности до дна и деятельный слой моря (0—50 м) на глубоководных станциях разреза (табл. 4.23).

В зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, на разрезе о. Жилой — м. Куули, в весенний сезон, по данным наблюдений в 1961—1980 гг., содержание фосфатов было довольно высоким и однородным от поверхности до дна. Максимальные концентрации (30—35 мкг/л) находились в центральной, наиболее глубокой области разреза, где почти не сказывалось влияние вегетации фитопланктона. К западным и восточным берегам значения резко снижались во всей водной толще: в западной части разреза они составляли 15—20 мкг/л, в районах восточных мелководий опускались до 10—25 мкг/л (см. рис. 4.9 *в*).

В течение 1981—1985 гг. весной наблюдалось резкое снижение (в 2—3 раза) концентраций фосфатов в толще в районе Апшеронского порога. При этом по-прежнему сохранялась однородность в их вертикальном распределении, которая отмечалась в предшествующий период наблюдений (рис. 4.9 *г*).

Как и другие районы моря, зона водообмена между Средним и Южным Каспием, особенно ее деятельный слой (0—50 м), характеризуется весной значительной изменчивостью концентраций фосфатов (коэффициент вариации нередко достигает 100—150 %); в западной части разреза о. Жилой — м. Куули (ст. 3), начиная с горизонта 75 м, коэффициент вариации уменьшается на 20—30 % по сравнению с вышележащими горизонтами (см. табл. 4.23).

Таблица 4.23

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	14	34	37	108	14	29	32	110	16	18	13	76
10	14	32	33	103	13	29	34	116	16	20	25	129
20	14	30	27	92	13	25	36	145	16	18	22	122
30	14	33	34	105	13	32	41	130	16	21	23	111
50	13	35	41	117	13	29	44	151	—	—	—	—
75	—	—	—	—	12	17	13	75	—	—	—	—
100	—	—	—	—	12	18	14	75	—	—	—	—
150	—	—	—	—	12	22	18	82	—	—	—	—
200	—	—	—	—	12	26	27	101	—	—	—	—
250	—	—	—	—	12	28	27	94	—	—	—	—
300	—	—	—	—	12	28	27	96	—	—	—	—
400	—	—	—	—	11	22	20	92	—	—	—	—
500	—	—	—	—	10	29	22	77	—	—	—	—
600	—	—	—	—	7	37	33	88	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	15	17	21	123	16	26	26	100	15	23	28	123
10	16	20	17	80	15	19	28	148	15	12	17	136
20	16	16	19	118	15	31	41	132	—	—	—	—
30	16	17	21	122	15	26	48	186	—	—	—	—
50	16	18	19	105	15	19	29	153	—	—	—	—
75	16	23	20	85	15	13	15	115	—	—	—	—
100	16	26	21	78	—	—	—	—	—	—	—	—
150	15	33	29	88	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	18	22	24	112	17	20	28	136	—	—	—	—
10	18	17	19	107	17	23	27	119	—	—	—	—
20	18	14	14	103	17	23	33	147	—	—	—	—
30	18	14	14	97	17	20	33	161	—	—	—	—
50	18	16	15	91	17	25	31	122	—	—	—	—
75	18	17	14	86	15	26	30	115	—	—	—	—
100	18	19	18	92	13	31	38	122	—	—	—	—
150	17	27	17	65	13	34	32	92	—	—	—	—
200	17	30	24	77	12	39	28	72	—	—	—	—
250	14	26	12	45	12	37	28	76	—	—	—	—
300	14	28	17	58	12	40	28	69	—	—	—	—
400	—	—	—	—	11	38	29	75	—	—	—	—
500	—	—	—	—	10	43	24	56	—	—	—	—
600	—	—	—	—	10	42	25	60	—	—	—	—
800	—	—	—	—	7	52	21	41	—	—	—	—

В мелководных районах, примыкающих к Апшеронскому порогу, изменения содержания фосфатов весной по сравнению с зимним сезоном на западе и востоке оказываются неодинаковыми: в Бакинской бухте весной содержание фосфатов возрастало незначительно (сезонное различие составило около 5 мкг/л), в Красноводском заливе оно снизилось более чем в 2 раза (см. табл. 4.17).

Сравнение данных по фосфатам в весенний сезон за 1962—1985 гг. с данными, полученными в 1958—1962 гг., показало одинаковое во всей водной толще (за исключением придонного горизонта) увеличение содержания фосфатов в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием (см. табл. 4.18).

Весной в мелководных прибрежных районах Южного Каспия по сравнению с зимним периодом существенное изменение в содержании фосфатов было отмечено лишь в районе Ленкорани, где оно уменьшилось более чем в 2 раза. В водах взморья р. Куры и мелководных восточных районов Южного Каспия эти средние сезонные различия составляли около 5 мкг/л (см. табл. 4.17).

В весенний период в течение 1961—1980 гг. на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский наблюдались значительные различия в вертикальном распределении фосфатов. На глубоководных станциях между поверхностным и придонным горизонтом они колеблются от 45 до 55 мкг/л. В верхнем слое моря (0—100 м) отмечается довольно однородное распределение фосфатов с некоторым снижением их содержания в центральной части разреза до 10—15 мкг/л. В районе восточных мелководий (до 100-метровых глубин) иногда наблюдалась инверсия в вертикальном распределении фосфатов: в поверхностных водах их было больше, чем на нижележащих горизонтах. Как правило, ниже 100 м с глубиной наблюдался повсеместный рост концентраций фосфатов от 20—30 до 65—70 мкг/л, который особенно быстро происходил в слое 100—300 м. В глубинных и придонных слоях глубоководных районов Южного Каспия значения увели-

чивались в направлении с запада на восток (рис. 4.13 *в*).

В весеннем распределении фосфатов в Южном Каспии в 1981—1985 гг. необходимо отметить значительное падение их концентраций по сравнению с аналогичным сезоном 1961—1980 гг.

В эти же годы произошли также и заметные изменения в вертикальном ходе содержания фосфатов (рис. 4.13 *г*).

В верхнем слое 0—100 м отчетливо выделяются два подслоя. Первый — от поверхности до глубины около 30 м — отличается исключительной однородностью в пространственном распределении фосфатов (по вертикали и горизонтали). Водный слой от 0 до 30 м характеризуется концентрациями фосфатов 5—10 мкг/л, которые в 4—5 раз ниже, чем в 1961—1980 гг.

На глубинах около 30—60 м концентрации фосфатов быстро возрастают с 10 до 20 мкг/л и выше. В этом же слое присутствует промежуточный фосфатный максимум. В слое 60—100 м и далее до значительных глубин содержание фосфатов снижается до 10—15 мкг/л. Только в восточной части южнокаспийской впадины на глубинах 600—800 м отмечается незначительный рост концентраций фосфатов ко дну до 20 мкг/л и немного более, что в 3—4 раза ниже, чем в 1961—1980 гг.

По аналогии с зимой было рассмотрено более подробно горизонтальное распределение фосфатов в Среднем и Южном Каспии весной в верхнем деятельном слое моря (0—100 м).

Распределение фосфатов в поверхностном слое моря не отличалось высокими горизонтальными градиентами. Наиболее низкими концентрациями фосфатов (5—10 мкг/л) характеризуются северные и центральные районы Каспия и центральный район Южного Каспия. На остальной акватории Среднего и Южного Каспия концентрации не опускались ниже 10 мкг/л. Максимальные значения (15 мкг/л) находились в западной части Среднего и Южного Каспия (рис. 4.14 *а*). На горизонте 50 м на преобладающей части акватории горизонтальные градиенты в распределении фосфатов увеличивались, концентрации фосфатов около 10 мкг/л тяготели к восточной половине Среднего и Южного Каспия, на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский преобладали максимальные значения — более 20 мкг/л (рис. 4.14 *б*). На горизонте 100 м диапазон изменений значений почти не отличался от горизонта 50 м (5—20 мкг/л).

В многолетнем аспекте по сравнению с данными 1958—1962 гг. в Южном Каспии в весенний период 1962—1985 гг. отмечался рост концентраций фосфатов лишь в слое 0—200 м, в то время как в нижележащих слоях моря содержание фосфатов практически не изменилось (см. табл. 4.18).

Изменчивость концентраций фосфатов в Южном Каспии характеризуется резким снижением их с глубиной: коэффициенты вариации значений между поверхностным и придонным слоем отличались в 2—3 раза (см. табл. 4.23).

Наиболее отчетливая направленность изменений в распределении фосфатов в зависимости от состояния уровня моря проявилась на ст. 6 разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский: в период понижения уровня концентрации фосфатов возрастали, а в период повышения — снижались от поверхности до дна, причем максимальные изменения

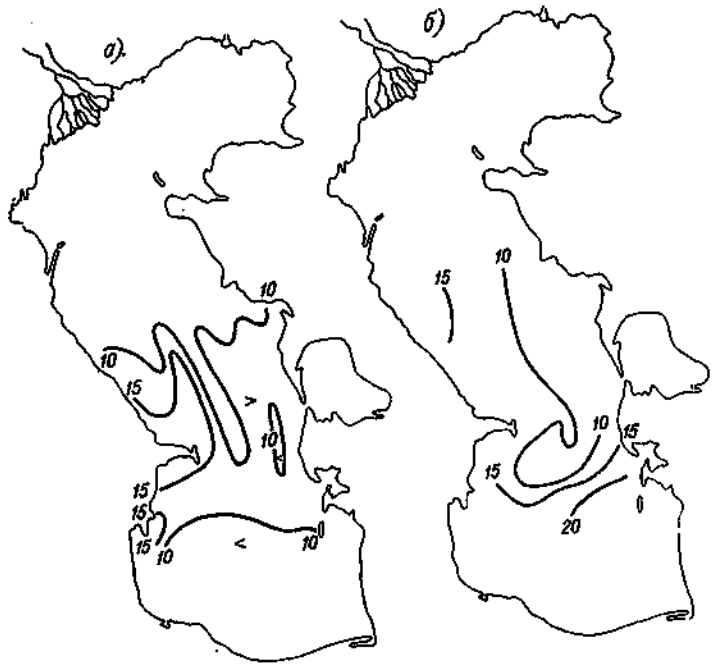


Рис. 4.14. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии на поверхности (*а*) и на горизонте 50 м (*б*).

в ту или иную сторону происходили, как правило, ниже деятельного слоя моря во всей водной толще (см. табл. 4.23).

Распределение фосфатов в летний период

Сезонные изменения концентраций биогенных веществ в водах Северного Каспия и, в частности, фосфатов зависят, с одной стороны, от количества поступления их с речными водами, с другой — от интенсивности потребления, скорости регенерации и процессов обмена между грунтом и водой. Немаловажную роль играет в сезонной динамике биогенных веществ и водообмен между Северным и Средним Каспием. Наименьшей средней сезонной концентрацией фосфатов в Северном Каспии характеризуется весна (апрель). В летний период их средние значения повышаются в июне до 10 мкг/л и августе до 13 мкг/л.

Пространственное распределение фосфатов в Северном Каспии в начале и конце лета имеет существенные различия (рис. 4.15).

В июне содержание фосфатов в восточной части Северного Каспия колеблется от 8 до 13 мкг/л, в августе — от 9 до 26 мкг/л. Максимальные концентрации фосфатов в начале и конце лета были обнаружены в районе предустьевого взморья Урала и локально на акватории Уральской бороздины; в юго-западном направлении они снижались, особенно заметно это было в конце лета — с 25 до 10 мкг/л.

В зоне водообмена между западной и восточной частью Северного Каспия наблюдалось довольно однородное распределение фосфатов с севера на юг. Лишь непосредственно на крайних южных станциях разреза II содержание фосфатов было очень низким в течение всего летнего сезона. Различия в значениях в начале и конце лета в зоне водообмена не превышали 5 мкг/л. Аналогичное распределение фосфатов в летнее время было и в западной части Северного Каспия.

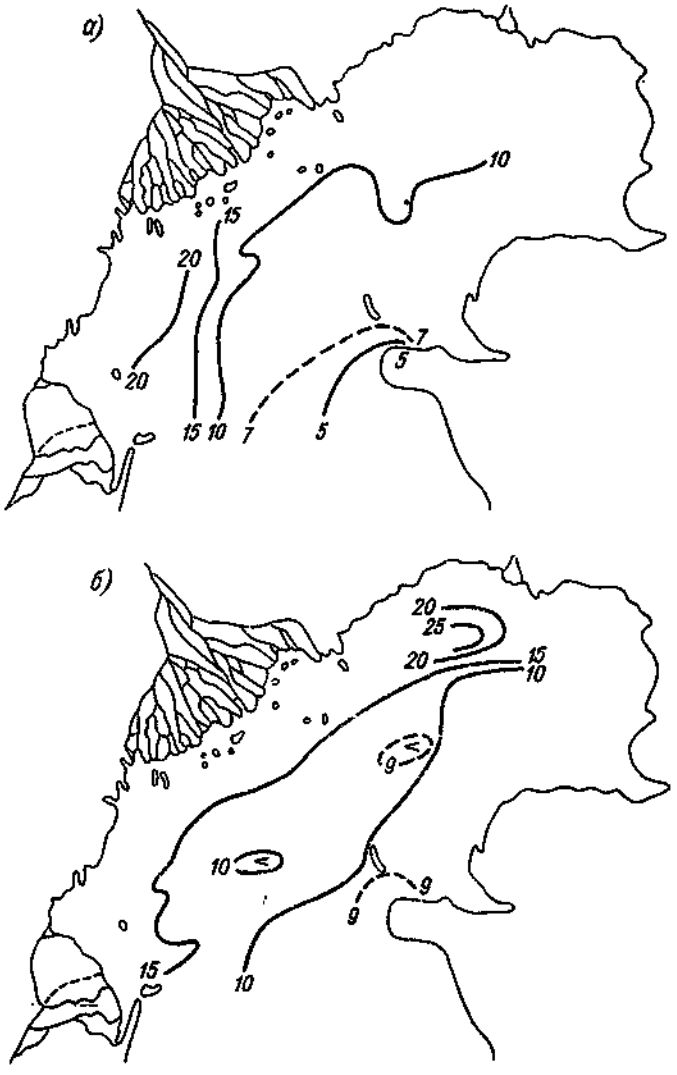


Рис. 4.15. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение фосфатов (мкг/л) в Северном Каспии в июне—июле (*а*) и в августе—сентябре (*б*).

Район юго-западной части Северного Каспия (разрез IIIа), находящийся под непосредственным влиянием речного стока Волги, в летнее время так же, как и весной, отличается наиболее высокими концентрациями фосфатов. Причем максимум приходится здесь на начало лета, в отличие от остальных районов Северного Каспия. Различия в концентрациях фосфатов в начале и конце лета в данном районе моря составили 5—10 мкг/л.

Летом изменчивость концентраций фосфатов в Северном Каспии по-прежнему остается довольно высокой как на поверхности, так и у дна. На станциях, расположенных в районе предустьевого взморья Урала, значения коэффициентов вариации и средних квадратических отклонений существенно выше этих характеристик, полученных для весеннего сезона. Аналогично возросли показатели изменчивости содержания фосфатов и в западной части моря, за исключением юго-западного района Северного Каспия, где на ряде станций прослеживалась тенденция к снижению коэффициента вариации в летний сезон (табл. 4.24).

На многосуточной ст. V в июле 1963 г. в поверхностном слое отчетливо выражен суточный ход фосфатов и температуры воды. Суточный максимум концентрации фосфатов совпадает с сезонным минимумом температуры. В темное время суток, при отсутствии фотосинтетической деятельности фитопланктона и водной растительности происходит некоторое накопление фосфатов, которые затем быстро расходуются в течение дня в процессе фотосинтеза. Выявленный суточный ход концентрации фосфатов говорит также о довольно высокой скорости оборачиваемости фосфатов в водах Северного Каспия в летнее время.

Расчет тренда многолетнего ряда наблюдений, полученных в летнее время, показал рост содержания фосфатов в водах Северного Каспия на 2,5 (июнь) — 4,5 мкг/л (август).

Летом в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием среднее содержание фосфатов, по данным наблюдений за период 1969—1983 гг., по сравнению с весной в поверхностном слое возросло в 2—3 раза и несколько увеличилось у дна (см. табл. 4.15).

Направленность сезонных изменений (от весны к лету) концентраций фосфатов в прибрежных районах, примыкающих к зоне водообмена между

Таблица 4.24

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Северном Каспии летом за 1961—1983 гг.

Номер станции разреза	Слой 0—2,5 м				Поверхность — дно			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Восточная часть (разрез I)								
1	30	11	12	109	45	11	13	118
2	23	12	15	125	46	11	12	109
3	23	10	11	110	46	10	10	100
4	23	12	13	108	46	12	15	125
5	24	13	11	85	47	13	12	92
6	23	11	13	118	48	11	14	127
7	23	10	9	90	54	10	12	120
8	23	8	9	112	57	9	10	111
9	23	10	11	110	54	10	12	120
10	23	9	10	111	46	8	9	112
Район водообмена между западной и восточной частью (разрез II)								
12	31	10	9	90	48	9	9	100
13	26	11	13	118	50	9	11	121
14	24	10	10	100	51	8	9	111
15	25	9	10	111	50	9	9	100
16	24	8	8	100	52	9	9	100
17	23	9	8	89	48	8	8	100
17а	8	7	8	114	16	8	8	100
17б	8	6	11	180	23	6	9	150
Западная часть (разрезы III, IIIа)								
18	26	14	15	107	45	14	16	114
19	23	9	10	111	46	9	11	122
20	22	11	12	109	43	10	11	110
21	23	8	7	87	54	8	7	87
22	23	9	11	122	68	7	8	114
23	23	6	8	133	81	8	10	125
24	22	8	10	125	80	9	10	111
25	23	8	10	125	125	7	9	128
1	14	26	17	65	28	28	21	75
2	14	23	15	64	27	25	18	72
3	14	21	14	66	28	22	14	65
4	14	17	11	65	28	17	12	70
5	14	18	10	57	35	19	12	62
6	13	20	24	120	40	20	21	105
7	14	18	20	111	42	18	19	106
8	12	23	20	86	48	20	18	90
9	12	22	24	109	57	18	17	94
10	12	18	13	72	59	16	14	87

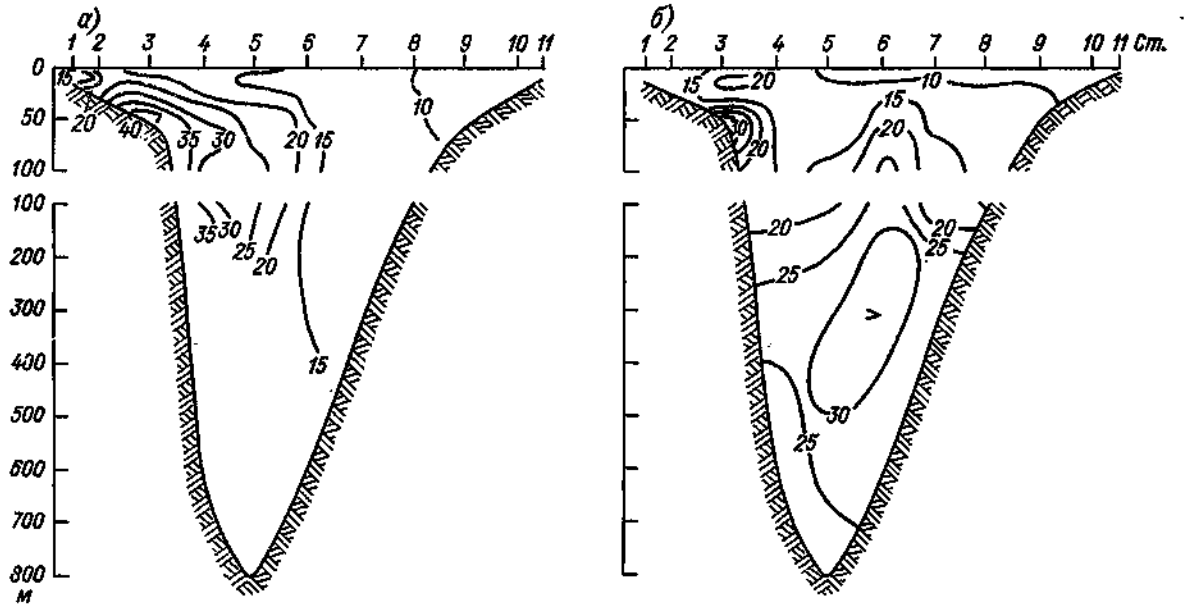


Рис. 4.16. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) на разрезе Дивичи—Кендерли летом в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Северным и Средним Каспием, представляла весьма пеструю картину: в районах устьевого взморья Терека и восточного побережья (м. Бекдаш) содержание фосфатов в летний период снизилось почти на 10 мкг/л, в районах устьевого взморья Самура и на востоке (Форт-Шевченко) — на 8 и 12 мкг/л соответственно (см. табл. 4.16, 4.17).

Результаты предшествующих исследований показывают, что в летнее время практически повсеместно в верхнем слое открытых районов Среднего и Южного Каспия концентрации фосфатов понижались по сравнению с весенним периодом. Вдоль западного побережья средней части моря они на большей части акватории составляли 5—10 мкг/л, уменьшаясь, как правило, в южном направлении. Максимальное количество фосфатов в летний сезон (до 25—30 мкг/л) отмечается в восточной части Среднего Каспия, где летом развит интенсивный апвеллинг. В слое 0—25 м осредненные концентрации фосфатов в Среднем Каспии составляют около 8 мкг/л, в Южном — около 7 мкг/л [65].

В течение 1961—1980 гг. в летний период в Среднем Каспии наблюдениями был охвачен лишь слой 0—400 м. Здесь в распределении фосфатов отмечалось заметное уменьшение их концентраций в восточном направлении. Максимальные значения обнаруживались в районах западных мелководий на глубинах около 50 м (40 мкг/л и выше), минимальные (10—15 мкг/л) — характерны для всей водной толщи от поверхности до исследуемых глубин (около 400 м) в восточной половине разреза Дивичи-Кендерли. В центральной глубоководной области Среднего Каспия вертикальные различия в содержании фосфатов практически отсутствуют ниже зоны сезонного термоклина (25—50 м) (рис. 4.16 *а*).

Летом 1981—1985 гг. по сравнению с 1961—1980 гг. концентрации фосфатов в этом районе моря понизились на всех глубинах; над сезонным термоклином они значительно меньше, чем в нижележащих слоях благодаря усиленной ассимиляции их фитопланктоном и затрудненному водообмену с зоной накопления. На мелководьях в западной части Среднего Каспия концентрации фосфатов колеблются в пределах 15—20 мкг/л; в восточной части — 10—15 мкг/л [минимум (5 мкг/л) был определен здесь в поверхностном горизонте].

Максимальные концентрации фосфатов на разрезе Дивичи — Кендерли сохраняются, как и в 1961—1980 гг., в придонных слоях западных мелководий — на глубине около 50 м.

На всех глубинах различия в содержании фосфатов между западной и восточной частью Среднего Каспия практически отсутствуют, изолинии имеют преимущественное горизонтальное направление. Общий характер циркуляции вод в Среднем Каспии обусловливает куполообразный подъем изолиний фосфатов в центральной области, ниже сезонного термоклина. Глубже 100 м, в зоне накопления, происходит постепенное повышение с глубиной концентраций фосфатов. Однако максимум (30—35 мкг/л) находится не в придонном слое, а на глубинах до 500 м (рис. 4.16 *б*).

По сравнению с данными летнего периода за 1958—1962 гг. в течение 1962—1985 гг. происходило значительное повышение концентраций фосфатов лишь в слое 0—150 м (значения $\Delta P_{мин}$ колебались от 13 до 18 мкг/л); одновременно было отмечено их снижение в нижележащих слоях моря (см. табл. 4.18).

На Апшеронском пороге в летнее время распределение фосфатов также сильно отличалось по периодам исследования. По данным летних наблюдений в течение 1961—1980 гг., на разрезе о. Жилой — м. Куули содержание фосфатов колебалось от 5 до 60 мкг/л. Минимум был обнаружен в подповерхностном слое в центральной части разреза, максимум — в придонном слое западной части на глубинах около 100 м. Концентрации фосфатов в течение летнего сезона 1981—1985 гг. резко снизились по всей водной толще в районе Апшеронского порога по сравнению с летом предшествующего периода исследования. Особенно отчетливо это проявилось в слое, расположенном глубже 25—

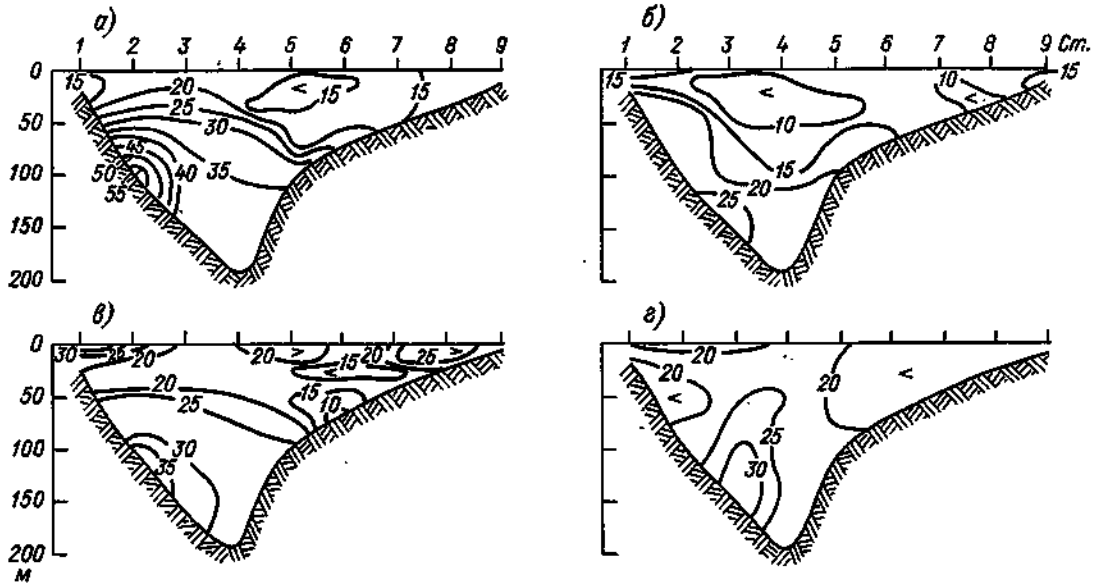


Рис. 4.17. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) на разрезе о. Жилой — м. Куули летом (*а*, *б*) и осенью (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

30 м. Вертикальные различия, особенно между верхним слоем фотосинтеза и зоной накопления, заметно снизились. В то же время общий характер распределения — рост концентраций фосфатов с глубиной и наличие их максимума в придонном слое западной части разреза о. Жилой — м. Куули — сохранились. В зоне фотосинтеза, в слое 10—50 м, в центральной части разреза минимум концентраций фосфатов (5 мкг/л) занимает значительную акваторию. В восточной части разреза расширялась область, где распределение фосфатов с глубиной довольно однородное (рис. 4.17).

По сравнению с весной коэффициенты вариации, характеризующие изменчивость концентраций фосфатов в летний период в глубоководной западной части разреза о. Жилой — м. Куули, снизились более чем в 2 раза (ст. 3); в мелководных районах зоны водообмена они значительно превышают 100 % (ст. 6) (табл. 4.25).

В Бакинской бухте и Туркменском заливе, которые соответственно на западе и востоке примыкают к зоне водообмена, летом по сравнению с весной содержание фосфатов практически не изменилось (диапазон колебания средних сезонных концентраций не превышает 3—5 мкг/л) (см. табл. 4.17).

Сравнение данных по фосфатам, полученных в летний сезон за 1962—1985 гг., с данными за 1958—1962 гг. показало увеличение концентраций фосфатов во всей водной толще от поверхности до

Таблица 4.25

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	*n*	Среднее	σ	C_v %	*n*	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	10	19	15	80	10	14	19	137	11	11	15	130
20	9	24	17	74	7	11	19	179	—	—	—	—
50	6	41	26	63	7	6	4	79	—	—	—	—
100	6	36	26	73	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	12	20	13	68	13	22	29	132	—	—	—	—
20	12	21	17	78	13	19	26	132	—	—	—	—
50	12	30	17	90	11	19	27	139	—	—	—	—
100	12	38	28	74	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	14	28	27	98	13	26	29	112	—	—	—	—
20	14	19	23	120	13	22	25	114	—	—	—	—
50	14	16	22	135	13	19	26	136	—	—	—	—
100	13	23	24	102	13	18	13	76	—	—	—	—
200	12	34	28	84	13	28	20	72	—	—	—	—
500	—	—	—	—	13	38	28	73	—	—	—	—
800	—	—	—	—	10	26	24	91	—	—	—	—

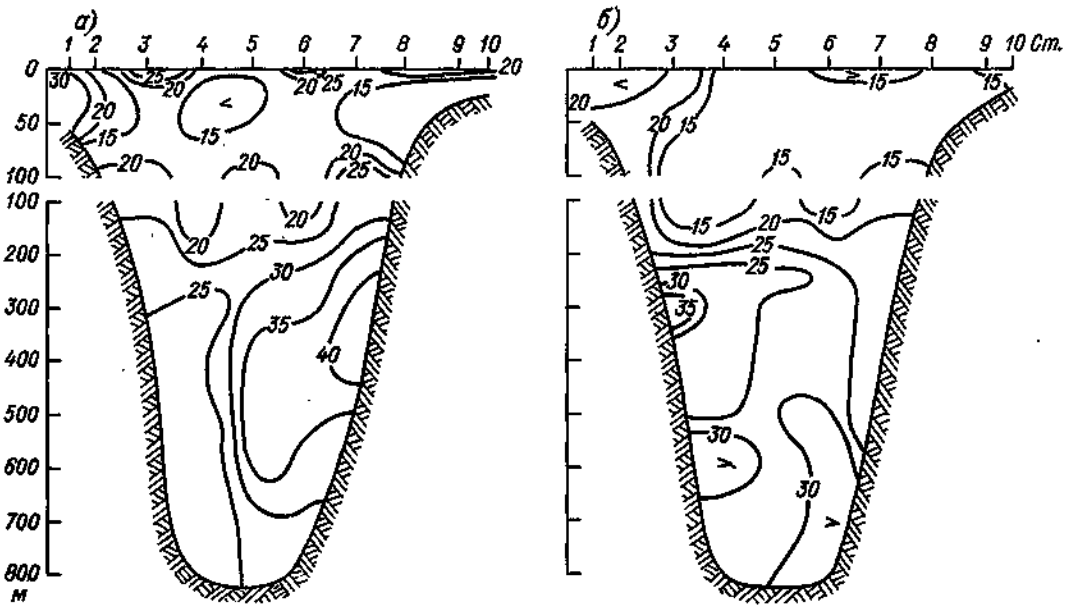


Рис. 4.18. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский летом в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

дна в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием. Максимум $\Delta P_{мин}$ в придонных горизонтах достигал 10 мкг/л (см. табл. 4.18).

В районе Ленкорани, в одном из мелководных районов Южного Каспия, содержание фосфатов практически не изменилось по сравнению с весной. В то же время в районе взморья р. Куры содержание фосфатов возросло более чем в 1,5 раза; в районах восточного мелководья п-ова Челекен и Красноводского залива — в 3 и 2 раза соответственно (см. табл. 4.17).

В Южном Каспии в летнее время в 1961—1980 гг. концентрации фосфатов изменялись от 10—15 мкг/л на подповерхностных горизонтах и в нижней части эвфотической зоны (25—50 м), совпадающей с сезонным термоклином, до 40—45 мкг/л в зоне глубинного максимума в восточной части южнокаспийской котловины на глубинах 300—400 м. Глубже содержание фосфатов несколько уменьшалось. В верхнем слое (0—100 м) оно понижалось от периферийных восточных (15—20 мкг/л) и западных (15—30 мкг/л) районов к центральным глубоководным областям (10—15 мкг/л).

Вертикальное распределение фосфатов не было одинаковым в различных районах Южного Каспия. В западной мелководной области с глубинами до 100 м наблюдалось инверсионное распределение, при котором содержание фосфатов понижалось от поверхности ко дну с 30—35 до 15—20 мкг/л. К востоку, в области с глубинами 200—300 м, наблюдалось вертикальное распределение фосфатов с двумя максимумами: первый находился у поверхности (25—30 мкг/л), второй — основной — у дна (30—35 мкг/л).

В зоне восточных мелководий вертикальное распределение фосфатов, хотя и было инверсионным, но вертикальные градиенты при этом были невелики: на поверхности максимум концентраций фосфатов достигал 20—25 мкг/л, ко дну происходило их понижение до 10—15 мкг/л (рис. 4.18 *а*).

Данные летнего сезона 1981—1985 гг. подтвердили также некоторое снижение концентраций фосфатов по сравнению с периодом 1961—1980 гг. Однако оно было меньше, чем в Среднем Каспии и, кроме того, не охватывало всю водную толщу. В западной части Южнокаспийской котловины, на глубинах от 300 м до дна концентрации фосфатов даже несколько повысились с 20 до 30 мкг/л, локально — до 40 мкг/л. В центральной и восточной частях Южного Каспия в слое 0—100 м содержание фосфатов в основном находилось в пределах 10—15 мкг/л, его максимум здесь наблюдался в придонных горизонтах — до 30—35 мкг/л (рис. 4.18 *б*).

В целом распределение фосфатов на поверхности Среднего и Южного Каспия, по данным летних наблюдений за 1981—1985 гг., характеризуется увеличением концентраций с севера на юг. В северной части Среднего Каспия и отдельных районах его центральной области преобладают концентрации менее 10 мкг/л; на юге Среднего Каспия, в западной части, выделяется область повышенных значений (15—17 мкг/л). В районе Апшеронского порога, также в его западной части, обнаружена зона повышенного содержания фосфатов (15—18 мкг/л) на фоне общего роста концентраций фосфатов на разрезе о. Жилой — м. Куули.

Наиболее высокие концентрации фосфатов летом отмечаются в Южном Каспии; в западной части они достигают максимальных значений — от 20 до 25 мкг/л. Минимум приходится на центральную часть разреза (около 10 мкг/л). К востоку концентрации фосфатов снова повышаются до 15—20 мкг/л (рис. 4.19).

На горизонте 50 м, совпадающем с нижней частью сезонного термоклина, в летнее время в северной части Среднего Каспия содержание фосфатов невелико — от 10 до 13 мкг/л. В направлении к разрезу Дивичи — Кендерли оно возрастает, особенно в западной части, где в мелководной зоне фосфатный максимум составляет более 30 мкг/л. В восточном направлении содержание фосфатов резко уменьшается — до 10—15 мкг/л. На Апшеронском пороге концентрации фосфатов оказываются максимальными на крайней западной стан-

Рис. 4.19. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом на поверхности (*а*) и на горизонте 50 м (*б*).

ции разреза о. Жилой — м. Куули — более 20 мкг/л. В центральной части разреза они снижаются до 5—10 мкг/л, в восточной части — возрастают до 15 мкг/л. На разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский, характер распределения фосфатов типичен для разрезов Среднего и Южного Каспия. Однако здесь наблюдается рост концентрации фосфатов, и на западе, в мелководной зоне, их максимум достигает 20—25 мкг/л (рис. 4.19 *б*).

По сравнению с данными 1958—1962 гг. в Южном Каспии в последующий период исследования (1962—1985 гг.) отмечалось снижение средних многолетних концентраций фосфатов от поверхности до дна, максимальное значение $\Delta P_{мин}$ у дна составило около 30 мкг/л (см. табл. 4.18).

Период понижения уровня моря на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский характеризуется резким повышением концентраций фосфатов в летнее время по сравнению с периодом квазистационарного его состояния; эти различия на отдельных горизонтах (ст. 4) колеблются в пределах 25—40 мкг/л. В период повышения уровня моря здесь отмечается некоторое снижение концентраций фосфатов во всей водной толще (табл. 4.26).

Распределение фосфатов в осенний период

Осенью среднее содержание фосфатов в водах Северного Каспия достигает годового максимума — 13 мкг/л.

В восточной части Северного Каспия в это время повсеместно наблюдается значительный рост концентраций фосфатов с максимумом в южной части разреза I — 19,5 мкг/л (см. рис. 4.12 *б*). Распределение фосфатов в западной части Северного Каспия (разрез III) отличается от их распределения в зоне водообмена между западной и восточ-

Таблица 4.26

Изменение содержания минерального фосфора (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	6	22	16	8	—14	11	12	1	16	4
10	5	22	17	9	—13	6	16	10	13	—3
20	2	19	17	7	12	3	12	9	14	2
30	5	1	—4	7	6	6	19	13	12	—7
50	12	1	—11	8	7	4	8	4	17	9
75	—	1	—	10	9	9	—	—	15	—
100	—	2	—	11	9	14	—	—	16	—
150	11	2	—9	13	11	15	—	—	18	—
200	19	—	—	14	—	—	—	—	22	—
250	—	—	—	23	—	—	—	—	26	—
300	13	—	—	27	—	—	—	—	—	—
400	23	—	—	27	—	—	—	—	—	—
500	—	—	—	21	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	6	37	31	16	—21	10	34	24	25	—9
10	8	20	12	16	—4	8	12	4	19	7
20	2	22	20	18	—4	8	32	24	18	—14
30	2	20	18	18	—2	8	26	18	19	—7
50	6	15	9	18	3	9	26	17	19	—7
75	3	26	23	18	—8	11	20	9	18	—2
100	9	21	12	18	—3	14	16	2	17	1
150	9	23	14	21	—2	21	24	3	22	—2
200	12	38	26	26	—12	29	28	—1	25	—3
250	25	29	4	23	—6	31	34	3	29	—5
300	14	28	14	24	—4	32	39	7	35	—4
400	16	30	14	24	—6	32	49	17	28	—21
500	8	32	24	23	—9	37	46	9	29	—17
600	12	36	24	30	—6	23	48	25	29	—19
800	7	47	40	27	—20	22	34	12	29	—5

ной частью моря (разрез II) только высоким содержанием фосфатов в районе предустьевого взморья Волги (более 15 мкг/л). Как и в предыдущие сезоны, максимальные концентрации фосфатов обнаруживаются на всей акватории юго-западной части моря; здесь в районе непосредственного влияния волжских вод они возрастают до 25 мкг/л.

Изменчивость концентраций фосфатов на всех разрезах Северного Каспия в осенний период довольно велика, и коэффициенты вариации превышают, как правило, 100 %. Наибольшие значения коэффициентов вариации на акватории Северного Каспия характерны для зон интенсивного смешения морских и речных вод (табл. 4.27).

В результате расчета линейного тренда многолетней изменчивости содержания фосфатов в осенний период было обнаружено его незначительное повышение в водах Северного Каспия (1,6 мкг/л) в течение 1961—1983 гг.

Осенью отмечается ряд особенностей в пространственном распределении фосфатов на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак:

Таблица 4.27

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Северном Каспии осенью за 1961—1983 гг.

Номер станции разреза	Слой 0—2,5 м				Поверхность — дно			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Восточная часть (разрез I)								
1	27	13	17	129	42	13	16	123
2	22	12	14	118	42	12	14	117
3	21	13	19	146	43	13	16	123
4	21	13	10	76	43	13	10	76
5	22	15	20	133	46	14	20	142
6	22	15	18	120	45	14	18	128
7	22	13	14	108	49	12	13	109
8	22	13	14	108	51	14	20	143
9	22	16	19	118	49	13	15	115
10	25	16	18	113	44	19	22	116
Район водообмена между западной и восточной частью (разрез II)								
12	36	13	16	124	44	13	16	123
13	22	11	11	100	44	12	14	117
14	22	13	20	154	44	12	16	132
15	21	10	11	110	43	11	11	100
16	22	11	12	110	44	11	13	118
17	22	10	11	110	44	11	11	100
17а	8	6	7	117	16	6	7	117
17б	8	6	7	117	24	6	8	133
Западная часть (разрезы III и IIIа)								
18	21	15	19	127	34	17	21	123
19	20	10	11	110	39	12	13	108
20	21	14	20	143	40	15	22	147
21	21	13	17	131	42	12	15	125
22	22	9	9	100	65	11	14	127
23	22	11	12	109	67	11	16	145
24	21	13	16	123	67	13	16	124
25	21	15	13	87	105	11	11	100
1	14	28	24	86	27	25	21	84
2	13	17	17	100	26	18	17	94
3	14	20	18	96	28	20	20	100
4	13	16	14	86	27	16	15	94
5	14	16	17	106	29	15	17	113
6	14	14	14	100	36	15	15	100
7	14	19	26	137	39	19	26	137
8	13	11	8	73	49	14	17	121
9	12	14	15	107	51	14	14	100
10	13	16	16	100	52	15	17	114

— минимальное содержание фосфатов в центральной части рэреза;

— наибольшие концентрации фосфатов (до 36 мкг/л) на мелководных станциях в западной части разреза;

— при довольно однородном вертикальном распределении фосфатов на восточных станциях разреза рост их концентраций с глубиной (см. табл. 4.15).

Направленность сезонных изменений концентраций фосфатов в районах, прилегающих к зоне водообмена между Северным и Средним Каспием, весьма различная. В районе устьевого взморья Терека концентрации фосфатов возросли в осенний период по сравнению с летом на 6—7 мкг/л; на акватории взморья Самура они остались на уровне средних значений, наблюдавшихся в летний период, в районе восточного побережья (м. Бекдаш) — несколько снизились по сравнению с летним периодом (см. табл. 4.16 и 4.17).

Предшествующие исследователи в своих работах отмечали [65, 100] осенний рост концентраций фосфатов в водах Среднего Каспия, который они объясняли падением фотосинтетической активности в связи с понижением температуры. Районы моря, где выхолаживание происходило медленно, на границе с Южным Каспием и в самом Южном Каспии, сохранялись низкие концентрации фосфатов. В осенние месяцы с понижением температуры воды процессы фотосинтеза и ассимиляции биогенных веществ постепенно затухают сначала в Среднем, а затем и Южном Каспии. Сезонный термоклин разрушается и взвешенное органическое вещество свободно опускается в глубинные слои моря, в результате чего происходит образование зимнего максимума содержания органического фосфора и весеннего максимума концентраций фосфатов в зоне накопления.

По данным осенних наблюдений за 1961—1980 гг., для распределения фосфатов в водах Среднего Каспия, на разрезе Дивичи — Кендерли, было характерно постепенное уменьшение концентраций в верхнем деятельном слое (0—50 м) с запада на восток с 30—35 до 10—15 мкг/л, а местами — и до 5—10 мкг/л (рис. 4.20 *а*). Максимум содержания фосфатов (45 мкг/л и более) был приурочен к западным прибрежным мелководьям и большим глубинам (600—700 м) в западной части среднекаспийской котловины. Для вертикального распределения фосфатов характерно увеличение их концентраций с глубиной. При этом наиболее интенсивное изменение значений отмечалось в слое 100—600 м.

Осенью 1981—1985 гг. распределение фосфатов в данном районе весьма отличалось от того, что наблюдалось в предшествующий период исследований (рис. 4.20 *б*). Лишь на западных прибрежных мелководьях сохранялись высокие концентрации (30—35 мкг/л). Своеобразие в распределении фосфатов в этот период проявилось прежде всего в том, что в восточной части Среднего Каспия над горизонтом 200 м был обнаружен минимум содержания фосфатов (5—20 мкг/л).

В целом же в 1981—1985 гг. отмечалось общее уменьшение концентраций фосфатов в осенний период практически во всей водной толще Среднего Каспия.

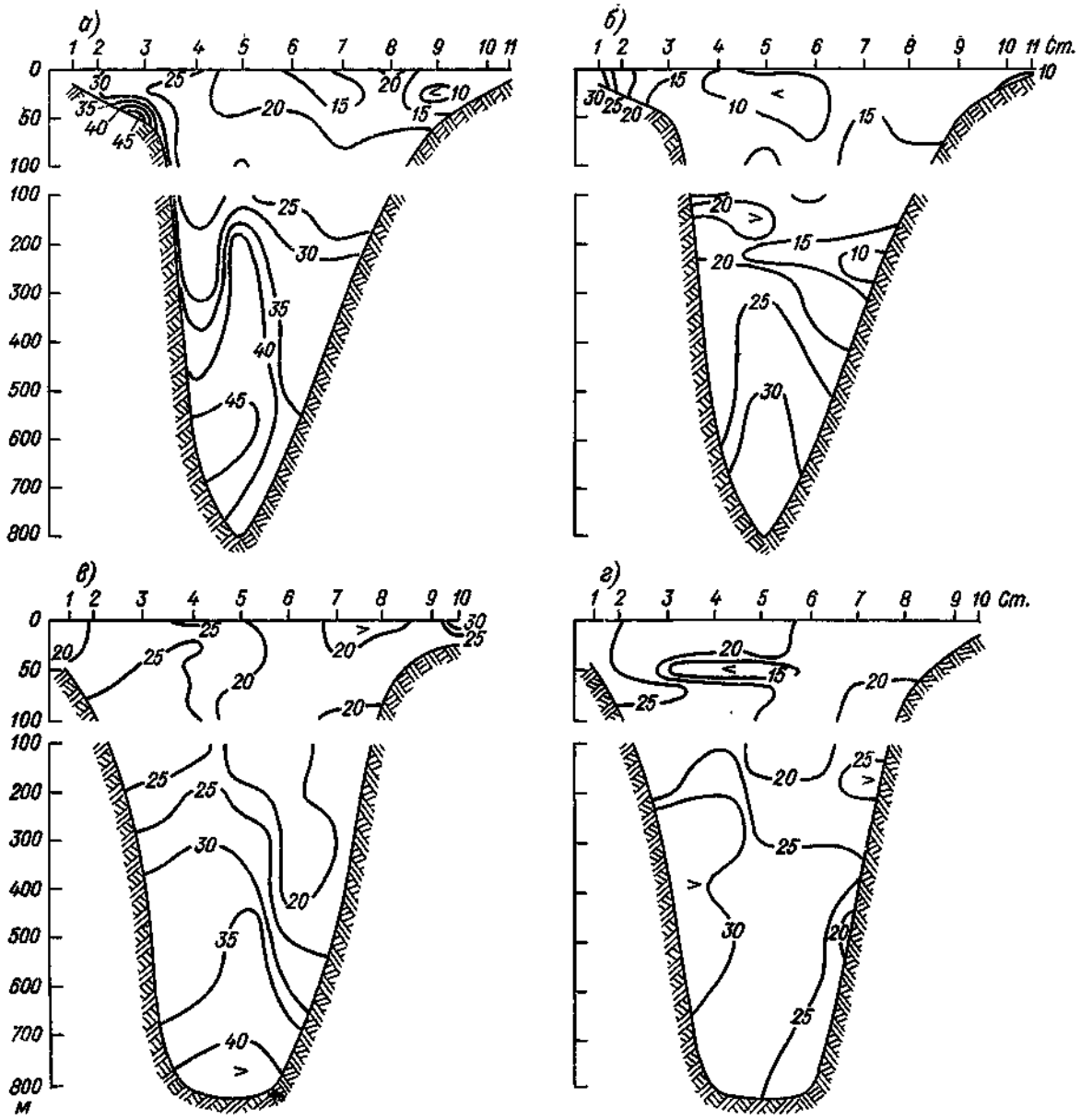


Рис. 4.20. Среднее многолетнее распределение фосфатов (мкг/л) осенью на разрезах Дивичи—Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

По сравнению с данными 1958—1962 гг. осенью в течение 1962—1985 гг. происходило существенное повышение концентраций фосфатов во всей водной толще разреза Дивичи — Кендерли (см. табл. 4.18). В этом же районе (ст. 4) в период понижения уровня моря (1970—1977 гг.) отмечалось резкое увеличение содержания фосфатов на всех горизонтах по сравнению с периодом его квазистационарного положения: максимальные различия на некоторых горизонтах достигали 25—30 мкг/л. В период повышения уровня моря (1978—1985 гг.) содержание фосфатов падало лишь в слое 0—250 м. В деятельном слое моря эти различия по сравнению с предшествующим периодом составили 17 мкг/л (табл. 4.28).

Результаты, представленные в табл. 4.29, свидетельствуют о том, что на разрезе Дивичи — Кендерли изменчивость концентраций фосфатов в осенний период резко снижается с глубиной как в мелководных, так и глубоководных районах моря. Значения коэффициентов вариации, полученные для поверхностного и придонного горизонтов, отличаются более чем в 2 раза.

Данные осенних наблюдений, проводимых в течение 1961—1985 гг., свидетельствуют о высоком содержании фосфатов в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием. Здесь во всей водной толще преобладали концентрации 20—30 мкг/л, и лишь в восточной части разреза о. Жилой — м. Куули (ст. 6) они понижались с глубиной до 5—10 мкг/л (см. рис. 4.17 *в*, *г*). На всех остальных станциях разреза отмечалось незначительное повышение содержания фосфатов с глубиной, но вертикальные градиенты были небольшие благодаря вертикальной конвекции, усиливающейся при охлаждении вод осенью. Максимум концентраций фосфатов (30—35 мкг/л) был обнаружен на глубине 150 м в западной глубоководной зоне Апшеронского порога. Отмечается также увеличение концентраций фосфатов на придонном горизонте

Таблица 4.28

Изменение содержания минерального фосфора (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	7	34	27	17	—17	—	—	—	—	—
10	8	25	17	14	—11	—	—	—	—	—
20	6	24	18	20	—4	—	—	—	—	—
30	3	32	29	15	—17	—	—	—	—	—
50	8	25	17	17	—8	—	—	—	—	—
75	8	28	20	18	—10	—	—	—	—	—
100	8	30	22	21	—9	—	—	—	—	—
150	9	33	24	26	—7	—	—	—	—	—
200	9	35	26	25	—10	—	—	—	—	—
250	9	32	23	27	—5	—	—	—	—	—
300	—	29	—	29	0	—	—	—	—	—
400	—	21	—	28	7	—	—	—	—	—
500	—	24	—	31	7	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	28	32	4	27	—5	8	27	19	15	—12
10	15	37	22	19	—18	14	17	3	17	0
20	17	51	34	18	—33	9	16	7	16	0
30	5	26	21	15	—11	2	27	25	15	—12
50	23	39	16	19	—20	17	21	—4	12	—9
75	23	36	13	16	—20	16	6	—10	13	7
100	23	63	40	18	—45	14	10	—4	10	0
150	25	43	18	21	—22	22	10	—12	18	8
200	26	41	15	23	—18	30	7	—23	19	12
250	26	43	17	29	—14	29	8	—21	22	14
300	26	45	19	26	—19	28	11	—17	20	9
400	26	48	22	21	—27	25	16	—9	24	8
500	31	40	9	27	—13	32	14	—8	19	5
600	35	44	9	21	—23	39	17	—22	23	6
800	27	—	—	27	—	—	—	—	24	—

Таблица 4.29

Основные статистические характеристики концентраций фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	12	29	40	137	12	14	20	142	11	12	11	91
20	12	28	27	96	9	18	16	92	11	8	9	116
50	11	48	34	70	9	21	18	87	—	—	—	—
100	—	—	—	—	9	21	17	78	—	—	—	—
200	—	—	—	—	9	30	18	61	—	—	—	—
500	—	—	—	—	5	33	18	55	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	12	17	16	95	16	18	20	112	15	23	18	77
20	13	25	33	135	16	13	18	142	—	—	—	—
50	12	23	25	113	15	11	17	145	—	—	—	—
100	10	26	27	103	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	13	20	24	119	13	15	18	119	14	16	20	124
20	13	22	34	157	13	12	17	144	3	20	30	150
50	13	25	39	156	12	16	26	157	—	—	—	—
100	13	30	44	144	11	10	16	158	—	—	—	—
200	10	18	22	120	11	20	20	101	—	—	—	—
500	—	—	—	—	11	23	18	79	—	—	—	—

Бакинской бухты до 90 мкг/л (см. табл. 4.17), что, по-видимому, связано с интенсивным загрязнением данного района.

Благодаря значительной динамичности вод в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, показатели изменчивости фосфатов на разрезе о. Жилой — м. Куули существенно возрастают по сравнению с аналогичными показателями, рассчитанными для разреза Дивичи — Кендерли (см. табл. 4.17).

По данным осенних наблюдений за 1962—1985 гг. в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием на всех горизонтах весьма существенно повысилось содержание фосфатов по сравнению с данными наблюдений за 1958—1962 гг.: наибольший рост был отмечен в слое 0—100 м, где $\Delta P_{мин}$ достигало 20 мкг/л.

Мелководные районы Южного Каспия характеризуются, как правило, снижением осенних концентраций фосфатов по сравнению с летними. Так, на акваториях взморья р. Куры и восточных мелководий, особенно в районе п-ова Челекен, они уменьшились более чем на 20 мкг/л. Только в районе Ленкорани концентрации фосфатов, полученные в течение осеннего периода, совпали с летними значениями.

В Южном Каспии в осенний период 1961—1980 гг. в верхнем слое 0—100 м пространственное распределение фосфатов было довольно однородным, за исключением восточного мелководья, где концентрации фосфатов на поверхности составили 30—35 мкг/л (рис. 4.20 *в*). Ниже 100 м содержание фосфатов, как правило, увеличивалось, достигая максимума на глубине около 600 м (40—45 мкг/л).

В толще вод Южного Каспия осенью в течение 1981—1985 гг., как и в Среднем Каспии, распределение фосфатов характеризуется некоторым уменьшением их концентраций почти на всех глубинах (рис. 4.20 *г*).

В верхнем деятельном 50-метровом слое выделяются зоны повышенных концентраций фосфатов — от 25 до 30 мкг/л на западном мелководье и пониженных — менее 15 мкг/л на восточном мелководье.

В центральной глубоководной области Южного Каспия максимальные концентрации фосфатов (30—40 мкг/л) были обнаружены на горизонтах 300—400 м, а не в придонных слоях воды.

Рассмотрим подробнее, как распределяются фосфаты в Среднем и Южном Каспии на горизонтах 0 и 50 м в осенний сезон 1981—1985 гг. На поверхности (рис. 4.21 *а*) содержание фосфатов увеличивается с севера на юг: от 8—10 мкг/л в северной части Среднего Каспия до 10—15 мкг/л в районе разреза Дивичи — Кендерли и до 16—23 мкг/л в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием.

В Южном Каспии отмечается увеличение концентраций фосфатов по сравнению со Средним Каспием, особенно в западной части моря (до 30 мкг/л) и в районах восточного мелководья (до 25 мкг/л).

На горизонте 50 м общий характер распределения фосфатов осенью мало чем отличается от распределения, существующего на поверхностном горизонте (рис. 4.21 *б*).

В осенний сезон на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский (на ст. 4) в период понижения уровня моря содержание фосфатов увеличивалось, а в период повышения уровня — уменьшалось на ст. 4 во всей водной толще и на ст. 6 лишь в деятельном слое моря (см. табл. 4.28).

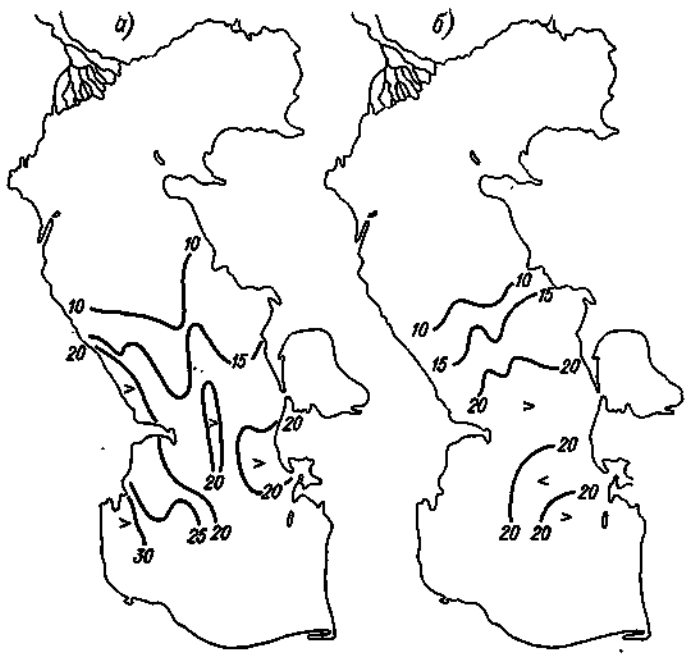


Рис. 4.21. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение фосфатов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью на поверхности (*а*) и на горизонте 50 м (*б*).

4.3.4. Сезонные и многолетние изменения содержания форм минерального азота и их распределение

В морской воде минеральный азот находится в форме ионов аммония, нитритов и нитратов.

Ионы аммония являются первичной формой азота в процессе биохимического разложения органических остатков. Под действием кислорода, содержащегося в морской воде, азот аммиака окисляется в нитритный (промежуточную форму), который либо присутствует в море в малых количествах, либо часто отсутствует вообще. Поскольку все формы минерального азота потребляются фитопланктоном с сопоставимыми скоростями, то нитриты, содержащиеся в воде в малых количествах, расходуются быстрее других форм.

Последней стадией окисления неорганического азота являются нитраты. Концентрация их в водах Северного Каспия изменяется в широких пределах. В предустьевых районах Северного Каспия нередко содержание нитратов превышает 200 мкг/л. Это объясняется тем, что волжские воды значительно богаче биогенными веществами, чем воды Северного Каспия.

В течение последнего 20-летия концентрации минеральных соединений азота в водах Северного Каспия увеличились, что обусловлено возросшим поступлением с конца 70-х годов в вершину дельты Волги органических и минеральных соединений азота. Значительная часть лет этого периода характеризуется также повышенной водностью, когда сток биогенных веществ сравнительно мало трансформировался в каскаде водохранилищ и транзитом поступал в дельту.

Особенно следует отметить повышенное содержание в водах Северного Каспия аммонийного азота, который в определенной мере может рассматриваться как показатель загрязнения морских вод.

В начале теплого периода наибольшая концентрация характерна для нитратов, что, по-видимому, можно объяснить их накоплением в холодное время года. С ростом температуры и развитием водорослей содержание нитратов понижается и достигает минимума в середине августа — начале сентября.

Межсезонная изменчивость концентрации аммонийного азота в водах Северного Каспия не имеет хорошо выраженной закономерности и, как правило, максимальные значения совпадают с минимальными концентрациями нитратов.

Распределение минеральных форм азота в зимний период

Содержание минеральных форм азота во льдах Северного Каспия было рассмотрено в п. 4.3.2.

В открытых районах Среднего и Южного Каспия из минеральных соединений азота в основном исследовались только нитриты.

В зоне водообмена между Северным и Средним Каспием в восточной части разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак на всех горизонтах отмечено повышенное содержание нитритов: в поверхностном горизонте в направлении с запада на восток оно увеличивалось более чем в 2 раза. Неоднородность в горизонтальном распределении нитритов проявлялась также в некотором снижении их концентраций в центральной части разреза. В то же время вертикальное распределение нитритов было довольно однородным (табл. 4.30).

В зимнее время в зоне западного мелководья были обнаружены повышенные концентрации нитритов и нитратов в районах устьевых взморьев Терека и Самура (табл. 4.31), а также нитритов в районе г. Махачкалы — от 6 до 8 мкг/л (табл. 4.32).

По данным за 1961—1980 гг., в Среднем Каспии, в западной части разреза Дивичи — Кендерли в слое 0—100 м зимой наблюдалось обогащение вод нитритами (как и фосфатами) до 7 мкг/л, в восточной части разреза вплоть до горизонта 400 м — уменьшение концентраций до 2 мкг/л (рис. 4.22 *а*).

По данным 1981—1985 гг., в зимнее время в толще вод Среднего Каспия произошло некоторое уменьшение содержания нитритов от поверхности до дна по сравнению с аналогичными данными за 1961—1980 гг. (рис. 4.22 *б*).

В 30-е годы исследователи обнаруживали нитриты лишь в слое 50—100 м и выделяли его в нит-

Таблица 4.30

Основные статистические характеристики концентраций нитритов (мкг/л) на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак в разные сезоны за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность				Горизонт 10 м				Дно			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Зима												
1	9	3,6	2,7	76	—	—	—	—	7	5,8	7,6	131
2	10	3,5	3,9	113	8	4,7	9,0	193	7	7,6	11,8	155
3	8	3,5	4,2	119	6	2,6	3,5	131	6	5,0	6,3	125
4	9	3,9	5,8	145	7	2,9	2,6	91	7	3,0	3,5	117
5	9	5,6	11,4	203	7	2,7	1,7	65	7	9,7	21,3	219
6	9	6,8	9,2	136	7	7,9	12,2	154	7	10,4	16,0	155
7	9	8,5	17,9	211	—	—	—	—	6	9,2	12,9	141
Весна												
1	12	4,7	3,6	78	—	—	—	—	10	3,6	4,0	111
2	11	3,2	3,0	94	7	3,5	4,2	120	9	2,8	4,1	147
3	10	3,1	3,9	177	9	3,9	4,1	107	9	3,1	4,9	158
4	12	2,5	3,7	151	9	3,5	3,5	99	10	2,1	2,8	138
5	12	3,1	4,2	133	10	3,1	3,3	107	10	2,3	2,8	122
6	12	3,1	3,5	114	9	2,7	3,6	134	10	3,3	5,2	159
7	10	2,2	3,2	149	—	—	—	—	12	2,6	2,7	102
Лето												
1	15	4,5	4,9	108	—	—	—	—	13	4,1	3,5	86
2	14	3,1	3,6	117	10	2,6	1,8	71	11	2,8	3,2	114
3	15	1,7	2,2	129	13	3,1	3,8	123	13	5,5	8,9	162
4	14	2,3	2,3	102	12	1,9	1,8	93	12	1,9	2,2	119
5	15	2,7	4,7	177	12	3,0	5,0	165	13	2,9	4,2	142
6	14	2,1	3,8	178	10	3,6	3,7	103	12	2,1	2,9	135
7	14	4,9	6,6	135	—	—	—	—	12	3,2	2,9	90
Осень												
1	14	4,0	3,5	88	—	—	—	—	10	4,2	3,5	83
2	10	2,8	2,6	94	6	2,7	2,8	76	9	1,5	1,7	114
3	10	2,5	3,1	127	9	1,5	1,7	112	9	2,0	1,8	88
4	9	1,6	1,6	111	9	1,6	2,1	127	9	1,4	1,9	130
5	11	1,5	2,1	137	9	1,9	1,9	105	10	2,4	3,1	129
6	10	1,5	1,9	126	8	1,9	2,0	104	9	1,5	1,7	116
7	11	2,1	2,0	99	—	—	—	—	10	2,1	1,9	90

Таблица 4.31

Средние многолетние сезонные концентрации соединений азота (мкг/л) на взморьях рек Терека и Самура

Период наблюдений, годы	Ингредиент	Зима		Весна		Лето		Осень	
		Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Взморье р. Терека									
1974—1984	NO_3	7,5	7,3	6,7	7,5	3,8	3,2	5,0	4,6
1983—1984	NO_2	181	169	33	32	46	23	34	25
1980—1984	NH_4	100	90	365	195	141	132	153	104
1983—1984	$N_{вал}$	400	522	1059	550	549	662	330	312
Взморье р. Самура									
1974—1984	NO_3	5,5	6,7	4,6	4,9	3,2	3,3	4,1	3,9
1978—1984	NH_4	92	88	82	76	83	102	93	86

Таблица 4.32

Средние многолетние сезонные концентрации нитритов (мкг/л) в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия

Район	Период наблюдений, годы	Зима		Весна		Лето		Осень	
		Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Средний Каспий									
Район Махачкалы	1974—1984	8,0	6,9	6,5	5,3	3,7	4,3	4,2	4,1
Район Форт-Шевченко	1964—1985	2,5	2,0	1,1	1,2	2,0	1,7	1,8	2,0
Район м. Бекдаш	1981—1985	2,7	1,9	1,2	1,2	1,6	1,7	1,9	1,4
Южный Каспий									
Бакинская бухта	1967—1985	9,0	8,2	8,6	7,8	7,6	5,8	7,4	6,2
Сумгаит		5,9	5,6	4,4	4,2	3,5	3,4	2,7	2,7
Туркменский залив		3,0	4,3	2,0	2,0	2,6	2,2	2,8	2,7
Красноводский залив		6,7	7,8	4,0	3,9	3,9	4,6	3,8	2,3
Взморье р. Куры		6,0	5,4	5,6	5,0	5,2	5,4	6,0	5,9

Таблица 4.33

Содержание нитритного азота (мкг/л) в разные сезоны года на разрезах в Среднем и Южном Каспии в 1962—1985 гг.

Горизонт ,м	Дивичи — Кендерли				о. Жилой — м. Куули				о. Куринский Камень — о. Огурчинский			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
0	3,4	2,2	2,2	2,3	3,4	1,5	1,8	2,4	4,8	1,4	2,6	1,8
10	3,4	2,2	2,2	1,9	2,9	1,2	1,9	2,1	2,9	1,1	2,3	1,6
20	3,2	2,4	2,1	1,9	2,6	1,3	1,8	2,1	2,8	1,1	2,0	1,6
30	2,9	2,4	2,3	2,3	2,3	1,4	2,1	1,9	2,9	1,3	2,3	1,6
50	3,4	2,5	2,3	2,2	2,5	1,9	2,1	1,7	3,2	1,9	2,6	1,4
75	3,4	2,5	2,8	1,9	2,5	1,9	2,1	1,8	2,8	1,4	2,1	1,4
100	3,2	2,6	2,6	1,9	2,8	1,5	2,5	2,4	2,8	1,3	2,1	1,6
150	3,6	2,5	2,8	1,8	2,7	1,5	2,3	1,6	2,7	1,4	2,1	1,5
200	3,9	2,4	(2,2)	1,8	3,3	(1,4)	(1,5)	(1,7)	2,7	1,0	2,0	1,1
250	3,7	2,3	(1,6)	2,3	—	—	—	—	2,9	1,3	2,0	1,1
300	3,0	2,4	(1,7)	2,1	—	—	—	—	2,8	1,3	1,8	1,3
400	3,2	2,1	(2,0)	2,1	—	—	—	—	3,3	1,4	2,1	1,5
500	2,8	2,0	(2,4)	2,5	—	—	—	—	3,2	1,4	2,1	1,7
600	3,4	2,0	(2,4)	2,4	—	—	—	—	3,1	2,9	2,1	1,7
800	3,9	3,9	(2,4)	2,4	—	—	—	—	4,1	1,1	2,2	1,4

Примечание. В скобках указаны данные, вызывающие сомнения.

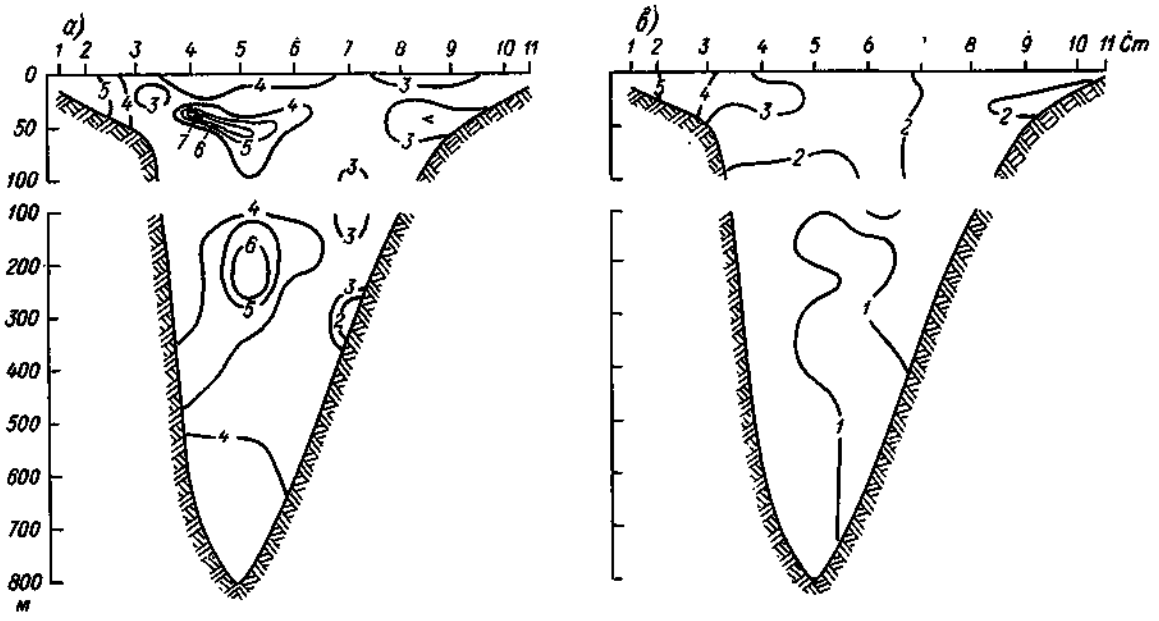


Рис. 4.22. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) на разрезе Дивичи—Кендерли зимой в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

ритную подзону Каспийского моря. При этом максимальные концентрации нитритов в водах Среднего и Южного Каспия приходились на зимний период, что объяснялось резким снижением их потребления фитопланктоном в холодное время года [22].

В начале 60-х годов на большей части акватории Среднего и Южного Каспия в зимнее время по-прежнему отмечались лишь следы нитритов [100].

Средние концентрации нитритного азота, полученные для Среднего и Южного Каспия в течение 1961—1985 гг., возрастают от поверхности до дна в различные сезоны года (табл. 4.33), что, по мнению исследователей, отражает увеличение интенсивности биохимических процессов в море, которое, в свою очередь, обусловлено усилением вертикальной циркуляции вод в связи с длительным понижением уровня моря [65]. Содержание нитритов, как и фосфатов, характеризуется весьма сильной изменчивостью на разрезе Дивичи — Кендерли в зимний период, о чем свидетельствуют коэффициенты вариации, значительно превышающие 100 % во всей водной толще (табл. 4.34).

Динамика нитритов в Среднем Каспии в холодное время года находится в зависимости от изменения уровня моря аналогично динамике фосфатов. Так, в период понижения уровня содержание нитритов увеличивалось во всей водной толще: максимальные различия концентраций на отдельных горизонтах по сравнению с квазистационарным периодом составили около 6 мкг/л. В период повышения уровня концентрации нитритов резко уменьшались: максимальные различия по сравнению с периодом понижения уровня моря достигали 5 мкг/л (табл. 4.35).

По данным зимних наблюдений за 1961—1980 гг., рост содержания нитритов на разрезе о. Жилой — м. Куули был максимальным в районе западного мелководья (5—8 мкг/л), в основной же части разреза наблюдалось однородное горизонтальное и вертикальное их распределение (рис. 4.23). В последующее пятилетие пространственное распределение нитритов в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием характеризовалось весьма низкими концентрациями — около 2—3 мкг/л.

Примыкающие к зоне водообмена на западе Бакинская бухта и на востоке Красноводский залив отличались наиболее высокой концентрацией нитритов — около 10 мкг/л (см. табл. 4.32).

По данным средних многолетних зимних наблюдений за 1961—1980 гг., в Южном Каспии слой 0—250 м характеризуется однородным содержанием нитритов — 3 мкг/л, которое с глубиной увеличивается и у дна достигает 6 мкг/л (рис. 4.24 *а*).

Зимние наблюдения в 1981—1985 гг. свидетельствуют о том, что характер распределения нитри-

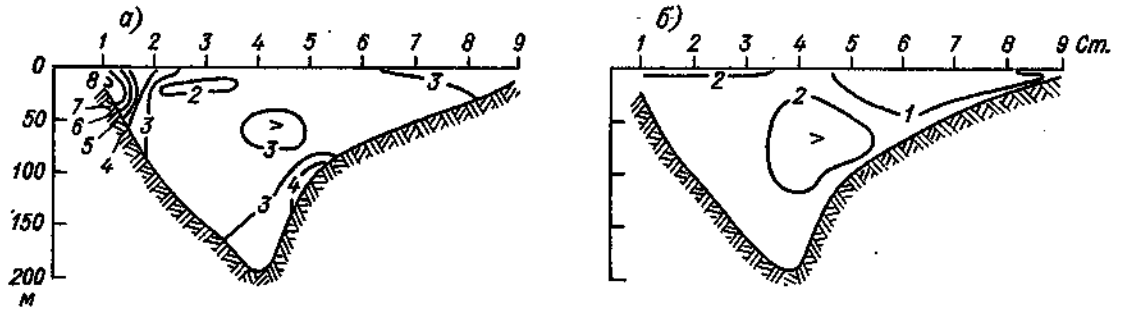


Рис. 4.23. Среднее многолетнее (1961—1980 гг.) распределение нитритов (мкг/л) на разрезе о. Жилой — м. Куули зимой (*а*) и весной (*б*).

Таблица 4.34

Основные статистические характеристики концентраций нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
					Разрез Дивичи—Кендерли							
0	12	3,0	4,0	132	9	4,4	6,4	147	11	2,7	3,6	135
10	12	2,7	3,7	137	9	3,7	4,6	123	11	3,3	3,9	119
20	12	3,0	4,0	132	9	3,8	6,1	159	11	3,1	4,0	131
30	12	3,0	3,3	112	9	4,5	6,0	136	9	2,7	3,8	139
50	12	3,5	4,3	122	9	3,4	6,2	182	—	—	—	—
75	—	—	—	—	9	3,7	6,4	172	—	—	—	—
100	—	—	—	—	9	3,8	6,5	172	—	—	—	—
150	—	—	—	—	9	4,4	6,7	152	—	—	—	—
200	—	—	—	—	9	4,2	6,3	152	—	—	—	—
250	—	—	—	—	9	3,7	5,5	151	—	—	—	—
300	—	—	—	—	9	3,5	5,0	142	—	—	—	—
400	—	—	—	—	8	3,7	4,8	130	—	—	—	—
500	—	—	—	—	6	2,9	3,4	119	—	—	—	—
600	—	—	—	—	4	3,4	4,1	121	—	—	—	—
					Разрез о. Жилой — м. Куули							
0	12	2,0	2,8	142	14	2,7	3,0	110	14	3,6	4,4	122
10	10	1,7	1,8	105	13	2,2	2,3	106	14	3,5	3,9	112
20	10	2,2	2,9	130	13	2,4	2,4	102	—	—	—	—
40	10	2,8	3,3	116	13	2,4	2,5	102	—	—	—	—
50	10	2,4	2,6	107	13	2,6	2,4	92	—	—	—	—
75	10	1,8	1,9	104	10	2,3	2,3	98	—	—	—	—
100	10	2,2	2,3	106	—	—	—	—	—	—	—	—
150	8	2,5	2,7	109	—	—	—	—	—	—	—	—
200	3	3,5	3,4	98	—	—	—	—	—	—	—	—
					Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский							
0	12	3,1	2,9	93	11	2,9	3,1	106	10	4,0	4,6	116
10	12	2,7	3,1	115	11	2,8	2,8	101	10	3,6	3,6	100
20	12	2,5	2,6	105	11	2,4	2,7	109	9	4,1	2,9	73
30	12	2,6	3,2	124	11	2,8	2,6	94	8	3,6	3,0	84
50	12	2,6	2,6	100	11	2,4	2,4	92	—	—	—	—
75	12	2,6	3,1	118	11	3,0	3,0	97	—	—	—	—
100	12	2,3	2,8	119	11	2,9	2,8	96	—	—	—	—
150	11	2,4	4,3	178	11	2,8	2,6	94	—	—	—	—
200	10	2,4	3,3	139	11	3,1	3,2	104	—	—	—	—
250	9	3,4	4,0	115	11	3,1	3,1	101	—	—	—	—
300	5	1,1	1,5	137	11	3,1	3,2	104	—	—	—	—
400	—	—	—	—	10	3,5	3,6	102	—	—	—	—
500	—	—	—	—	10	3,5	3,5	102	—	—	—	—
600	—	—	—	—	8	3,5	4,0	114	—	—	—	—
800	—	—	—	—	4	6,3	4,1	65	—	—	—	—

Таблица 4.35

Изменения содержания нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
					Разрез Дивичи—Кендерли					
0	5,6	4,5	—1,1	2,6	—1,9	1,9	7,5	5,6	3,3	—4,2
10	5,1	6,4	1,3	2,6	—3,8	2,2	4,5	2,3	3,9	—1,0
20	3,3	4,0	0,7	2,9	—1,1	2,0	6,0	4,0	3,2	—2,8
30	2,5	5,2	2,7	3,1	—2,1	2,1	6,8	4,7	3,9	—2,9
50	2,1	4,6	2,5	2,9	—1,7	2,3	6,2	4,0	2,4	—3,8
75	2,3	5,1	2,8	2,8	—2,3	2,3	6,4	4,1	2,4	—4,0
100	2,3	5,4	3,1	2,4	—3,0	2,3	6,5	4,2	2,2	—4,3
150	2,6	5,4	2,8	2,6	—2,8	2,1	6,7	4,6	2,3	—4,4
200	2,6	5,3	2,7	2,2	—3,1	1,8	6,8	5,0	2,0	—4,8
250	3,0	6,8	3,7	1,9	—4,9	1,4	6,3	4,9	1,3	—5,0
300	3,4	6,9	3,5	1,7	—5,2	1,0	5,7	4,7	1,5	—4,2
400	3,6	6,8	3,2	2,1	—4,7	2,5	6,5	4,0	1,6	—4,9
500	—	—	—	2,9	—	3,9	—	—	1,7	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3	—

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	0,3	3,2	2,9	2,9	—0,3	0,2	4,0	3,8	2,5	—1,5
10	0,4	2,3	1,9	2,6	0,3	2,5	2,4	—0,1	2,5	0,1
20	0,6	3,2	2,6	3,0	—0,2	1,5	2,2	0,7	2,1	—0,1
30	0,4	3,1	2,7	2,3	—0,8	0,7	3,1	2,4	2,9	—0,2
50	0,3	3,8	3,5	3,5	—0,3	0,0	3,4	3,4	2,7	—0,7
75	0,7	3,3	2,6	2,9	—0,4	0,2	3,6	3,4	3,5	—0,1
100	1,1	3,6	2,5	3,4	—0,2	0,3	3,4	3,1	3,5	0,1
150	1,0	3,7	2,7	2,7	—1,0	0,6	3,2	2,6	2,8	—0,4
200	0,9	3,9	3,0	2,8	—1,1	0,9	2,9	2,0	3,6	0,7
250	0,9	4,6	3,7	3,6	—1,0	0,9	6,0	5,1	3,2	—2,8
300	0,9	4,0	3,1	3,9	—0,1	0,9	3,1	2,2	3,2	0,1
400	0,9	4,4	3,5	3,3	—1,1	0,9	3,9	3,0	3,3	—0,6
500	0,7	4,3	3,6	2,7	—1,6	0,9	3,9	3,0	3,1	—0,8
600	0,5	4,6	4,1	2,6	—2,0	0,1	3,4	3,3	3,1	—0,3
800	1,1	4,5	3,4	2,9	—1,6	—	(5,3)	—	2,9	—

Примечание. Здесь и в табл. 4.38, 4.40, 4.43 Δ — разность между значениями в 1970—1977 и 1962—1969 гг.; Δ_1 — разность между значеннями в 1978—1985 и 1970—1977 гг.; в скобках указаны данные, вызывающие сомнения.

тов практически не изменился, но концентрации нитритов несколько снизились (рис. 4.24 *б*). Это также согласуется с распределением фосфатов в данный период.

Зимой (1981—1985 гг.) зона более высокого содержания нитритов находилась на поверхности в западной части Среднего Каспия, зона со следами нитритов — в восточной части Среднего и Южного Каспия (рис. 4.25 *а*).

На горизонтах 50 и 100 м распределение нитритов было однородным (1—2 мкг/л) как в средней, так и в южной части Каспийского моря (рис. 4.25 *б*).

В Южном Каспии зимой в 1961—1983 гг. нитриты присутствовали от поверхности до дна в количестве 3—5 мкг/л, в отличие от периода начала 60-х годов, когда они практически отсутствовали или обнаруживались их следы.

В зимний период в Южном Каспии на станциях 4 и 6 четко прослеживается увеличение концентраций нитритов от поверхности до дна в условиях понижения уровня моря и их уменьшение при повышении уровня (см. табл. 4.35).

Прочие формы соединений азота (аммонийного, нитратного, органического) в водах Каспийского моря определялись эпизодически. Результаты этих фрагментарных наблюдений представлены в работах предшествующих исследователей [65, 100].

По данным А. С. Пахомовой [100], в 1960—1962 гг. зимой в Среднем Каспии количество нитратов изменялось в диапазоне 40—76 мкг/л. Зимой 1966 г. отмечалось резкое изменение содержания нитратов по вертикали: на поверхности — 5 мкг/л, у дна — 145 мкг/л. Значительное увеличение концентрации нитратов наблюдалось в промежуточном слое 100—200 м. В Южном Каспии зимой содержание нитратов было значительно меньше, чем в Среднем Каспии на всех горизонтах, от поверхности до дна.

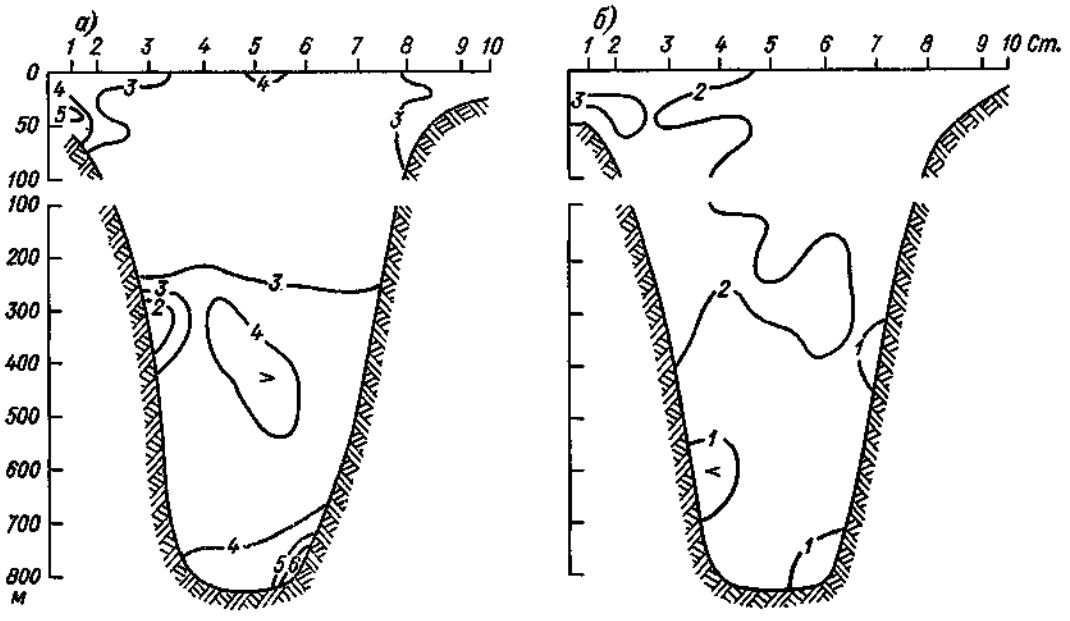


Рис. 4.24. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский зимой в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Рис. 4.25. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой на поверхности (*а*) и на горизонте 100 м (*б*).

Исследования 1979—1981 гг. показали, что в зимний период в Среднем Каспии обогащены нитратами воды западной части моря — до 30 мкг/л. Зимние концентрации нитратов в эвфотическом слое Среднего Каспия в несколько раз выше, чем в Южном Каспии и на Апшеронском пороге, так как на юге зимой нитраты интенсивно потребляются в процессе фотосинтеза; максимум содержания нитратов (60—70 мкг/л) был также отмечен в слое 200—400 м.

Зимой более теплые воды восточной части Южного и Среднего Каспия были обогащены аммонийным азотом — преобладали концентрации 20—40 мкг/л; в западной части Среднего Каспия они составляли 2—5 мкг/л, на западе в Южном Каспии — от 3 до 10 мкг/л [65].

Распределение минеральных форм азота в весенний период

В апреле — мае в районах предустьевых взморий Волги и Урала отмечается высокое содержание аммонийного азота (до 150—200 мкг/л), затем с продвижением на юг оно резко снижается и в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием не превышает 30 мкг/л (рис. 4.26 *а*). Высокие концентрации аммонийного азота в ряде районов Северного Каспия обусловлены обогащением этим соединением за счет паводковых вод. Это связано с тем, что речные воды в это время года интенсивно промывают дельту, способствуя поступлению в море минерализованного органического вещества.

Весной в Северном Каспии концентрации нитритного азота минимальные: в восточной части они изменяются от 6 мкг/л в районе предустьевого взморья Урала до 1 мкг/л в районе Уральской бороздины. Аналогичный характер имеет и распределение нитритов на разрезе II, отделяющем восточную часть Северного Каспия от западной (рис. 4.27 *а*).

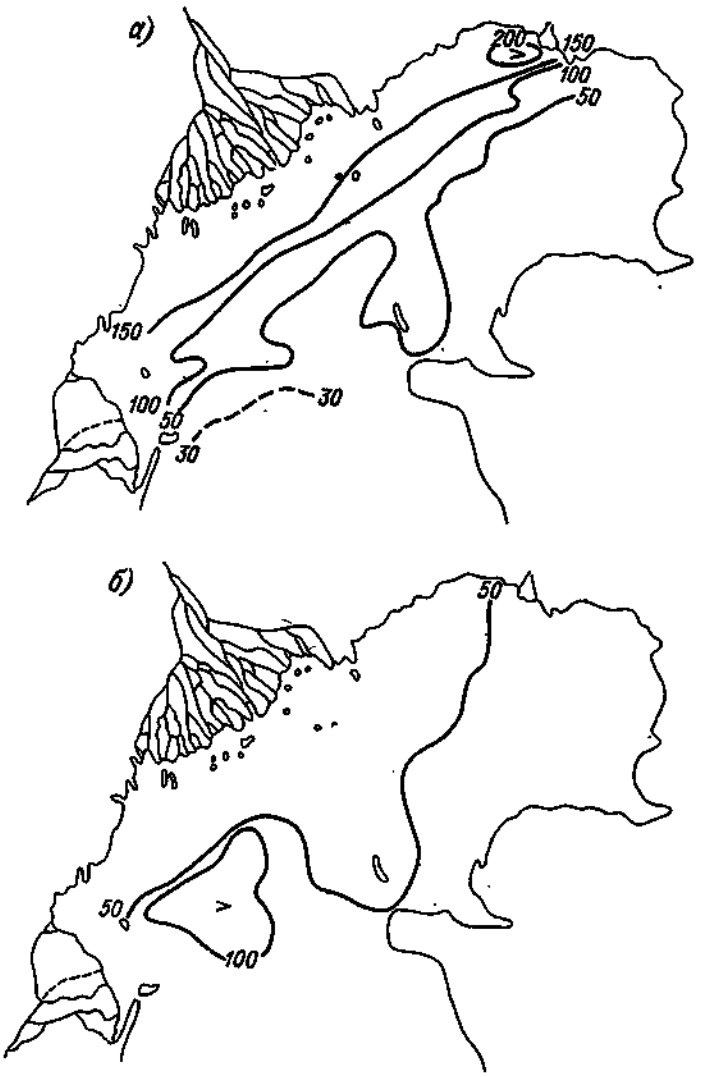


Рис. 4.26. Среднее многолетнее (1975—1983 гг.) распределение аммонийного азота (мкг/л) в Северном Каспии весной (*а*) и осенью (*б*).

В центральной западной части моря, в северном районе, подверженном наибольшему влиянию волжского стока, содержание нитритов выше, чем на юге Северного Каспия (разрез III). В западной и юго-западной частях моря (разрез IIIа), куда направляется основной волжский сток, высокие концентрации нитритов обнаружены практически везде (рис. 4.27 *а*).

Расчет тренда для 23-летнего ряда (1961—1983 гг.) наблюдений в Северном Каспии показал понижение содержания нитритов в этом районе в весенние месяцы на 2,8 мкг/л.

В распределении концентраций нитратов и аммонийного азота на акватории Северного Каспия есть общие закономерности: весенний максимум; резкое уменьшение с севера на юг, особенно отчетливо проявляющееся на разрезе IIIа; наличие высоких концентраций в зоне, ограниченной глубинами до 2 м. По-видимому, резкое снижение содержания нитратов на большей части акватории Северного Каспия обусловлено их интенсивным потреблением фитопланктоном в зоне смешения вод (рис. 4.26 *а* и 4.27 *в*).

Весной в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, по сравнению с зимним периодом коли-

Рис. 4.27. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение (мкг/л) нитритов (*а*, *б*) и нитратов (*в*, *г*) в Северном Каспии весной (*а*, *в*) и осенью (*б*, *г*).

чество нитритов, как правило, уменьшается во всей водной толще, что, по-видимому, можно объяснить активизацией деятельности фитопланктона с повышением температуры воды (см. табл. 4.30).

Весной в районах устьевых взморий Терека и Самура, а также восточного мелководья (м. Бекдаш и Форт-Шевченко) содержание нитритов несколько снизилось по сравнению с зимним периодом. В районе восточного мелководья оно на 5—6 мкг/л меньше по сравнению с тем, что наблюдалось в этот период в районе западного мелководья (табл. 4.32).

Весной по сравнению с зимой в районе устьевого взморья Терека отмечалось резкое уменьшение содержания нитратов (в 5—6 раз) и рост количества аммонийного и органического азота (см. табл. 4.31).

В течение 1961—1980 гг. весной распределение нитритов на разрезе Дивичи — Кендерли было довольно однородным от поверхности до дна — 2—5 мкг/л; в последующий период исследования (1981—1985 гг.) в этом районе среднее сезонное содержание нитритов снизилось на 1—2 мкг/л во всей водной толще и на 4 мкг/л у дна (рис. 4.28 *а*).

Весной в период понижения уровня моря, аналогично тому, что наблюдалось и зимой, на разрезе Дивичи — Кендерли (станции 4 и 6) отмечалось повышение концентраций нитритов во всей водной толще (на отдельных горизонтах эти различия по сравнению с периодом квазистационарного состояния уровня достигали 3—4 мкг/л). Последующее повышение уровня моря характеризовалось общим уменьшением их значений в этом районе (табл. 4.36).

В весенний сезон на разрезе Дивичи — Кендерли концентрации нитритов характеризуются высокой изменчивостью: на глубоководной ст. 6 и мелководной ст. 9 коэффициенты вариации превышали 100 % от поверхности до дна и в ряде случаев достигали 150—190 % (табл. 4.37).

На границе Среднего и Южного Каспия пространственное распределение нитритов было довольно однородным и характеризовалось концентрациями, не превышающими 2 мкг/л (рис. 4.23 *б*).

В Бакинской бухте и на акватории взморья Куры весной содержание нитритов было довольно высокое (8 и 6 мкг/л соответственно) — на уровне концентраций, наблюдаемых здесь в зимний период; в Красноводском заливе по сравнению с зимой оно снизилось почти в 2 раза (см. табл. 4.32).

Глубоководные районы Южного Каспия характеризовались весьма низкими значениями нитритов во всей водной толще — 1—2 мкг/л (рис. 4.28 *в*, *г*).

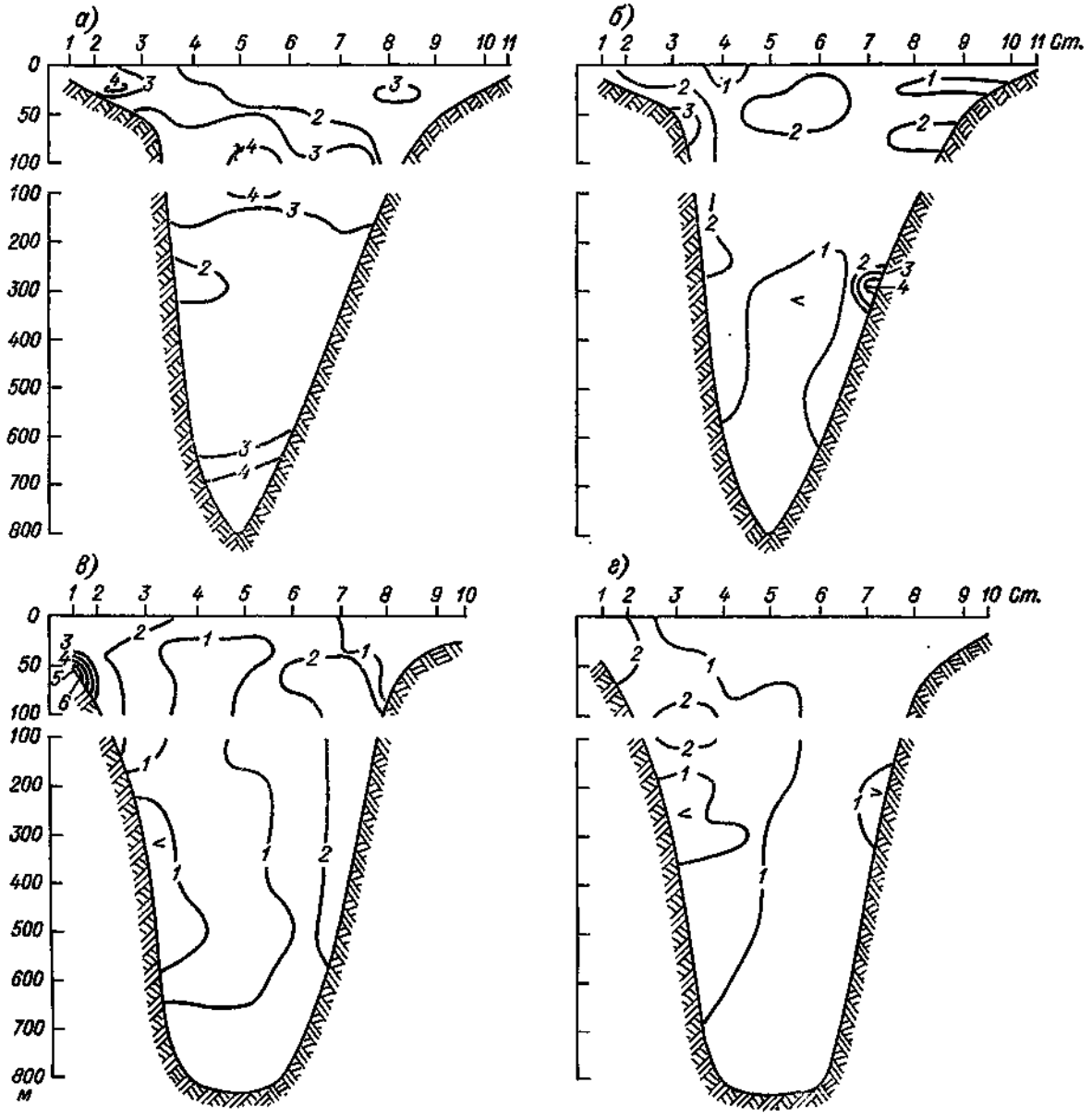


Рис. 4.28. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) весной на разрезах Дивичи—Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

В пространственном распределении нитритов в деятельном слое Среднего и Южного Каспия весной в течение 1981—1985 гг. было отмечено некоторое увеличение их концентраций на горизонте 50 м по сравнению с горизонтами 0 и 100 м (рис. 4.29).

В различные периоды повышения и понижения уровня моря весной на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский в динамике нитритов сохранялась та же направленность, что и в холодное время года. Наиболее интенсивные изменения содержания нитритов в связи с колебаниями уровня моря происходили в слое 0—100 м (см. табл. 4.36).

Распределение минеральных форм азота в летний период

В июне — июле содержание аммонийного азота значительно уменьшалось на всей акватории Северного Каспия, в основном сохраняя характер весеннего распределения. По-прежнему увеличение концентраций аммонийного азота отмечалось в районах, наиболее подверженных влиянию стока Волги, к которым относятся прежде всего предустьевое взморье Волги и юго-западный район (разрез IIIа). Их уменьшение (ниже 20 мкг/л), которое было обнаружено в южной части Северного Каспия (рис. 4.30 *а*), связано в основном с интенсивным потреблением аммонийного азота фитопланктоном наряду с нитратами. Ряд исследователей считают, что в водах Северного Каспия для различных видов фитопланктона предпочтительной формой азотного питания служит аммонийный азот [65]. Поэтому при уменьшении фотосинтетической активности фитопланктона и в результате окисления азотсодержащих частей органического вещества в августе — сентябре увеличивается содержание аммонийного азота на всей акватории Северного Каспия (рис. 4.30 *б*).

Теплый период года в северной части Каспийского моря характеризуется повышенными концен-

Таблица 4.36

Изменения содержания нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	0,3	1,7	1,4	1,3	—0,4	0,3	1,6	1,3	1,7	0,1
10	0,0	1,8	1,8	1,4	—0,4	0,0	4,3	4,3	2,4	—1,9
20	0,7	3,2	2,5	1,9	—1,3	0,0	4,1	4,1	2,5	—1,6
30	0,0	2,4	2,4	2,2	—0,2	0,0	1,8	1,8	2,8	1,0
50	0,0	2,7	2,7	2,5	—0,2	0,0	2,4	2,4	3,0	0,6
75	0,2	3,8	3,6	2,7	—1,1	0,0	3,4	3,4	2,4	—1,0
100	0,4	4,4	3,9	3,1	—1,3	0,0	4,3	4,3	2,3	—2,0
150	0,5	3,2	2,7	3,1	—0,1	0,0	3,7	3,7	2,2	—1,5
200	0,7	2,3	1,6	2,9	0,6	0,0	3,1	3,1	2,2	—0,9
250	0,6	2,0	1,4	3,1	1,1	0,0	3,8	3,8	2,2	—1,6
300	0,6	1,9	1,3	2,3	0,4	0,0	4,5	4,5	2,3	—2,2
400	—	2,3	1,7	2,1	—0,2	0,0	3,0	3,0	3,5	0,5
500	—	—	—	2,4	—	0,0	2,4	2,4	1,6	—0,8
600	—	—	—	—	—	—	1,9	1,9	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	0,4	2,8	2,2	0,5	—2,3	0	1,9	1,9	0,8	1,1
10	0,2	1,7	1,5	0,7	—1,0	0	1,4	1,4	0,9	—0,5
20	0,6	1,0	0,4	0,9	—0,1	0,3	2,3	2,0	0,8	—1,5
30	0,3	0,7	0,3	1,0	0,3	0,1	2,1	2,0	0,9	—1,2
50	1,1	0,3	—0,8	0,7	0,4	0,2	4,9	4,7	0,8	—4,1
75	0,9	0,3	—0,6	0,9	0,6	0,1	4,0	3,9	0,8	—3,2
100	0,7	0,5	—0,2	1,2	0,7	0,0	3,1	3,0	0,7	—2,4
150	0,5	0,3	—0,2	1,2	0,9	0,2	2,5	2,2	0,6	—1,9
200	0,3	0,2	—0,1	1,2	1,0	0,4	1,5	1,1	0,6	—0,9
250	0,3	0,4	0,1	2,2	1,8	0,4	1,6	1,2	0,8	—0,8
300	0,4	0,6	0,2	1,2	0,6	0,3	1,7	1,4	0,8	—0,9
400	0,5	0,7	0,2	1,5	0,8	0,2	2,1	0,9	0,8	—0,3
500	0,2	1,2	1,0	1,8	0,6	0,4	1,1	0,7	0,8	—0,3
600	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	0,7	1,5	0,8	0,7	—0,8
800	0,0	0,5	0,5	1,5	1,0	0,8	1,5	0,7	0,4	—1,1

Рис. 4.29. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной на поверхности (*а*) и на горизонте 50 м (*б*).

трациями нитритов: максимум наблюдается в августе — сентябре и составляет 5 мкг/л. Расчет тренда по ряду наблюдений в летнее время за 1961—1983 гг. показал некоторый рост концентраций нитритов в этой части Каспийского моря.

По данным средних многолетних наблюдений, полученных в летнее время в течение 23 лет, в различных районах восточной части Северного Каспия отмечалось однородное для конкретного района моря распределение нитритов: на акватории предустьевого взморья Урала концентрации составляли 5—7 мкг/л, в центральном районе Уральской бороздины — 2—3 мкг/л, в юго-восточном районе — 4—5 мкг/л.

Концентрации нитритов в западной части Северного Каспия, в районе, подверженном значительному влиянию волжского стока (северные станции разрезов II и III), в августе — сентябре в 2—3 раза выше, чем в июне-июле. В то же время характер распределения нитритов на остальной акватории западной части моря в начале и конце теплого периода одинаковый: в центральном районе концентрации нитритов снижаются до 2—3 мкг/л, а на юге — снова возрастают до 4—5 мкг/л. Наиболее высокое содержание нитритов в летнее время отмечалось локально в юго-западной части Северного Каспия: в начале лета 20 мкг/л, в конце лета 10 мкг/л (рис. 4.31 *а, б*).

В июне — июле нитраты в водах Северного Каспия присутствуют в количестве, не превышающем 20—40 мкг/л, которое уже в августе — сен-

Таблица 4.37

Основные статистические характеристики концентраций нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	11	2,7	3,1	114	11	1,3	1,8	138	11	3,2	6,0	189
10	11	3,2	3,7	115	11	2,7	4,6	171	11	3,0	3,8	127
20	11	3,0	1,9	65	11	2,6	5,0	188	11	2,2	2,4	107
30	11	2,7	2,0	72	11	1,6	2,2	137	11	1,9	2,3	123
50	11	3,6	2,3	64	11	2,1	2,4	110	—	—	—	—
75	—	—	—	—	11	2,5	3,4	136	—	—	—	—
100	—	—	—	—	11	3,0	4,9	161	—	—	—	—
150	—	—	—	—	10	3,0	4,2	138	—	—	—	—
200	—	—	—	—	10	2,8	3,5	174	—	—	—	—
250	—	—	—	—	10	3,3	4,2	128	—	—	—	—
300	—	—	—	—	10	3,7	5,0	136	—	—	—	—
400	—	—	—	—	9	3,0	3,5	117	—	—	—	—
500	—	—	—	—	9	2,5	2,8	111	—	—	—	—
600	—	—	—	—	7	2,6	3,1	122	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	11	2,1	2,6	121	13	1,6	2,8	181	12	1,5	2,8	193
10	11	1,2	1,6	134	13	1,3	2,0	153	12	1,0	1,6	163
20	11	1,4	1,5	113	13	0,7	1,3	179	—	—	—	—
30	11	1,3	1,6	117	13	0,9	1,3	142	—	—	—	—
50	11	1,4	1,8	129	13	1,0	1,7	160	—	—	—	—
75	11	1,5	2,0	140	12	1,2	2,0	167	—	—	—	—
100	11	1,2	2,1	166	—	—	—	—	—	—	—	—
150	10	1,4	2,2	159	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	13	2,1	2,1	101	13	1,2	1,5	123	13	2,5	5,4	217
10	13	1,1	1,3	125	13	1,0	1,3	135	13	0,8	1,0	129
20	13	1,0	1,4	136	13	1,5	3,0	199	13	0,6	0,7	123
30	13	1,0	1,2	116	13	1,4	2,0	143	12	0,7	0,8	113
50	13	1,1	1,2	108	13	2,9	3,8	132	—	—	—	—
75	13	1,3	1,2	91	13	2,4	3,5	146	—	—	—	—
100	13	1,6	1,4	85	13	1,8	3,7	204	—	—	—	—
150	13	1,0	0,9	84	13	1,5	3,0	198	—	—	—	—
200	13	0,7	0,9	116	13	1,1	1,9	169	—	—	—	—
250	11	1,1	1,2	110	13	1,1	2,0	185	—	—	—	—
300	10	1,4	1,3	94	13	1,1	2,2	198	—	—	—	—
400	—	—	—	—	12	1,4	2,5	187	—	—	—	—
500	—	—	—	—	11	0,9	1,4	154	—	—	—	—
600	—	—	—	—	10	1,1	1,5	134	—	—	—	—
800	—	—	—	—	9	1,2	1,4	118	—	—	—	—

тябре снижается до 15—10 мкг/л. Максимум концентраций нитратов, который был обнаружен в северо-западной части Северного Каспия, составил в июне — июле 200 мкг/л, в августе — сентябре 70 мкг/л (рис. 4.31 *в, г*).

Волжский сток в летнее время не обогащает море нитратной формой азота, которая активно потребляется фитопланктоном в зоне, ограниченной 2-метровыми глубинами. Исследователи считают, что основной потребитель нитратов на акватории устьевого взморья Волги — нитчатые водоросли, например спирогира [65].

Летом в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием нитриты распределяются неравномерно: в районе западного и восточного мелководья концентрации нитритов более высокие по всей водной толще, в центральной части разреза они снижаются более чем в 2 раза. В динамике годового хода распределение нитритов в летнее время на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак практически не изменилось по сравнению с весенним периодом (см. табл. 4.30).

Однако в мелководных районах (Махачкала, м. Бекдаш, Форт-Шевченко) и районах предустьевых взморий Терека и Самура содержание нитритов снизилось (в отдельных районах примерно в 2 раза). При этом в устье Терека также было отмечено резкое снижение концентраций аммонийного и общего азота (см. табл. 4.31).

По данным наблюдений за 1961—1980 гг., летом в Среднем Каспии (разрез Дивичи — Кендерли) в деятельном слое моря прослеживалась тенденция уменьшения концентраций нитритов с запада на восток с 5 до 2 мкг/л. Ниже слоя 0—50 м и до дна они не превышали 3 мкг/л. В последующее пятилетие пространственное распределение

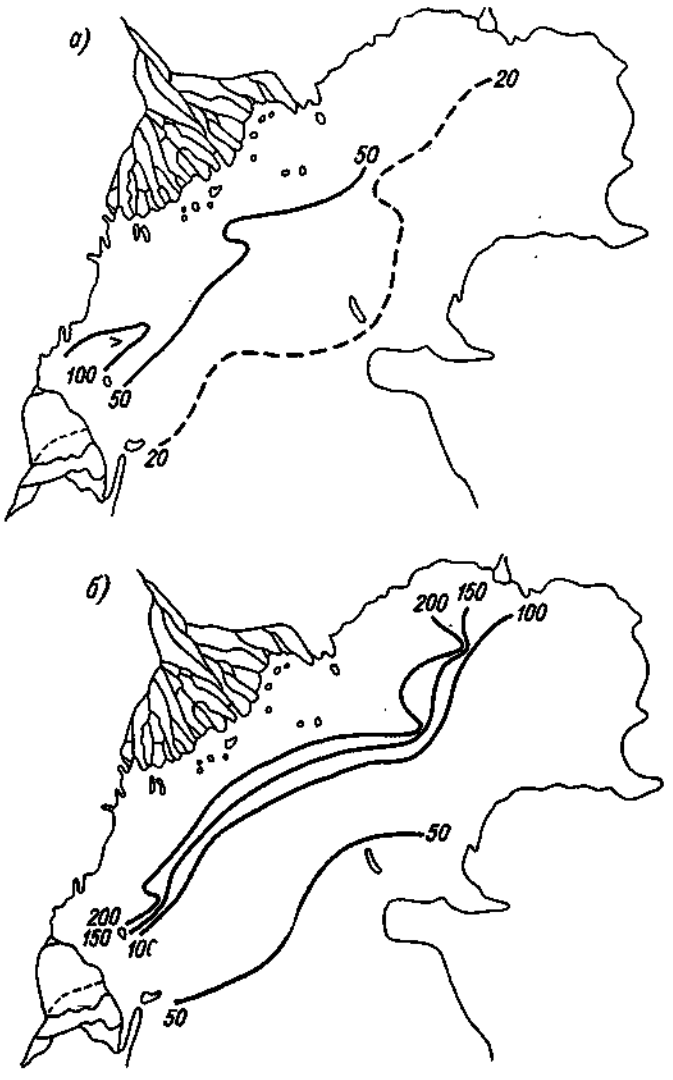


Рис. 4.30. Среднее многолетнее (1975—1983 гг.) распределение аммонийного азота (мкг/л) в Северном Каспии в июне—июле (*а*) и в августе—сентябре (*б*).

нитритов на разрезе Дивичи — Кендерли в теплое время года стало еще более однородным (рис. 4.32).

По сравнению с данными 1958—1962 гг., когда нитриты в водах Среднего Каспия практически отсутствовали [100], летние месяцы периода 1962—1985 гг. характеризовались появлением нитритов в водной толще открытой части Среднего Каспия.

В летнее время на разрезе Дивичи-Кендерли прослеживалась в динамике нитритов в связи с изменением уровня моря тенденция, обратная той, которая наблюдалась в другие сезоны года (табл. 4.38).

В зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, по данным летних наблюдений за 1962—1985 гг., также отмечалось однородное пространственное распределение нитритов (1—3 мкг/л), которое в 1981—1985 гг. практически не изменилось (рис. 4.33 *а, б*).

Как и в другие сезоны, летом в мелководных районах Южного Каспия концентрации нитритов в западной части выше, чем на востоке. Так, в районе взморья р. Куры среднее содержание нитритов 5 мкг/л, в Туркменском заливе — 2 мкг/л (см. табл. 4.32).

В поверхностном горизонте открытых районов Южного Каспия (разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский), по данным летних наблюдений за 1961—1980 гг., локально содержание нитритов достигало 4—5 мкг/л; в толще вод оно колебалось в пределах 1—4 мкг/л, увеличиваясь ко дну в западной части моря. В последующее пятилетие в Южном Каспии в слое 0—600 м распределение нитритов было однородным и характеризовалось еще меньшими концентрациями — 1—2 мкг/л. Значения концентраций нитритов увеличивались до 4 мкг/л и более в придонном слое восточной части Южного Каспия (рис. 4.34).

В целом распределение нитритов на разных горизонтах деятельного слоя Среднего и Южного Каспия летом 1981—1985 гг. было однородным и почти на всей акватории не превышало 2 мкг/л (рис. 4.35). В то же время значения коэффициентов вариации, характеризующие изменчивость концентраций нитритов в Среднем и Южном Каспии от поверхности до дна, достигали на различных горизонтах моря 100—200 % (табл. 4.39).

В летнее время в Южном Каспии, по данным наблюдений за 1962—1985 гг., содержание нитритов по сравнению с данными 1958—1962 гг. увеличилось на 2—3 мкг/л (см. табл. 4.33).

По данным предшествующих исследований [65, 100], летом в эвфотическом слое Среднего Каспия количество нитратов уменьшается до 5—10 мкг/л; повышенные концентрации нитратов наблюдаются лишь в зоне влияния волжского стока и в восточной части моря, зоне апвеллинга — до 7—10 мкг/л. В Южном Каспии воды, обогащенные нитратами, располагаются в зоне свала глубин и вблизи западного побережья.

Летом, по данным наблюдений 1979—1981 гг., отмечался значительный рост концентраций аммонийного азота (средние значения составляли 150—200 мкг/л), особенно в Среднем Каспии. Прибрежные районы, как правило, характеризуются их повышенными значениями, глубоководные части моря — пониженными. Для вертикального распределения азота летом характерно снижение его концентраций на горизонте 25 м, где примерно проходит верхняя граница термоклина.

В теплый период по сравнению с холодным периодом года в деятельном слое Среднего Каспия наблюдается резкое уменьшение органического азота — в 1,5—2,0 раза, в то время как в деятельном слое Южного Каспия распределение органического азота в летнее время не отличается от зимнего. Основное накопление органического азота происходит в глубинных слоях моря — до 940 в Среднем Каспии и более 1000 мкг/л в Южном [65].

Распределение минеральных форм азота в осенний период

В октябре в восточной части Северного Каспия наблюдается резкое снижение концентраций аммонийного азота — с 200 до 50 мкг/л и меньше. В западной части Северного Каспия происходит перераспределение максимальных концентраций аммонийного азота, которые осенью, в отличие от летнего периода, перемещаются из северных в центральные и южные районы Северного Каспия (рис. 4.26 *б*).

К концу года среднее содержание нитритов в Северном Каспии понижается и достигает в октябре — ноябре весеннего уровня.

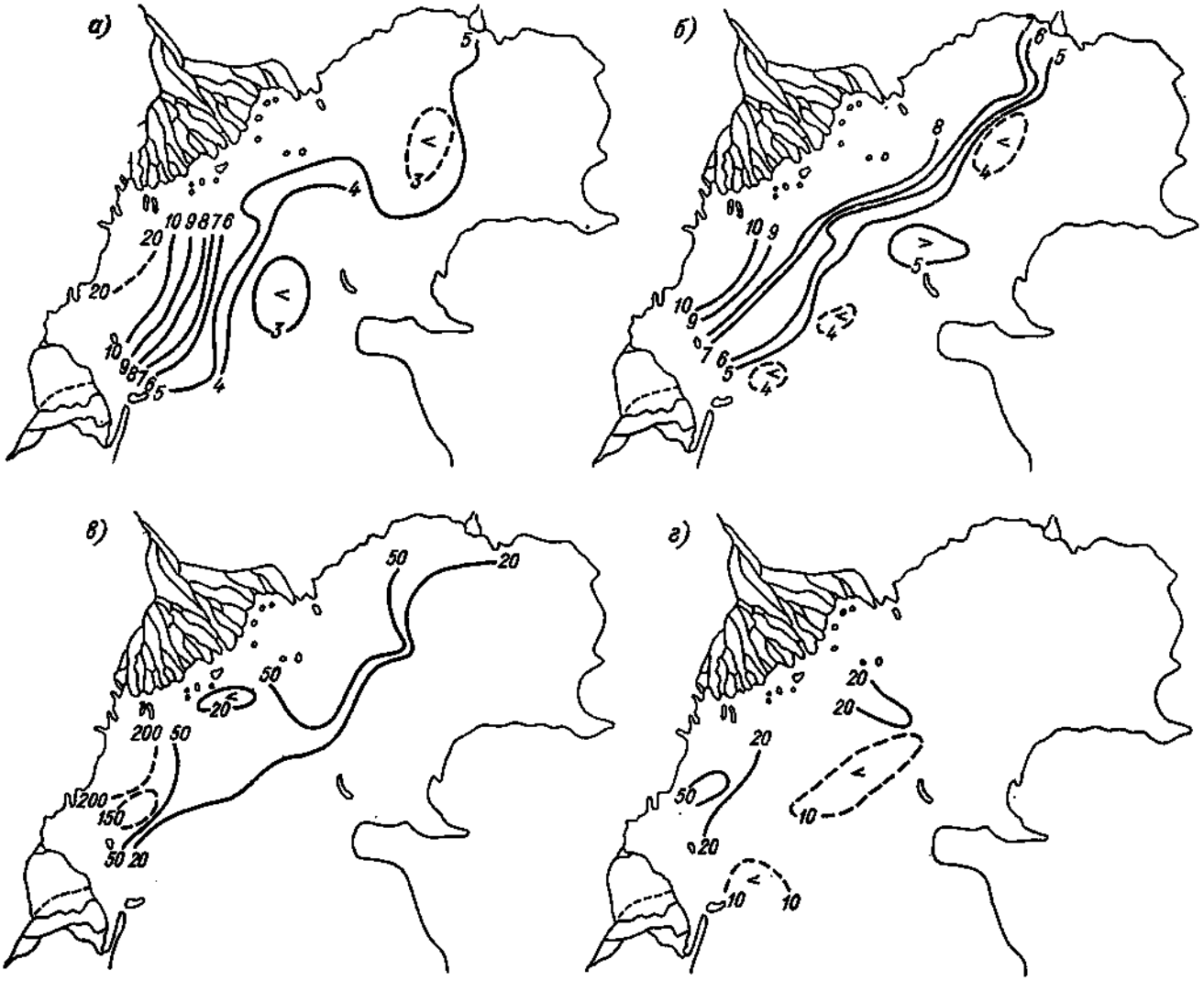


Рис. 4.31. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение (мкг/л) нитритов (*а*, *б*) и нитратов (*в*, *г*) в Северном Каспии в июне—июле (*а*, *в*) и августе—сентябре (*б*, *г*).

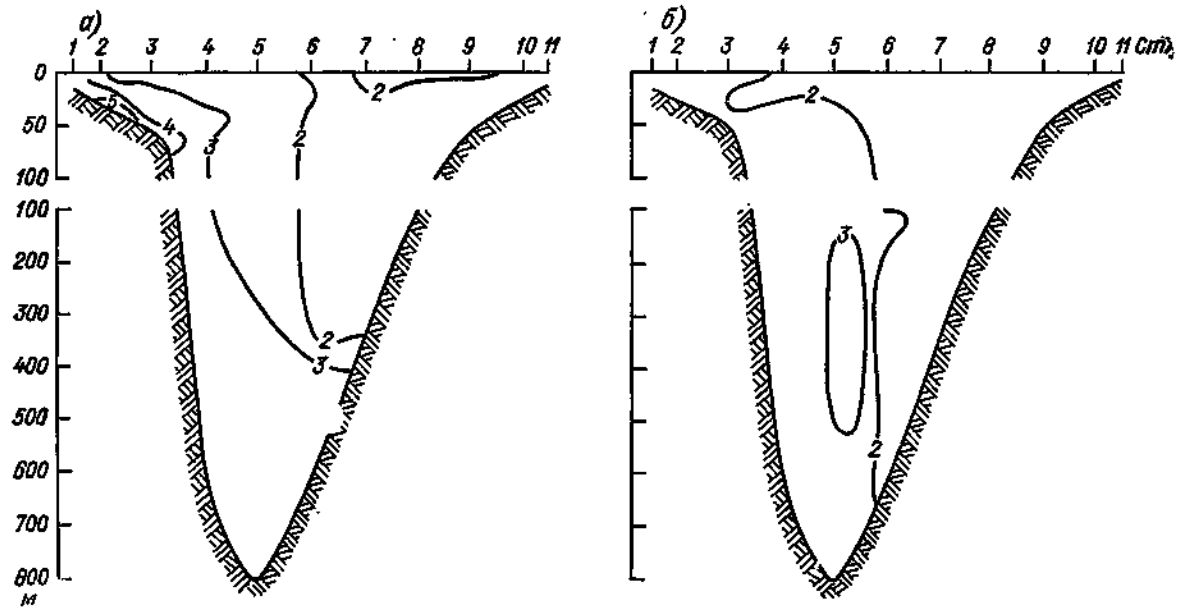


Рис. 4.32. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) на разрезе Дивичи — Кендерли летом в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Таблица 4.38

Изменения содержания нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	2,8	1,0	—1,8	2,4	1,4	2,4	0,4	—2,0	1,5	1,1
10	2,5	2,5	0,0	2,4	—0,1	2,2	0,5	—1,7	1,9	1,4
20	1,1	1,9	8,8	2,1	0,2	2,9	0,2	—2,7	2,1	1,9
30	4,5	1,4	—3,1	2,3	0,9	0,9	0,2	—0,7	1,8	1,6
50	5,6	1,0	—4,6	2,7	1,7	0,6	0,2	—0,4	1,7	1,5
75	4,4	1,4	—3,0	1,9	0,5	1,1	—	—	1,5	—
100	1,8	2,3	0,5	0,8	—1,5	1,7	—	—	1,7	—
150	2,4	1,6	—0,8	2,1	0,5	1,6	—	—	2,2	—
200	2,9	—	—	2,0	1,0	1,6	—	—	1,5	—
250	—	—	—	1,8	—	1,8	—	—	1,8	—
300	—	—	—	2,2	—	1,5	—	—	1,7	—
400	2,4	—	—	2,1	—	2,0	—	—	1,3	—
500	—	—	—	2,2	—	—	—	—	1,6	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—	1,8	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	3,7	1,5	—2,2	1,1	—0,4	4,4	0,4	—4,0	1,4	1,0
10	5,2	2,1	—3,1	1,3	—0,8	4,9	0,9	—4,0	1,4	0,5
20	3,4	1,2	—2,2	1,5	0,3	4,0	0,2	—3,8	1,1	0,9
30	3,7	1,5	—2,2	1,4	—0,1	5,3	0,7	—4,6	1,2	0,5
50	5,0	5,8	0,8	1,8	—4,0	2,0	0,1	—1,9	1,3	1,2
75	4,4	2,6	—1,8	1,2	—1,4	1,9	0,0	—1,9	1,0	1,0
100	3,9	1,2	—2,7	1,4	0,2	1,8	1,3	—0,5	0,8	—0,5
150	5,1	2,0	—3,1	1,4	—0,6	1,8	0,9	—0,9	0,8	—0,1
200	6,7	2,5	—4,2	1,5	—2,0	1,8	0,1	—1,7	0,7	0,6
250	8,3	2,8	—5,5	1,7	—1,1	1,9	0,2	—1,7	0,8	0,6
300	5,9	2,7	—3,2	1,7	—1,0	1,8	0,1	—1,7	0,6	0,5
400	5,9	2,6	—3,3	1,8	—0,8	1,8	0,1	—1,7	0,7	0,6
500	6,4	2,1	—4,3	1,6	—0,6	1,9	0,2	—1,7	0,9	0,7
600	6,8	1,7	—5,1	1,8	0,1	2,1	0,0	—2,1	1,1	1,1
800	5,7	3,1	—2,6	1,5	—1,6	2,2	0,0	—2,2	3,9	3,9

Таблица 4.39

Основные статистические характеристики концентраций нитратов (мкг/л) в открытой части Среднего и Южного Каспия летом за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	9	2,9	1,6	56	10	1,5	1,7	109	9	2,2	1,9	84
20	9	2,2	2,4	107	8	2,0	1,8	88	—	—	—	—
50	7	2,5	3,3	134	8	1,3	1,8	143	—	—	—	—
100	7	3,8	6,0	159	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	10	1,5	1,7	109	10	1,2	1,3	110	11	2,0	1,7	85
20	10	1,9	2,3	120	10	1,2	1,4	115	—	—	—	—
50	10	2,5	3,0	121	8	1,7	1,9	109	—	—	—	—
100	10	2,9	5,2	182	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	11	4,6	4,7	169	10	1,8	3,4	193	9	2,4	3,9	161
20	11	2,6	3,7	144	10	1,0	1,7	171	8	3,1	6,9	219
50	11	2,1	2,4	111	10	1,1	1,7	160	—	—	—	—
100	11	2,2	2,7	121	10	1,5	2,1	139	—	—	—	—
200	10	2,1	2,3	109	10	0,8	1,2	157	—	—	—	—
500	—	—	—	—	10	1,0	1,7	142	—	—	—	—
800	—	—	—	—	8	0,8	1,2	139	—	—	—	—

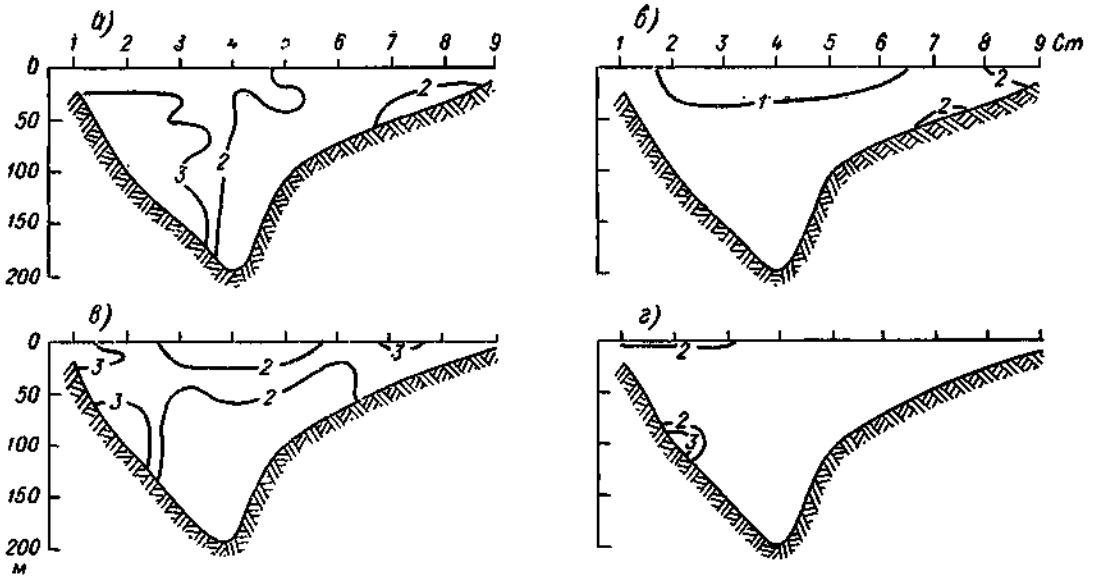


Рис. 4.33. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) на разрезе о. Жилой — м. Куули летом (*а*, *б*) и осенью (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

Осенью восточная часть Северного Каспия и зона водообмена между западной и восточной частью Северного Каспия характеризуются однородным распределением нитритов — 2—3 мкг/л (рис. 4.27 *б*).

Максимум содержания нитритов (6—8 мкг/л) отмечался в районе предустьевого взморья Волги (северные станции разреза IIIа), минимум (2—3 мкг/л) на юге Северного Каспия (рис. 4.26, 4.27 *б*).

Расчет тренда многолетнего ряда наблюдений за осенний период показал, что имеет место увеличение концентраций нитритов в водах Северного Каспия примерно на 4,5 мкг/л.

Осенью с началом ослабления процессов фотосинтеза происходит обогащение моря нитратами. В октябре концентрация нитритов достигает 300 мкг/л в районе устьевого взморья Волги и 100 мкг/л в районе устьевого взморья Урала. В районе Уральской бороздины и на юге Северного Каспия она уменьшается до 20 мкг/л и ниже (рис. 4.27 *г*).

В зоне водообмена между Северным и Средним Каспием осенью содержание нитритов уменьшалось во всей водной толще по сравнению с летним периодом. Как и в другие сезоны, его максимум обнаруживался в западной части разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак, что обусловлено влиянием речного стока в этом районе. Минимум содержания нитритов так же, как и минимум фосфатов, отмечался в центральной части зоны водообмена (см. табл. 4.30).

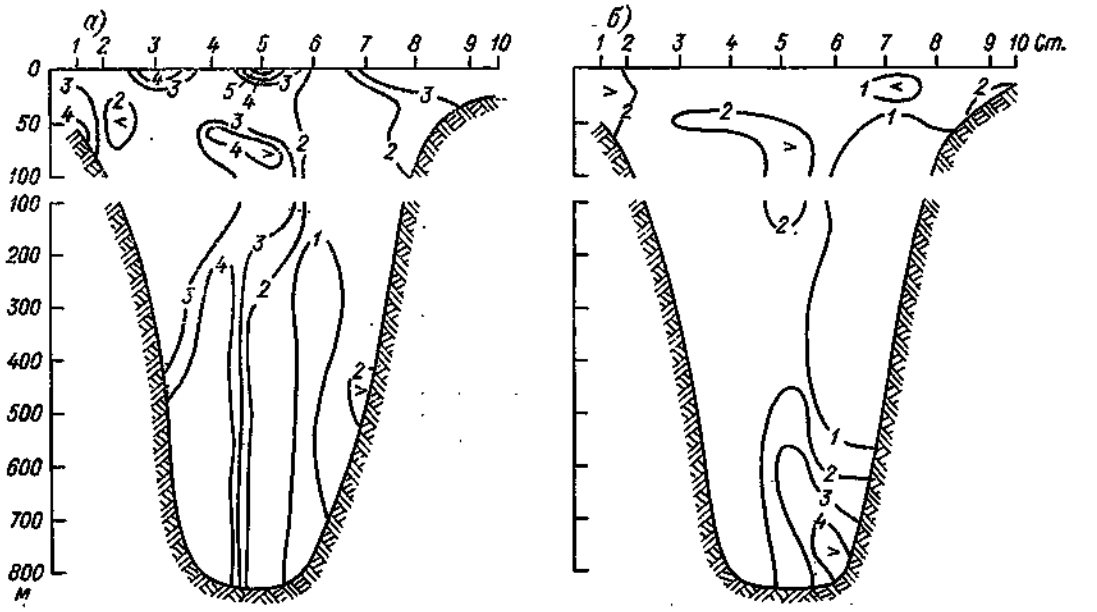


Рис. 4.34. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский летом в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Осенью в районах предустьевых взморий Терека и Самура и восточных мелководий содержание нитритов и других минеральных форм азота практически осталось на уровне средних летних концентраций (см. табл. 4.31).

В осенний период в Среднем Каспии лишь западный район относительно богат нитритами — 4—6 мкг/л; в придонных горизонтах их концентрации опускаются до 1 мкг/л (рис. 4.36 *а, б*). По данным специализированной съемки, которая проводилась в сентябре 1983 г., в слое 0—30 м нитриты отсутствовали. Они обнаруживались в некоторых областях обследованной акватории Среднего Каспия в слое пикноклина (30—50 м) в количествах около 7 мкг/л и более. Глубже 50 м до дна отмечались лишь следы нитритов. По данным осенних наблюдений, проведенных в течение 1962—1985 гг., на разрезе Дивичи — Кендерли, нитриты были также обнаружены в слое 30—50 м и в при-

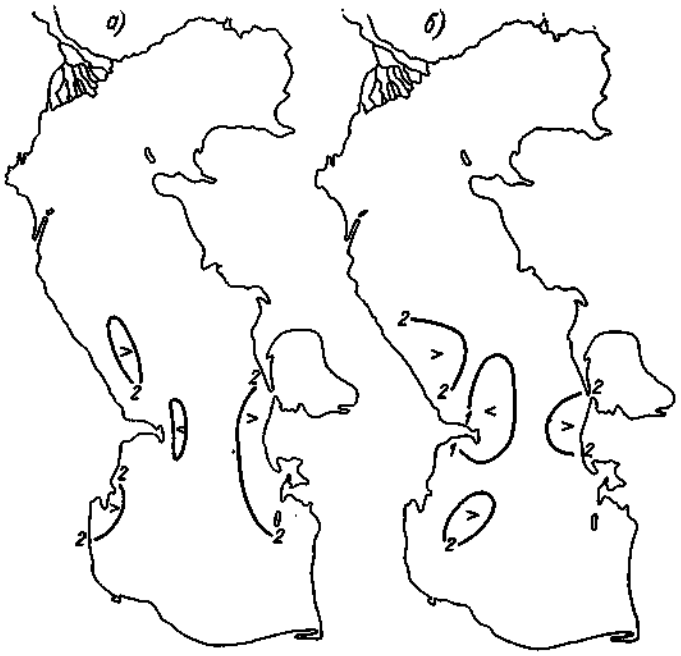


Рис. 4.35. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом на поверхности (*а*) и на горизонте 50 м (*б*).

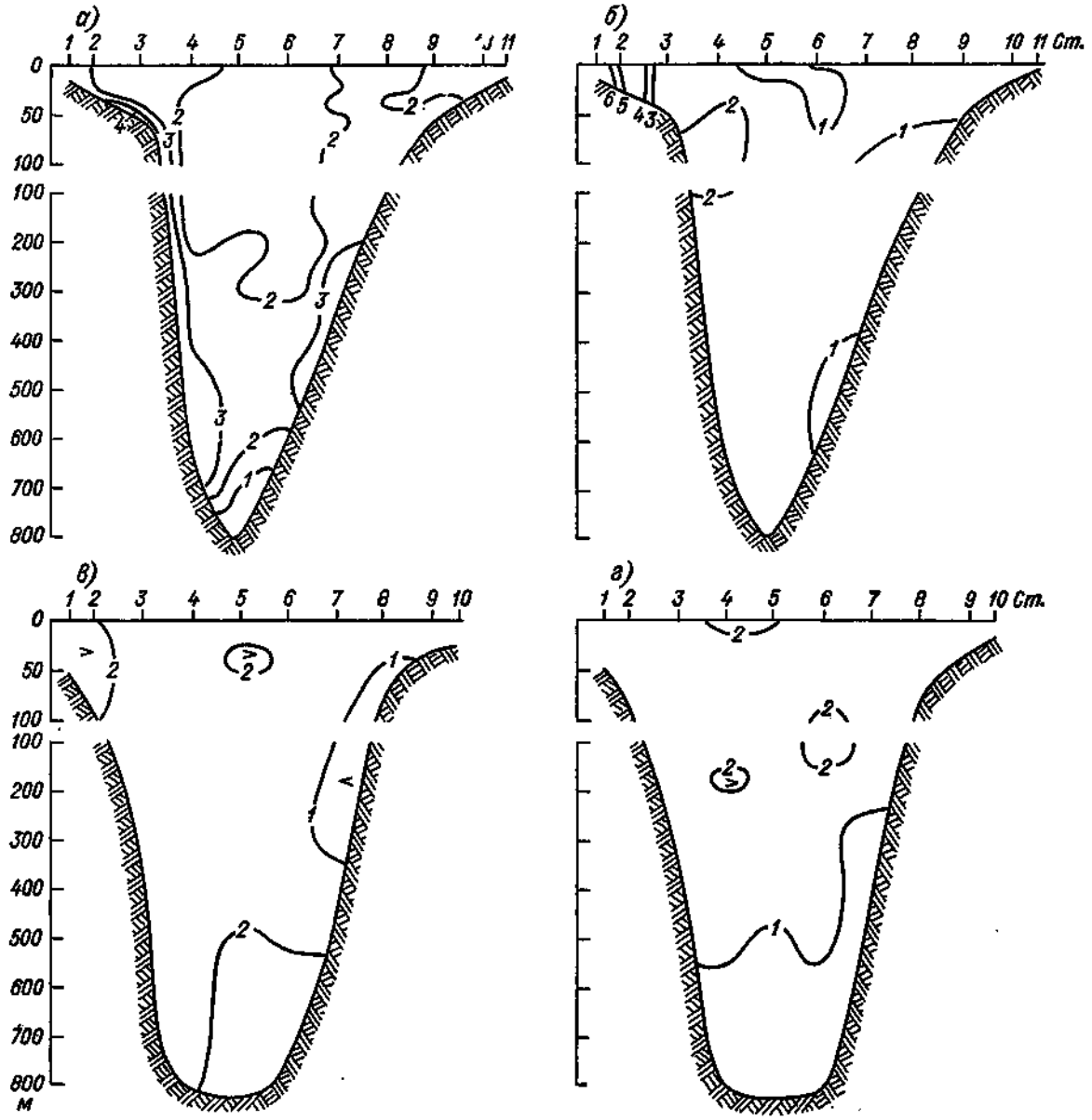


Рис. 4.36. Среднее многолетнее распределение нитритов (мкг/л) осенью на разрезах Дивичи—Кендерли (*а, б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в, г*) в различные периоды исследования.

а, в — 1961—1980 гг.; *б, г* — 1981—1985 гг.

Таблица 4.40

Основные статистические характеристики концентраций нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	10	2,2	1,9	86	9	1,6	1,4	89	10	1,6	2,0	123
20	10	2,4	2,1	88	9	1,3	1,8	138	10	1,7	2,5	149
50	10	4,0	2,7	67	9	1,8	1,8	101	—	—	—	—
100	—	—	—	—	9	1,5	1,9	130	—	—	—	—
200	—	—	—	—	9	1,6	2,0	123	—	—	—	—
500	—	—	—	—	5	3,0	2,7	92	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	11	2,3	2,7	118	13	2,1	2,5	120	13	3,9	6,4	164
20	11	2,7	4,7	174	13	1,5	2,1	138	—	—	—	—
50	9	1,6	1,9	120	13	1,2	2,2	190	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	12	2,3	3,2	141	12	0,7	0,8	118	12	1,2	1,6	128
20	12	1,5	2,1	143	12	1,7	2,6	159	11	1,3	2,0	158
50	12	1,1	1,4	136	12	0,9	1,6	180	—	—	—	—
100	12	1,3	1,7	131	11	1,9	2,7	141	—	—	—	—
200	11	1,1	1,7	172	11	1,0	1,8	175	—	—	—	—
500	—	—	—	—	11	1,9	2,7	143	—	—	—	—

донном слое 500—800 м, но уже в малом количестве, не превышающем 2,5 мкг/л (см. табл. 4.33).

Результаты, представленные в табл. 4.40, показывают, что изменчивость концентраций нитритов в Среднем Каспии довольно большая: на глубоководной ст. 6 коэффициенты вариации достигают на некоторых горизонтах 140 %. В зоне водообмена между Средним и Южным Каспием распределение нитритов осенью практически не отличается от их распределения в этом районе в летний период (см. рис. 4.33 *в, г*). Благодаря высокой динамичности вод в районе Апшеронского порога коэффициенты вариации нитритов здесь очень велики и колеблются в пределах 170—190 %.

Осенью, как и летом, содержание нитритов в Бакинской бухте было значительно выше, чем в открытой части моря — более 7 мкг/л, что объясняется постоянным и значительным поступлением загрязняющих веществ в этот район моря (см. табл. 4.32).

Как и в Среднем Каспии, в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием в осенний период, по данным наблюдений 1962—1985 гг., отмечался рост концентраций нитритов на всех горизонтах от поверхности до дна по сравнению с результатами наблюдений за 1958—1962 гг.

В мелководных районах Южного Каспия осенью концентрации нитритов остались на уровне их содержания летом. По-прежнему максимальными значениями отличался район взморья р. Куры — более 6 мкг/л (см. табл. 4.32). Открытые районы Южного Каспия в различные периоды исследования характеризовались незначительными концентрациями нитритов — 1—2 мкг/л (рис. 4.36 *в, г*).

Осеннее распределение нитритов в деятельном слое Среднего и Южного Каспия характеризуется

Рис. 4.37. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью на поверхности (*а*) и на горизонте 100 м (*б*).

их повышенными концентрациями в районах западного побережья — 5—6 мкг/л. На остальной акватории Среднего и Южного Каспия содержание нитритов не превышает 2 мкг/л (рис. 4.37).

Коэффициенты вариации, свидетельствующие о значительной изменчивости концентраций нитритов на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский, как правило, превышают 100 % (табл. 4.41).

Таблица 4.41

Изменение содержания нитритов (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	1,8	1,3	—0,5	1,4	0,1	0,3	1,3	1,0	1,8	0,5
10	1,1	0,6	—0,5	2,3	1,7	0,1	0,8	0,7	1,6	0,8
20	0,3	0,8	0,5	2,1	1,3	0,0	1,1	1,1	1,7	0,6
30	0,5	0,9	0,4	2,0	1,1	0,1	0,9	0,8	1,9	1,0
50	0,3	1,6	1,3	2,5	0,9	0,8	0,9	0,1	1,9	1,0
75	0,3	1,1	0,8	2,5	1,4	0,6	0,8	0,2	1,8	1,0
100	0,1	0,8	0,7	2,6	1,8	0,3	1,2	0,9	1,7	0,5
150	0,1	0,9	0,8	2,2	1,3	0,3	1,0	0,7	2,1	1,1
200	0,0	0,9	0,9	2,9	2,0	0,2	1,1	0,9	1,9	0,8
250	—	1,2	—	2,8	1,6	0,4	0,9	0,5	2,0	1,1
300	—	1,6	—	2,8	1,2	0,5	0,8	0,3	2,4	1,6
400	—	0,8	—	2,7	1,9	0,7	0,8	0,1	2,5	1,7
500	—	1,3	—	2,5	1,2	—	1,6	—	2,1	0,5
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	1,8	1,3	—0,5	2,0	0,7	0,3	1,3	1,0	1,4	0,1
10	1,1	0,6	—0,5	1,7	1,1	0,1	0,8	0,7	1,5	0,7
20	0,3	0,8	0,5	1,5	0,7	0,0	1,1	1,1	1,2	0,1
30	0,5	0,9	0,4	1,2	0,3	0,1	0,9	0,8	1,0	0,1
50	0,3	1,6	1,3	1,2	—0,4	0,8	0,9	0,1	1,2	0,3
75	0,3	1,1	0,8	1,1	0,0	0,6	0,8	0,2	1,4	0,6
100	0,1	0,5	0,4	1,1	0,6	0,3	1,2	0,9	1,6	0,4
150	0,0	0,9	0,9	1,9	1,0	0,3	1,0	0,7	1,2	0,2
200	0,0	0,9	0,9	0,9	0,0	0,2	1,1	0,9	0,9	—0,2
250	—	1,2	—	0,6	—0,6	0,4	0,9	0,5	0,7	—0,2
300	—	2,1	—	0,7	—1,4	0,5	0,8	0,3	1,1	0,3
400	—	0,8	—	0,8	—0,0	0,7	0,8	0,1	1,1	0,3
500	—	1,3	—	0,8	—0,5	—	1,6	—	0,8	—0,8
600	—	—	—	0,8	—	1,7	1,6	—	0,8	—0,8

4.3.5. Сезонные и многолетние изменения содержания кремния и его распределение

Кремний в морской воде находится преимущественно в растворенном состоянии в виде метакремневой кислоты. Кроме того, он присутствует в коллоидных растворах в виде сложных частиц поликремневых кислот (аналитически в морской воде определяют метакремневую кислоту).

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 до аналитического нуля, с кремнием, как правило, это не происходит. В связи с тем что содержание кремнекислоты в водах Каспийского моря достаточно велико, процесс продуцирования органического вещества фитопланктоном здесь не лимитируется содержанием кремния.

Нередко распределение кремнекислоты служит хорошим показателем распространения речных вод в море и может быть использовано для характеристики водных масс. Речные воды характеризуются повышенным содержанием кремния, в то время как воды, поступающие из Среднего Каспия, содержат значительно меньшее количество кремния [100]. Так, в приглубом районе западной части акватории увеличение стока волжских вод во время половодья способствует постепенному возрастанию концентраций кремнекислоты вплоть до лета. Когда влияние волжского стока ослабевает, усиливается воздействие вод из Среднего Каспия, которые к осени заполняют всю приглубую часть Северного Каспия [68].

Некоторые предшествующие исследования обнаруживали существование значимой корреляции между соленостью и содержанием кремнекислоты в Северном Каспии с учетом потребления кремния фитопланктоном [65, 100].

До зарегулирования стока Волги сезонные изменения концентрации кремния в Северном Каспии были выражены более резко, чем в период после зарегулирования. Значительное увеличение концентраций кремния в море происходило намного позже половодья [35].

По данным работ [81, 104], а также наблюдений Астраханской ЗГМО, западная часть Северного Каспия наиболее богата диатомовыми водорослями, что и способствует накапливанию кремния в восточной части Северного Каспия. Такое распределение кремния стало особенно заметным, когда в результате зарегулирования стока Волги его поступление с речными водами на акваторию Северного Каспия значительно уменьшилось (с 1959 г. примерно в 2 раза).

Тренд многолетней изменчивости средних взвешенных концентраций кремнекислоты, рассчитанных для водной толщи Северного Каспия, показал, что с 1961 по 1983 г. содержание кремнекислоты в этой части Каспийского моря снизилось на 88 мкг/л.

В Северном Каспии содержание кремния с глубиной несколько возрастает, что, возможно, объясняется переходом кремния в растворенное состояние из кремниевых скелетов отмирающего диатомового планктона и из донных отложений. После зарегулирования стока Волги количество поступающего ежегодно с речным стоком кремния уменьшилось, баланс растворенного кремния нарушился. Эти факторы способствовали активизации процессов обмена кремнием между придонными слоями воды и донными отложениями.

Для вертикального распределения кремния в глубоководных районах Каспийского моря характерно возрастание его содержания с глубиной; содержание кремнекислоты здесь также не лимитирует процесс продуктивности фитопланктона.

По данным предшествующих исследований, в многолетнем распределении кремния в эвфотическом слое Каспийского моря наблюдалось снижение его количества в 1958—1962 гг. [100] по сравнению с данными С. В. Бруевича [22], полученными в 30-е годы. Значительное понижение запаса кремнекислоты в 1958—1962 гг. авторы объясняют массовой вспышкой развития диатомовых водорослей, которые в этот период составляли 99 % всего фитопланктона [82]. В дальнейшем исследователи в 1979—1981 гг. [65] отмечали увеличение содержания кремния в деятельном слое моря. Однако к этому выводу следует относиться с определенной осторожностью, так как с середины 60-х годов и до настоящего времени стали использовать аналитический метод определения кремния, который весьма существенно отличается от предыдущего метода (см. гл. 1). К сожалению, достаточно надежных коэффициентов для пересчета данных многолетнего ряда наблюдений по кремнию с целью получения сопоставимых результатов обнаружить не удалось.

Распределение кремния в зимний период

Динамика содержания кремнекислоты во льдах Северного Каспия была рассмотрена в п. 4.2. По средним многолетним данным за 1969—1985 гг. во всей водной толще в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием в холодное время года содержание кремния колебалось в диапазоне 200—600 мкг/л. На периферийных станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак, как правило, отмечался максимум содержания кремния по сравнению с другими станциями. В большинстве случаев содержание кремния с глубиной увеличивалось. В то же время в районе центральной станции разреза нередко наблюдалось обратное распределение кремния по вертикали (табл. 4.42).

Таблица 4.42

Основные статистические характеристики концентраций кремния (мкг/л) на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак

Номер станции разреза	Поверхность				Горизонт 10 м				Дно			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
						Зима						
1	8	430	360	82	—	—	—	—	6	360	220	60
2	8	300	280	93	6	410	350	87	6	400	370	92
3	8	270	320	116	6	240	158	65	6	280	210	74
4	8	450	470	103	6	370	390	104	6	210	103	50
5	8	220	120	55	5	290	110	39	6	370	87	23
6	8	280	138	49	5	280	161	43	6	410	300	74
7	8	490	340	69	—	—	—	—	6	600	430	71
						Весна						
1	12	420	350	82	—	—	—	—	11	430	350	83
2	10	330	320	98	7	490	380	77	9	380	450	118
3	11	340	290	86	10	340	240	70	10	420	280	67
4	11	460	470	101	8	330	300	91	10	430	450	105
5	11	560	680	123	11	320	290	89	11	340	320	94
6	11	340	330	95	9	360	330	91	10	390	320	94
7	11	270	250	91	—	—	—	—	11	400	350	89
						Лето						
1	12	660	520	78	—	—	—	—	15	940	970	103
2	15	680	650	96	12	710	620	87	14	670	670	100
3	15	550	370	68	14	550	410	75	14	660	500	77
4	16	490	470	95	13	460	380	83	13	760	600	79
5	17	530	450	86	12	790	600	76	14	700	570	82
6	17	580	590	102	12	890	980	110	15	860	880	103
7	16	1120	800	72	—	—	—	—	14	840	680	81
						Осень						
1	15	820	510	63	—	—	—	—	14	870	580	67
2	14	540	330	62	10	670	370	56	13	630	380	60
3	14	460	220	48	13	510	340	67	13	500	320	64
4	14	570	320	56	13	510	350	70	13	500	380	75
5	15	450	280	61	13	460	350	77	14	470	350	73
6	14	560	260	47	11	410	290	72	13	510	300	60
7	15	630	460	72	—	—	—	—	14	580	340	59

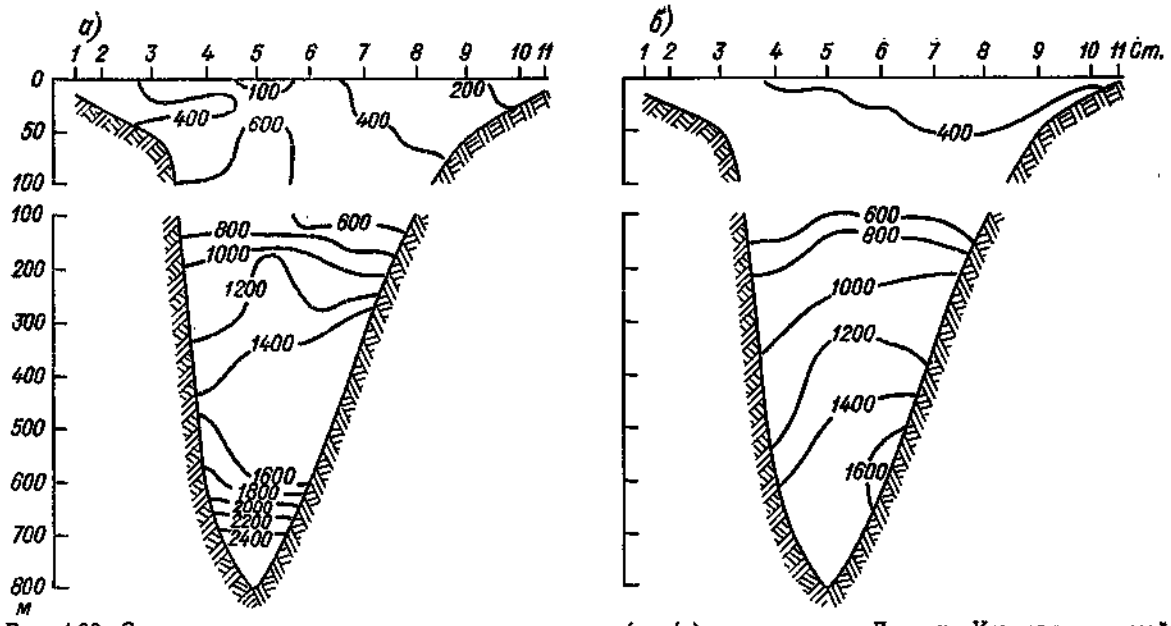


Рис. 4.38. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) на разрезе Дивичи—Кендерли зимой в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Таблица 4.43

Средние многолетние сезонные концентрации кремния на взморьях рек Терека и Самура за 1974—1984 гг.

Район	Зима		Весна		Лето		Осень	
	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Взморье р. Терека	950	890	747	784	686	657	696	680
Взморье р. Самура	740	800	700	680	580	540	610	600

Концентрации кремнекислоты в зимнее время в устьевых районах Терека и Самура были достаточно высокими, средние значения достигали соответственно 900 и 800 мкг/л, в то время как в районе восточного мелководья (Форт-Шевченко) содержание кремнекислоты не превышало 400 мкг/л. При этом отмечалось однородное распределение кремния по вертикали в районах западных и восточных мелководий (табл. 4.43, 4.44).

В Среднем Каспии на разрезе Дивичи — Кендерли, по данным за 1961—1980 гг., содержание кремнекислоты в слое фотосинтеза 0—50 м не превышало 400 мкг/л, его минимум (200 мкг/л) обнаруживался на мелководных станциях в районе восточного побережья. С глубиной значения равномерно повышались; максимум содержания кремния у дна составил 2400 мкг/л (рис. 4.38 *а*).

Основные закономерности в распределении кремнекислоты в этом районе сохраняются и в течение зимнего периода 1981—1985 гг. В то же время по сравнению с предшествующим периодом отмечается резкое падение концентраций кремнекислоты на придонных горизонтах (рис. 4.38 *б*).

По сравнению с данными зимних наблюдений за 1958—1962 гг. содержание кремнекислоты в течение 1962—1985 гг. менялось неодинаково в различных слоях Среднего Каспия: в слое 0—25 м оно возрастало и максимум ΔSi достигал 110 мкг/л; в слое 50—300 м происходило довольно существенное его уменьшение и ΔSi на горизонте 200 м составило 360 мкг/л. На придонных горизонтах

Таблица 4.44

Средние многолетние сезонные концентрации кремния (мкг/л) в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия

Район	Период наблюдений, годы	Зима		Весна		Лето		Осень	
		Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно	Поверхность	Дно
Средний Каспий									
Район Махачкалы	1974—1984	890	860	660	700	630	620	700	730
Район Форт-Шевченко	1967—1983	425	425	259	310	404	529	406	350
Район м. Бекдаш	1967—1985	465	615	478	566	306	450	366	427
Южный Каспий									
Бакинская бухта	1967—1985	702	631	652	646	490	464	491	473
Сумгаит		524	518	336	350	332	334	322	321
Туркменский залив		322	379	333	378	315	311	290	301
Челекен		311	293	259	268	536	600	176	194
Красноводский залив		672	—	—	—	733	608	302	293
Ленкорань		734	689	646	608	701	679	417	450
Взморье р. Куры		671	600	759	504	653	549	325	292

Таблица 4.45

Изменение средних многолетних концентраций кремния (мкг/л) в воде Среднего и Южного Каспия за отдельные периоды исследования

Горизонт, м	Зима			Весна			Лето			Осень		
	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ	1958—1962 гг.	1962—1985 гг.	Δ
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	291	399	108	147	260	113	109	287	178	—	267	—
10	299	357	58	147	239	92	180	255	75	—	275	—
25	287	400	113	186	290	104	227	339	112	—	288	—
50	523	452	—71	242	370	128	191	465	274	—	468	—
75	611	516	—95	—	399	—	203	669	466	—	530	—
100	743	583	—160	402	466	64	370	843	473	—	661	—
150	1025	810	—215	1720	613	—1007	448	955	507	—	673	—
200	1350	988	—362	1000	735	—265	734	1350	616	—	974	—
300	1280	1254	—26	1440	993	—447	642	1492	850	—	964	—
400	1350	1399	46	—	1186	—	700	1804	104	—	1220	—
500	1405	1456	51	—	1398	—	1365	2016	651	—	1339	—
600	—	1391	34	—	1376	—	—	2187	—	—	1461	—
750	—	—	—	—	—	—	1900	—	—	—	—	—
800	—	2310	—	—	1646	—	—	—	—	—	1704	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	257	284	27	115	232	117	179	269	90	216	187	—29
10	284	267	—17	123	221	97	166	261	95	224	167	—57
25	317	(306)	—11	120	—	—	240	(306)	(66)	241	(155)	—86
50	351	290	—61	196	405	209	484	432	—52	394	298	—96
75	246	362	116	277	403	126	577	661	84	—	441	—
100	658	448	—210	573	469	—104	912	860	—52	935	560	—375
150	1385	499	—886	875	716	—159	996	1044	48	1095	946	—249
200	1550	452	—1098	1406	871	—535	2247	1544	—703	1185	1197	12
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	211	280	69	172	335	163	179	256	77	226	144	—82
10	236	225	—11	168	227	59	103	235	132	229	130	—99
25	254	248	—6	158	257	99	250	221	—29	241	150	—91
50	254	301	47	141	359	218	176	268	92	299	184	—115
75	—	336	—	234	406	172	337	366	29	—	262	—
100	463	373	—90	359	484	125	481	451	—30	555	443	—112
150	1097	601	—496	590	655	65	544	704	160	—	654	—
200	—	764	—	1046	794	—252	910	908	—2	668	805	137
300	1196	1110	—86	1350	1190	—160	1390	1217	—173	1074	1037	—37
400	1302	1245	—57	1730	1346	—384	1501	1425	—76	1326	1202	—124
500	1364	1415	51	1510	1403	—107	1643	1487	—156	1703	1244	—459
600	—	1371	—	1615	1516	—99	1854	1672	—182	2222	1260	—962
700	—	—	—	—	(1744)	—	1640	—	—	2340	—	—
750	1400	—	—	—	—	—	—	—	—	2715	—	—
800	—	1538	—	—	(1170)	—	2000	1569	—431	—	1546	—

Примечание. Δ — разность между значениями в 1962—1985 и 1958—1962 гг.; в скобках указаны данные, вызывающие сомнения.

отмечался лишь незначительный рост содержания кремнекислоты (табл. 4.45).

Удалось выявить некоторые закономерности в динамике содержания кремнекислоты на разрезе Дивичи — Кендерли в зависимости от положения уровня моря. Так, на ст. 6, начиная с горизонта 30 м и до дна, содержание кремнекислоты при понижении уровня моря увеличивалось (у дна различия достигали 200—400 мкг/л). На этой же станции при повышении уровня ее содержание уменьшалось во всей водной толще на 300—700 мкг/л и особенно значительные изменения имели место ниже горизонта 200 м (табл. 4.46).

Статистический анализ данных зимних наблюдений свидетельствует о том, что наибольшей изменчивостью характеризуются концентрации кремния на мелководных станциях в восточной части разреза Дивичи — Кендерли. Здесь коэффициенты вариации достигают 150—200 %, в то время как в центральной глубоководной и западной частях разреза коэффициент вариации в среднем составляет около 60 % (табл. 4.47).

Зимой в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием горизонтальное и вертикальное распределение кремнекислоты в различные периоды исследования было довольно однородным. Различия в содержании кремния между поверхностным и придонным горизонтами в наиболее глубокой части разреза о. Жилой — м. Куули не превышали 400—600 мкг/л (рис. 4.39).

Благодаря существенной динамичности вод этого района изменчивость содержания кремнекислоты, особенно на мелководных станциях разреза о. Жилой — м. Куули, значительно возрастает по сравнению с его изменчивостью в Среднем и Южном Каспии (см. табл. 4.47). Западные мелко-

Таблица 4.46

Изменение содержания кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
				Разрез Дивичн—Кендерли						
0	485	737	252	372	—365	493	620	127	750	130
10	369	264	—108	387	126	524	445	—79	398	—47
20	399	399	0	472	73	454	406	—48	386	—20
30	392	411	19	488	77	425	688	263	461	—227
50	390	557	167	466	—91	438	421	—17	461	40
75	467	708	241	475	—233	450	544	94	475	—69
100	546	860	314	514	—346	618	669	51	498	—171
150	890	972	82	586	—386	830	898	68	758	—140
200	1445	1083	—362	692	—391	1091	1129	38	810	—319
250	1369	911	—458	745	—166	1220	1313	93	909	—404
300	1435	953	—482	864	—89	1349	1574	225	1039	—535
400	1886	995	—891	1022	27	1432	1835	403	1162	—673
500	2317	—	—	948	—	1688	1752	64	1364	—388
				Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский						
0	189	449	260	194	—255	237	76	—161	232	156
10	147	201	54	278	77	99	90	—9	235	145
20	127	216	89	234	18	50	110	60	277	167
30	137	216	79	256	40	77	128	51	294	166
50	156	222	66	294	72	33	189	156	338	149
75	153	299	146	360	61	240	202	—38	379	177
100	147	360	213	419	59	380	363	—17	446	83
150	243	494	251	416	—78	503	925	—422	480	—445
200	329	902	573	436	—466	1023	960	—63	656	—304
250	500	1142	642	646	—496	1133	1104	—29	769	—335
300	673	1150	477	740	—410	1230	1708	478	831	—877
400	865	1504	639	826	—678	1369	2260	891	862	—1398
500	933	1622	689	930	—692	1936	2180	244	912	—1268
600	986	1697	711	930	—767	1861	2820	959	981	—1839
800	—	2500	—	1129	—1371	—	2980	—	1287	—1693

Примечание. Здесь и в табл. 4.50, 4.52, 4.54 Δ — разность между значениями в 1970—1977 и 1962—1969 гг.; Δ_1 — разность между значениями в 1978—1985 и 1970—1977 гг.

водные районы, примыкающие к Апшеронскому порогу, характеризуются повышенным содержанием кремнекислоты, районы восточного мелководья — пониженным ее содержанием по отношению к открытой части моря (см. табл. 4.44).

В течение 1962—1985 гг. произошло уменьшение содержания кремнекислоты почти во всей водной толще разреза о. Жилой — м. Куули по сравнению с предшествующим периодом, в придонных слоях ΔSi превысило 1000 мкг/л (см. табл. 4.45).

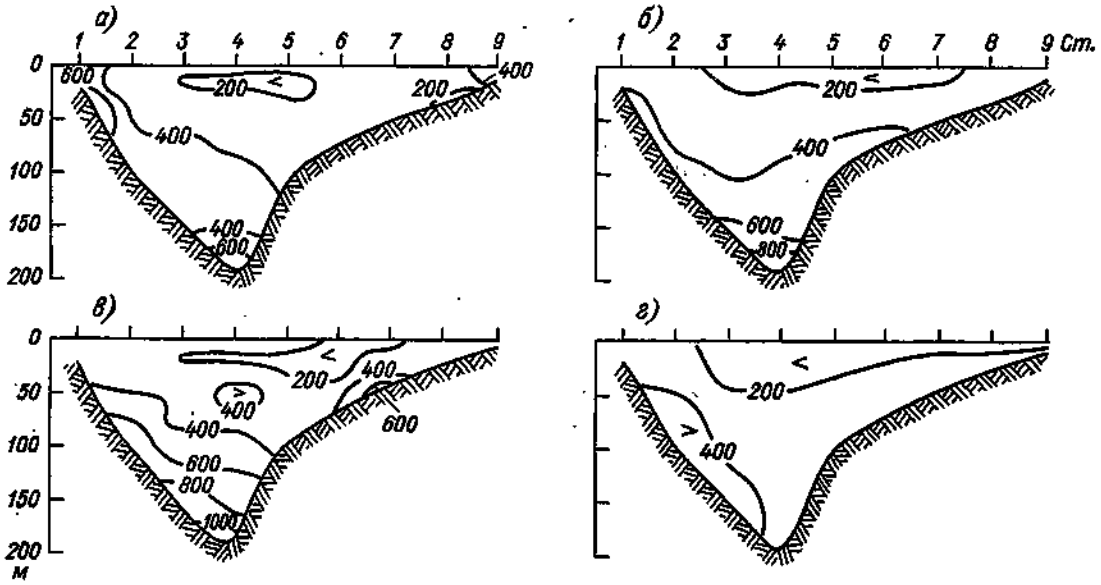


Рис. 4.39. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) на разрезе о. Жилой — м. Куули зимой (*а*, *б*) и весной (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

Таблица 4.47

Основные статистические характеристики концентраций кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	12	422	230	55	12	520	285	55	14	318	615	193
10	12	455	345	76	12	482	281	58	13	312	513	165
20	12	385	270	70	12	424	245	58	13	297	551	185
30	12	473	303	64	12	539	319	59	11	141	195	139
50	11	448	176	39	12	443	266	60	—	—	—	—
75	—	—	—	—	12	477	218	46	—	—	—	—
100	—	—	—	—	12	587	332	56	—	—	—	—
150	—	—	—	—	12	821	396	48	—	—	—	—
200	—	—	—	—	12	1013	525	52	—	—	—	—
300	—	—	—	—	11	—	886	68	—	—	—	—
400	—	—	—	—	11	1429	1048	73	—	—	—	—
500	—	—	—	—	8	1454	1204	83	—	—	—	—
600	—	—	—	—	5	1362	1348	99	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	16	247	218	88	17	241	243	101	17	432	1009	234
10	16	198	177	89	17	215	199	92	16	527	1178	221
20	16	223	162	73	17	276	303	110	—	—	—	—
30	16	416	346	83	17	258	246	95	—	—	—	—
50	15	385	273	71	17	221	256	117	—	—	—	—
75	15	417	335	80	13	273	279	102	—	—	—	—
100	15	584	537	92	—	—	—	—	—	—	—	—
150	10	438	461	105	—	—	—	—	—	—	—	—
200	4	324	214	66	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	13	320	283	88	11	205	213	104	12	320	282	88
10	13	235	216	92	11	166	166	100	12	133	163	123
20	13	249	217	87	11	179	178	99	12	263	317	120
30	13	261	241	92	11	193	178	92	10	185	171	93
50	12	269	247	92	11	230	192	83	—	—	—	—
75	12	280	203	73	11	287	198	69	—	—	—	—
100	12	352	298	85	11	421	247	59	—	—	—	—
150	11	551	307	56	11	770	317	41	—	—	—	—
200	11	714	435	61	11	852	472	55	—	—	—	—
250	10	818	555	68	11	1001	531	53	—	—	—	—
300	6	1053	609	58	11	1267	639	50	—	—	—	—
400	—	—	—	—	10	1486	891	60	—	—	—	—
500	—	—	—	—	10	1613	972	60	—	—	—	—
600	—	—	—	—	8	1729	1082	63	—	—	—	—
800	—	—	—	—	5	1552	1322	85	—	—	—	—

В прибрежных районах Южного Каспия (предустьевое взморье р. Куры, Ленкорань, Красноводский залив) содержание кремния довольно высокое не только в холодное время года, но и в другие сезоны, за исключением осени. Средние многолетние зимние концентрации кремния в этих районах колеблются от 600 до 730 мкг/л (см. табл. 4.44).

В открытой части Южного Каспия зимой содержание кремнекислоты в деятельном слое моря уменьшается с запада на восток. С глубиной наблюдается равномерное его увеличение от поверхности до дна. Различия в содержании кремнекислоты между поверхностным и придонным слоями составляют 1200—1400 мкг/л. Наиболее интенсивные изменения в содержании кремнекислоты происходят в слое 150—300 м (рис. 4.40).

Распределение кремнекислоты в зимний период 1981—1985 гг. на различных горизонтах деятельного слоя Каспийского моря показывает последовательное снижение ее содержания на горизонтах 0, 50 и 100 м с севера на юг. Максимальные различия в концентрациях кремния в поверхностном горизонте Среднего и Южного Каспия не превышают 200 мкг/л (рис. 4.41 *а*); на горизонте 100 м они увеличиваются уже до 600 мкг/л (рис. 4.41 *б*).

По сравнению с зимними данными, полученными в 1958—1962 гг., содержание кремния в 1962—1985 гг. в Южном Каспии лишь незначительно уменьшалось во всей водной толще, за исключением горизонта 150 м, где ΔSi составило почти 500 мкг/л (см. табл. 4.45).

Четкой картины направленности изменений в распределении кремния в зимний период на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский в различные периоды состояния уровня моря получить не удалось. Так, в период понижения уровня моря на ст. 4 содержание кремнекислоты увеличилось во всей водной толще, на ст. 6 это наблюдалось лишь в слое 300—600 м. В период повышения уровня содержание кремнекислоты снижалось на обеих станциях, начиная с горизонта 150 м. Особенно интенсивно это происходит в придонном слое, где его значение достигало 1400—1700 мкг/л (см. табл. 4.46).

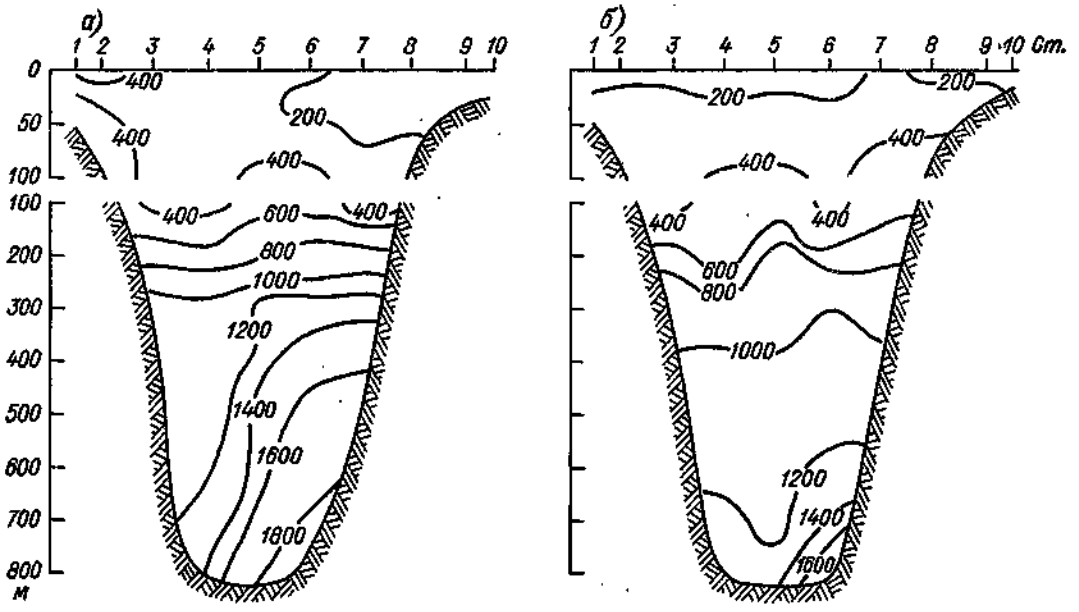


Рис. 4.40. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский зимой в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Распределение кремния в весенний период

Годовой ход соединений кремния в водах Северного Каспия в целом аналогичен ходу нитритов. В апреле — мае средняя концентрация кремния здесь составляет около 500 мкг/л.

Известно, что западная часть Северного Каспия значительно богаче диатомовыми водорослями, чем восточная [81, 104]. Поэтому, как и следовало ожидать, по данным средних многолетних наблюдений за 1961—1983 гг., в апреле — мае наиболее высокие концентрации кремния имели место в восточной части Северного Каспия (разрез I). При этом максимальные значения были отмечены в районе Уральской бороздины, где они достигали 950 мкг/л.

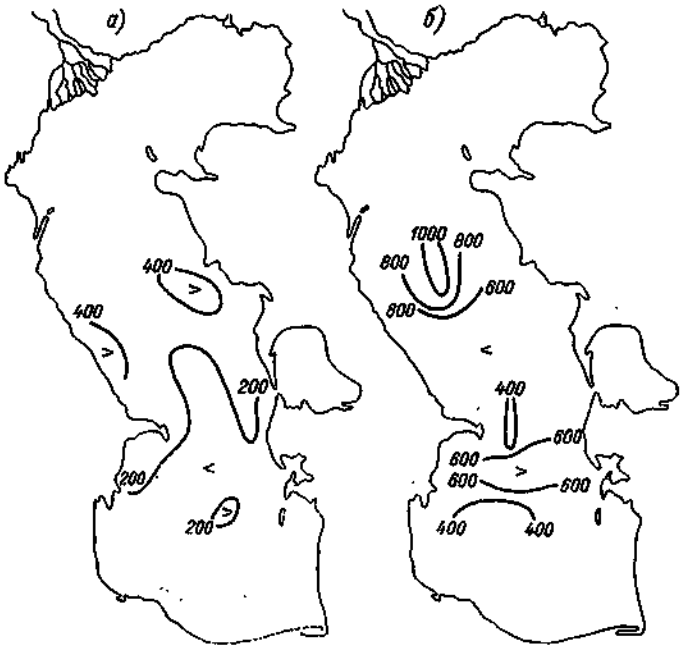


Рис. 4.41. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии зимой на поверхности (*а*) и на горизонте 100 м (*б*).

В других районах Северного Каспия содержание кремнекислоты было значительно ниже и на всех разрезах прослеживалось последовательное его снижение с севера на юг более чем в 2 раза (рис. 4.42).

В целом содержание кремния весной в водах Северного Каспия оказывается наименьшим по сравнению с остальными сезонами года. Наименьшая концентрация кремнекислоты по всей акватории Северного Каспия в апреле отмечалась и другими исследователями, и объясняли они это весенней вспышкой развития диатомовых водорослей — активных потребителей кремния [35, 65].

Расчет тренда по 23-летнему ряду наблюдений (1961—1983 гг.) выявил тенденцию к понижению содержания кремнекислоты в водах Северного Каспия в весенний период на 216 мкг/л.

В зоне водообмена, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, весеннее распределение кремнекислоты мало чем отличалось от зимнего. В поверхностном горизонте в районе восточных мелководных станций содержание кремния было значительно ниже, чем на других станциях. Начиная с горизонта 10 м и до дна оно по всему разрезу оставалось довольно однородным (см. табл. 4.42).

В мелководных западных районах, примыкающих к зоне водообмена, содержание кремнекислоты было довольно высоким, но по сравнению с зимой оно несколько уменьшилось в районе Махачкалы и устьевых взморий Терека и Самура. Однако более значительное снижение концентраций кремнекислоты происходило в районе восточного мелководья (Форт-Шевченко). Следует отметить, что в районе восточных мелководий содержание кремнекислоты, как правило, оказывается намного ниже по сравнению с районами западного побережья (см. табл. 4.44).

По осредненным данным наблюдений за весенний сезон в течение 1961—1980 гг. и 1981—1985 гг. минимум содержания кремнекислоты на разрезе

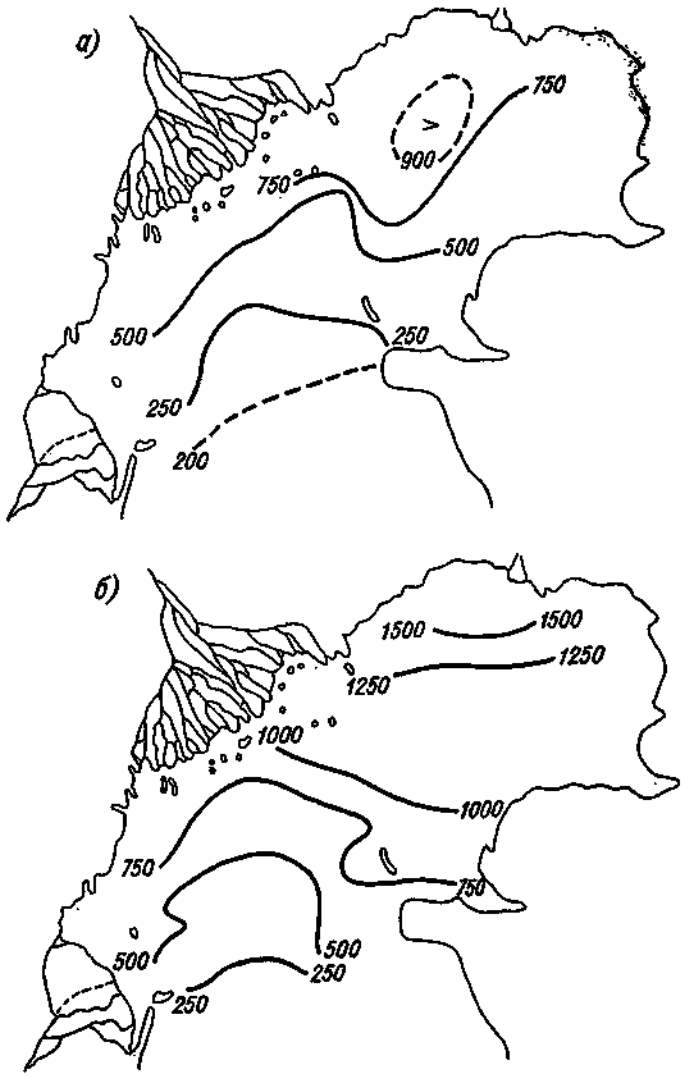


Рис. 4.42. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение кремния (мкг/л) в Северном Каспии весной (*а*) и осенью (*б*).

Дивичи — Кендерли был отмечен в поверхностном слое моря и составил около 200 мкг/л.* С глубиной ее содержание последовательно увеличивалось и между поверхностным и придонным горизонтами различалось в 6—8 раз (наибольшие градиенты в значениях наблюдались в слое 200—500 м, что обусловливается, очевидно, глубиной распространения вертикальной циркуляции вод) (рис. 4.43 *а*, *б*).

Весной в Среднем Каспии кремний интенсивно потребляется фитопланктоном в процессе фотосинтеза, в связи с чем его количество резко падает по сравнению с зимой.

Данные весенних наблюдений в течение 1962—1985 гг. позволяют с определенной осторожностью утверждать о некотором увеличении содержания кремнекислоты в деятельном слое моря по сравнению с аналогичными данными предшествующего периода исследований (максимум такого различия на горизонте 50 м составил около 130 мкг/л). В то же время довольно резкое снижение содержания кремнекислоты было отмечено в нижележащих слоях Среднего Каспия. Так, на горизонте около 150 м ΔSi превысило 1000 мкг/л (см. табл. 4.45).

Во время понижения уровня моря на разрезе Дивичи — Кендерли (станции 4 и 6) в слое 0—250 м динамика кремния характеризуется ростом его концентраций по сравнению с периодом квазистационарного состояния уровня. В то же время было отмечено и некоторое снижение содержания кремния с глубиной, которое наиболее значительно проявилось на горизонте 500 м (ст. 6). В период повышения уровня моря направленность в изменении распределения кремнекислоты была обратной (табл. 4.48).

В зоне водообмена между Средним и Южным Каспием весной концентрации кремнекислоты в поверхностном слое аналогичны тем, которые наблюдались и в Среднем Каспии: средняя взвешенная концентрация здесь также составила 200 мкг/л. Содержание кремнекислоты увеличивается с глубиной. Так, по данным наблюдений за 1961—1980 гг., у дна на разрезе о. Жилой — м. Куули оно превышало 1000 мкг/л. Однако в последующее пятилетие содержание кремнекислоты здесь резко снизилось (до 400 мкг/л) (рис. 4.39 *в*, *г*), что довольно трудно поддается объяснению, так как источником кремния в этом динамичном районе моря, как правило, служат донные отложения. По данным исследователей, на Апшеронском пороге существует «отрицательная седиментация», т. е. размыв поверхностных грунтов [70]. Этот процесс особенно интенсивен в центральной части (глубокий желоб) и на восточной стороне порога. Размыв дна обусловлен большими скоростями компенсационных течений. Отложения в центральной части Апшеронского порога представлены песком и илистым песком. Тонкая придонная муть, растворяясь в воде, обогащает ее кремнекислотой. Вполне возможно, что повышение уровня моря в течение 1981—1985 гг. способствовало интенсивному развитию в этом динамичном районе диатомового фитопланктона, который в процессе фотосинтеза активно использовал кремний во всей водной толще.

В мелководных районах, примыкающих к зоне водообмена между Средним и Южным Каспием, весной содержание кремнекислоты остается на уровне зимних значений, практически не изменяясь ни у западного, ни у восточного побережья. Как и в зимнее время, весной наибольшие концентрации кремнекислоты были обнаружены в Бакинской бухте (см. табл. 4.44).

По сравнению с данными, полученными за весенние месяцы 1958—1962 гг., содержание кремнекислоты в те же месяцы 1962—1985 гг. в деятельном слое моря в районе Апшеронского порога повысилось, и на некоторых горизонтах — более чем в 2 раза. Однако одновременно в слое 100—200 м произошло значительное уменьшение концентрации кремния. Например, в придонном слое ΔSi составило более 500 мкг/л (см. табл. 4.45).

Весной в этом же районе моря прослеживалась четкая зависимость динамики кремния от положения уровня моря: в период понижения уровня содержание кремния возрастало во всей водной толще, во время его повышения отмечалось интенсивное падение концентраций по вертикали.

В районе взморья р. Куры и у Ленкорани обнаружен максимум содержания кремнекислоты по отношению к другим прибрежным районам Южно-

* В течение 1961—1985 гг. результаты по содержанию кремния были получены одним и тем же методом. Поэтому представилась возможность провести более корректное сравнение данных за 23-летний период наблюдений.

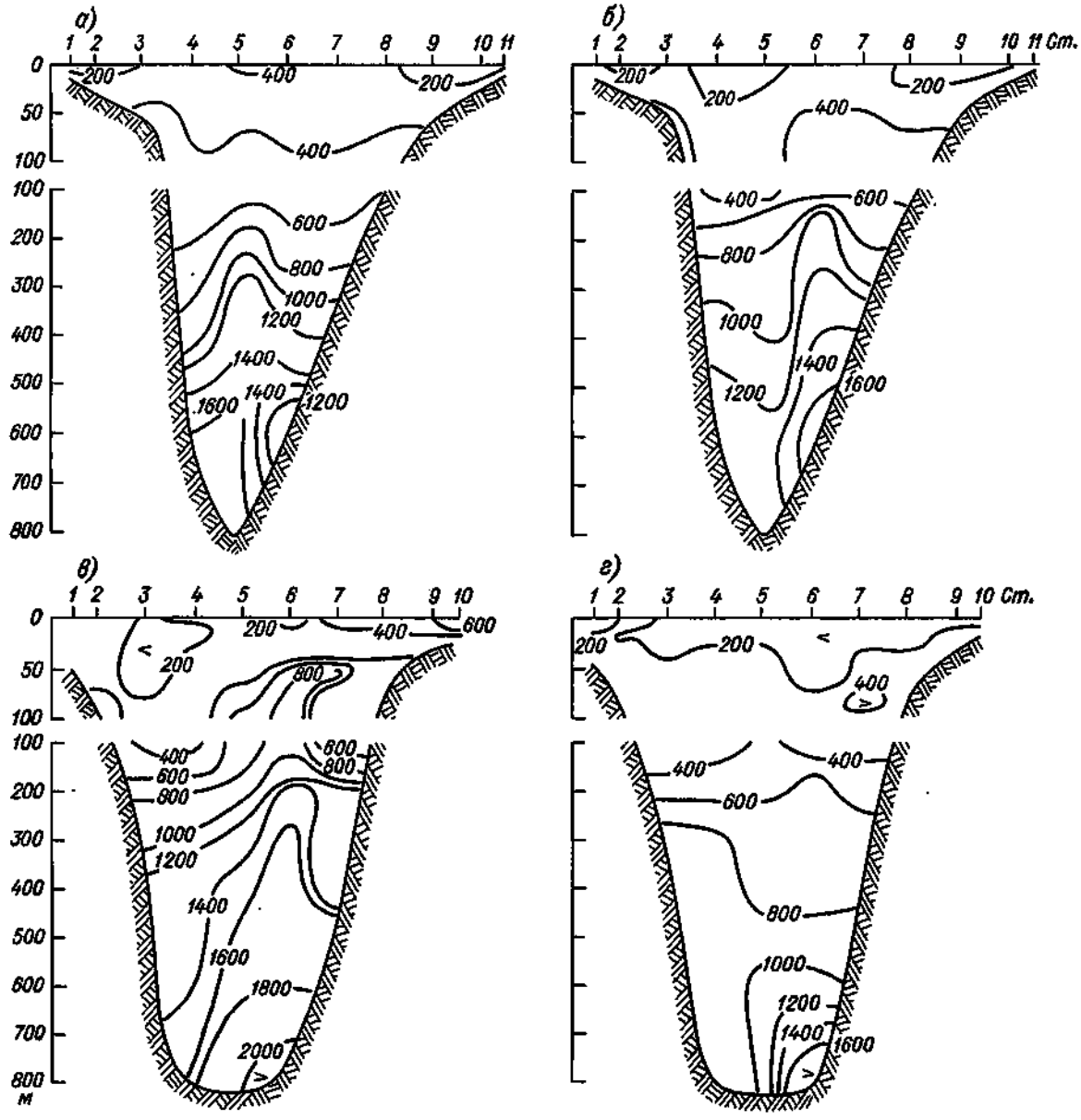


Рис. 4.43. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) весной на разрезах Дивичи—Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

го Каспия: здесь средняя ее концентрация на поверхности составила более 750 мкг/л, у дна — около 600 мкг/л (см. табл. 4.44).

На разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский по сравнению с зимним сезоном весной содержание кремния несколько увеличивается во всей водной толще. В то же время в разные периоды исследования распределение кремния в Южном Каспии весьма существенно отличается (рис. 4.43 *в*, *г*). Так, по данным наблюдений за 1961—1980 гг., содержание кремнекислоты в этом районе более высокое во всей водной толще по сравнению с последующим пятилетием. При этом наиболее резкие изменения в содержании кремния обнаруживались в слое 50—400 м. Кроме того, отмечалось весьма существенное его повышение — до 600—800 мкг/л в деятельном слое в восточной части разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский.

В открытой части Южного Каспия весной распределение кремния в пространстве во многом аналогично его распределению в открытой части Среднего Каспия. Лишь в придонных слоях Южного Каспия содержание кремния было выше и достигало 1800—2000 мкг/л.

Распределение кремнекислоты в Среднем и Южном Каспии весной на горизонтах 50 и 100 м, по данным наблюдений за 1981—1985 гг., показало, что деятельный слой Южного Каспия менее обогащен кремнием по сравнению с водами Среднего Каспия (рис. 4.44). Сравненне данных по содержанию кремния на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский за 1958—1962 гг. с данными, полученными в последующие годы (1962—1985), показало, что в слое 0—150 м оно возросло (максимальные значения ΔSi были обнаружены в слое 50—75 м — от 170 до 220 мкг/л), а на нижележащих горизонтах — снизилось (максимальное значение ΔSi на горизонте 400 м составило 380 мкг/л) (см. табл. 4.45).

Таблица 4.48

Изменение содержания кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
				Разрез Дивичи—Кендерли						
0	370	218	—152	139	—79	90	472	382	214	—258
10	193	278	85	176	—102	62	310	248	257	—53
20	142	264	122	195	—69	50	332	282	261	—71
30	119	430	311	255	—175	56	424	368	307	—117
50	143	351	208	284	—67	102	288	186	402	114
75	186	600	414	299	—301	136	423	287	455	32
100	220	682	462	359	—323	171	548	377	518	—30
150	282	789	507	438	—351	339	565	226	840	275
200	453	718	265	692	—26	506	792	286	866	74
250	688	678	—10	820	142	749	824	75	956	132
300	771	640	—131	939	299	922	923	—69	1012	89
400	1028	797	—231	1052	255	1235	1392	157	1227	—165
500	—	1125	—	1155	30	2520	1216	—1304	1294	78
600	—	—	—	—	—	—	1293	—	1428	135
				Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский						
0	139	271	132	174	—97	104	213	109	140	—73
10	123	173	20	172	—1	148	236	88	124	—112
20	165	196	31	167	—29	128	896	168	126	—170
30	196	299	103	266	—33	101	223	122	132	—91
50	181	266	85	234	—32	98	1366	1268	178	—1188
75	187	380	193	220	—160	242	1503	1261	235	—1268
100	212	466	254	365	—101	393	1446	1053	370	—1076
150	414	701	287	430	—271	719	1583	864	620	—963
200	744	907	163	668	—239	1128	1493	365	726	—767
250	945	1304	359	731	—573	1405	1967	562	849	—1118
300	1105	1660	555	936	—724	1516	2421	905	968	—1453
400	1422	1599	177	975	—624	1686	2092	406	918	—1174
500	1464	1540	76	1026	—514	1818	1209	—609	1189	—20
600	1518	1507	—11	1084	—423	1887	1873	—14	1269	—614
800	2262	1757	—505	610	—1147	2083	2417	336	1568	—849

В период понижения уровня моря на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский содержание кремнекислоты увеличивалось в слое 0—500 м, в период повышения уровня оно снижалось во всей водной толще (см. табл. 4.48).

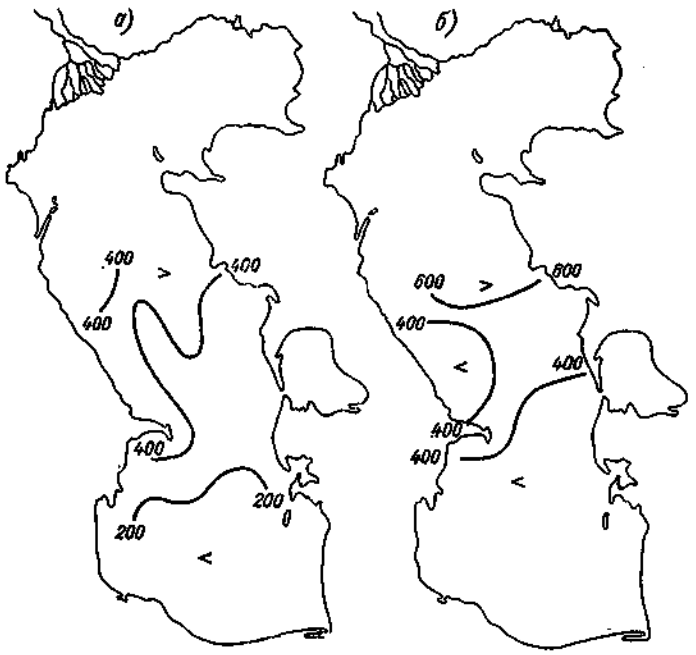


Рис. 4.44. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной на горизонте 50 м (*а*) и 100 м (*б*).

Наиболее высокой изменчивостью отличаются концентрации кремния в Южном Каспии, где весной коэффициенты вариации на отдельных горизонтах в центральной и восточной частях разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский достигают 300 % (табл. 4.49).

Распределение кремния в летний период

По данным средних многолетних наблюдений за 1961—1983 гг., в Северном Каспии в теплое время года (июль — август) происходит возрастание концентраций кремнекислоты до 800—1000 мкг/л. Высокое ее содержание в это время года поддерживается, с одной стороны, постоянным поступлением кремния с речным стоком, с другой — уменьшением интенсивности утилизации кремния фитопланктоном.

Расчет линейного тренда, использованный при анализе тенденции многолетней изменчивости содержания кремния в водах Северного Каспия в течение 1961—1983 гг., показал, что рост концентраций кремния в летний сезон составил около 140 мкг/л.

В летнее время содержание кремния в восточной части Северного Каспия выше, чем в его западной части. В районе Уральской бороздины значения колебались от 1000 до 1250 мкг/л. Максимальные концентрации кремния были обнаружены в районах непосредственного влияния стока Волги и Урала, где они превышали 1500 мкг/л (рис. 4.45).

Таблица 4.49

Основные статистические характеристики концентраций кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии весной за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи — Кендерли												
0	13	334	332	100	12	265	247	93	14	318	311	98
10	13	259	235	91	11	209	217	104	14	244	254	104
20	13	316	276	87	11	223	230	103	14	278	266	96
30	13	417	277	66	11	277	301	109	14	363	263	100
50	12	668	504	76	11	233	176	75	—	—	—	—
75	—	—	—	—	11	324	268	83	—	—	—	—
100	—	—	—	—	11	418	397	95	—	—	—	—
150	—	—	—	—	11	557	555	100	—	—	—	—
200	—	—	—	—	11	661	717	110	—	—	—	—
250	—	—	—	—	11	647	732	113	—	—	—	—
300	—	—	—	—	11	919	921	100	—	—	—	—
400	—	—	—	—	10	1209	1079	89	—	—	—	—
500	—	—	—	—	9	1417	1256	89	—	—	—	—
600	—	—	—	—	7	1061	603	57	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	16	260	295	113	15	199	333	167	15	113	136	121
10	16	198	194	98	16	133	169	127	15	234	542	231
20	16	299	354	119	16	193	258	141	—	—	—	—
30	16	294	343	117	16	180	232	128	—	—	—	—
50	16	384	391	102	16	343	472	138	—	—	—	—
75	15	385	352	91	14	348	493	142	—	—	—	—
100	15	443	375	85	—	—	—	—	—	—	—	—
150	13	823	823	96	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	17	195	190	97	16	187	196	100	17	539	1492	277
10	17	189	153	81	16	198	194	98	17	426	850	199
20	17	195	153	83	16	220	245	112	17	288	333	155
30	17	179	178	100	16	178	185	104	17	342	519	152
50	17	161	138	86	16	759	2229	294	—	—	—	—
75	17	177	126	71	15	828	1930	233	—	—	—	—
100	17	216	150	69	15	873	1608	184	—	—	—	—
150	17	430	308	63	15	1109	1508	136	—	—	—	—
200	17	689	450	65	15	1436	1761	123	—	—	—	—
250	15	912	534	59	15	1592	1727	108	—	—	—	—
300	14	1049	660	63	15	1658	1729	104	—	—	—	—
400	—	—	—	—	14	1755	1769	101	—	—	—	—
500	—	—	—	—	13	1538	725	47	—	—	—	—
600	—	—	—	—	12	1782	656	37	—	—	—	—
800	—	—	—	—	9	2018	925	46	—	—	—	—

В центральной и западной частях Северного Каспия, на южных станциях разрезов III и IIIа, концентрации кремния резко снижались, так как воды, поступающие в этот район моря из Среднего Каспия, содержали значительно меньшее его количество.

Повышенное содержание кремния в восточной части моря по сравнению с западной частью объясняется, по-видимому, аккумуляцией кремния в районе Уральской бороздины и незначительным его потреблением диатомовым фитопланктоном, титры которого в восточной части моря, как правило, значительно ниже, чем в западной.

Летом в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием отмечался значительный рост концентрации кремнекислоты по сравнению с весной (на некоторых станциях более чем в 2 раза). Ее максимум был отмечен на периферийных станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак, особенно в зоне восточного мелководья — более 1000 мкг/л. Практически на всех станциях разреза на горизонте 10 м обнаруживаются повышенные концентрации кремния по отношению к выше и ниже расположенным горизонтам (см. табл. 4.42).

В районе устьевого взморья Терека содержание кремния по-прежнему остается довольно высоким, достигая 650—700 мкг/л, но по сравнению с данными весеннего периода оно ниже. Такая же тенденция в сезонном ходе кремния наблюдается и в районе устьевого взморья Самура (см. табл. 4.43). Однако в районе восточного побережья (Форт-Шевченко), примыкающего к зоне водообмена, содержание кремнекислоты значительно увеличивается в летнее время (см. табл. 4.44).

Разнонаправленность, отмечающаяся в сезонной динамике кремния в западных и восточных

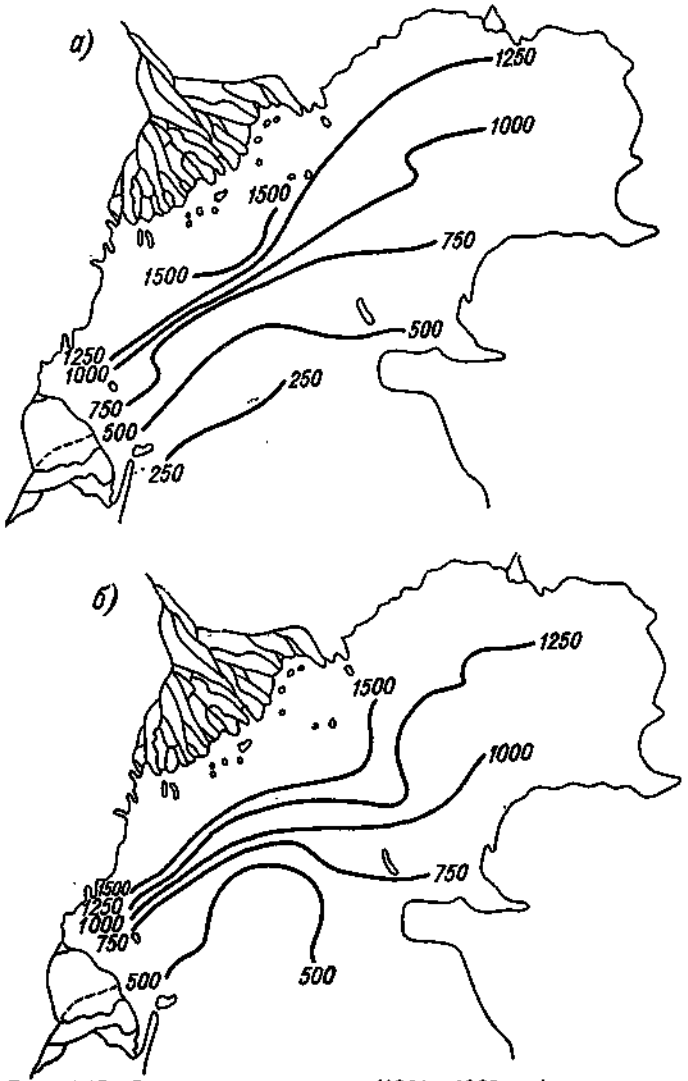


Рис. 4.45. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение кремния (мкг/л) в Северном Каспии в июне—июле (*а*) и в августе—сентябре (*б*).

мелководных районах в летнее время, объясняется, по-видимому, различной интенсивностью фотосинтетических процессов, протекающих в этих районах моря. В это время года в западной части моря процесс фотосинтеза протекает довольно активно, а западный перенос кремния за счет стока вод из Северного Каспия значительно ослаблен. Эти факторы способствуют понижению содержания кремния в летнее время на западных мелководьях.

По данным многолетних наблюдений за 1961—1980 гг., летом на разрезе Дивичи — Кендерли отмечалось довольно однородное горизонтальное распределение кремнекислоты, концентрации которой равномерно увеличивались от поверхности ко дну (рис. 4.46 *а*). В последующее пятилетие характер распределения кремния в Среднем Каспии не изменился, однако концентрации на всех горизонтах резко снизились, особенно в западной части моря, они уменьшились по сравнению с предшествующим периодом в 2 раза (рис. 4.46 *б*).

Данные многолетних наблюдений в течение 1962—1985 гг. на разрезе Дивичи — Кендерли показывают увеличение содержания кремния во всей водной толще по сравнению с его содержанием здесь в 1958—1982 гг. Максимальный рост концентрации кремнекислоты был обнаружен начиная с горизонта 200 м; в придонных слоях она превысила 1000 мкг/л (см. табл. 4.45).

На Апшеронском пороге в летнее время содержание кремнекислоты увеличивается от поверхности до дна с 400 до 1800 мкг/л (рис. 4.47 *а*). Как и в Среднем Каспии, в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием концентрации кремнекислоты в 1981—1985 гг. резко снизились: на поверхности — в 2, на придонных горизонтах — в 3 раза (рис. 4.47 *б*). В то же время по сравнению с периодом 1958—1962 гг. [100] содержание кремнекислоты летом в течение 1962—1985 гг. в слое 50—200 м уменьшалось (см. табл. 4.45).

В мелководных районах, примыкающих к Апшеронскому порогу, распределение кремния следующее: в Бакинской бухте летом его содержание по сравнению с весной несколько снижалось, в районе Сумгаита — оставалось на уровне весенних концентраций. В восточных мелководных районах

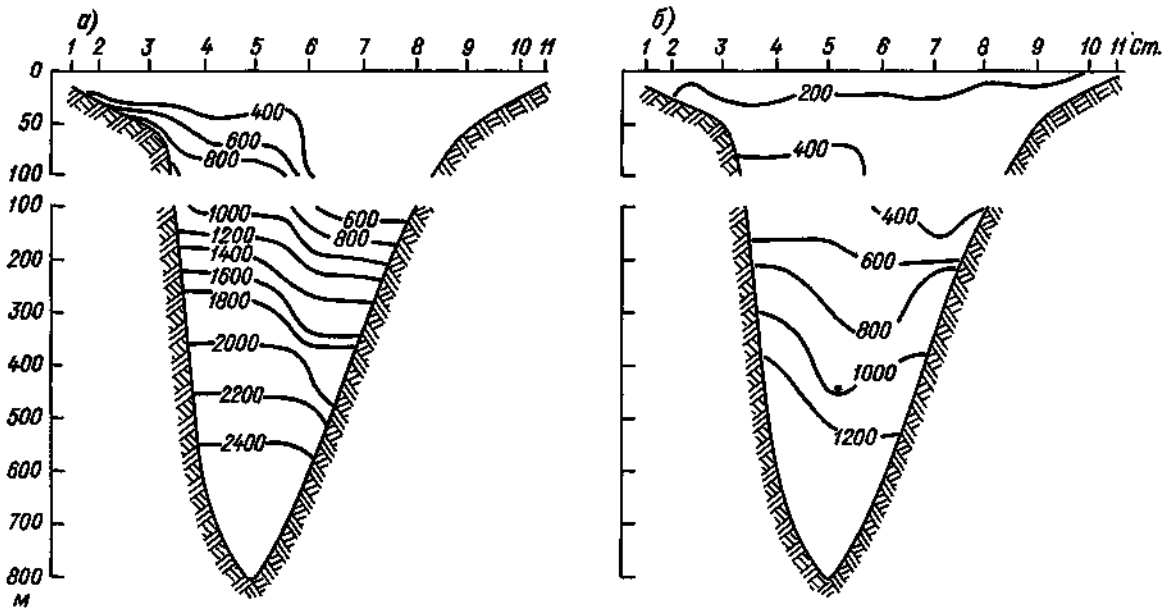


Рис. 4.46. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) на разрезе Дивичи—Кендерли летом в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

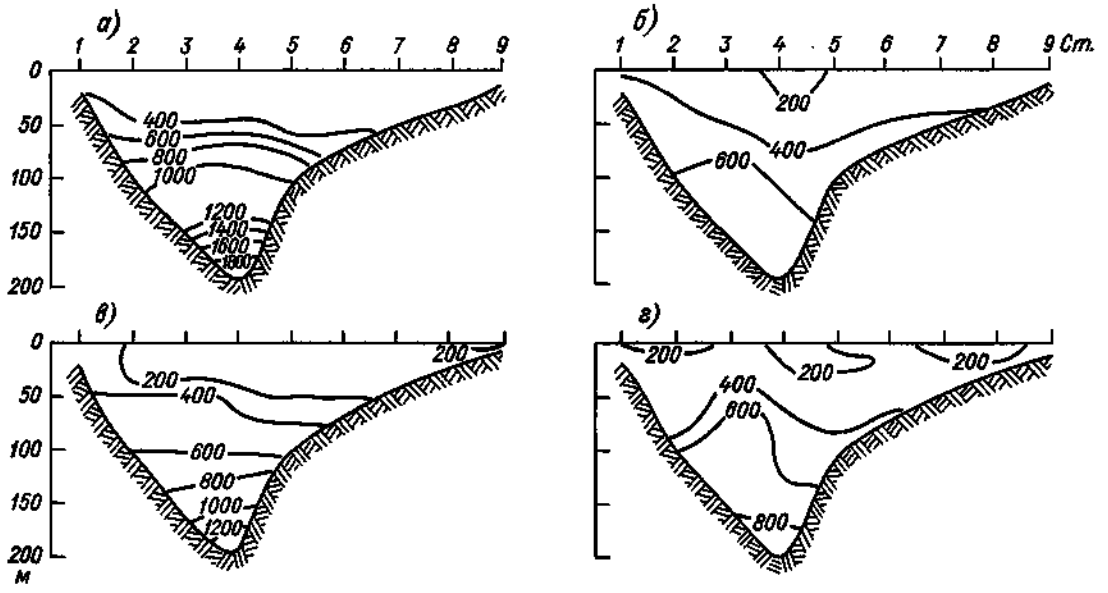


Рис. 4.47. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) на разрезе о. Жилой — м. Куули летом (*а*, *б*) и осенью (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

Южного Каспия (район п-ова Челекен) средние концентрации кремнекислоты в летний период по сравнению с весной возрастали более чем в 2 раза (см. табл. 4.44).

Летнее распределение кремнекислоты на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский во многом аналогично ее распределению на разрезе Дивичи — Кендерли в теплое время года: здесь также концентрации кремния между поверхностным и придонным слоем, по данным наблюдений за 1961—1980 гг., разнятся в 8—9 раз. В последующее пятилетие их значения резко снижаются во всей водной толще (рис. 4.48).

На поверхностном горизонте деятельного слоя Среднего и Южного Каспия (0—100 м) в летнее время отмечалось практически однородное распределение кремнекислоты, концентрации которой колебались в диапазоне 200—300 мкг/л. При этом прослеживалась некоторая тенденция к повышению содержания кремния в районе западного побережья моря (рис. 4.49 *а*). В слое 50—100 м концентрации кремния несколько возрастали, горизонтальное распределение кремния продолжало также оставаться довольно однородным с намечающейся тенденцией к увеличению содержания кремния в районе восточного побережья (рис. 4.49 *б*).

Для динамики многолетних изменений кремнекислоты в течение 1962—1985 гг. в Южном Каспии по сравнению с периодом 1958—1962 гг. характерно понижение концентрации кремния начиная с горизонта 300 м (в придонном горизонте ΔSi достигало 400 мкг/л) (см. табл. 4.45).

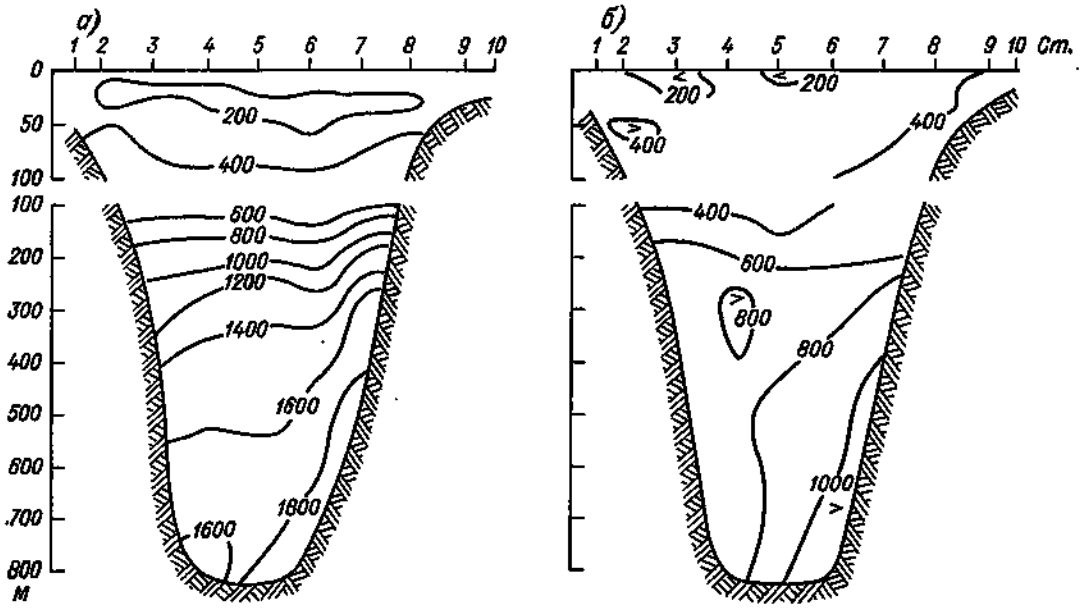


Рис. 4.48. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский летом в 1961—1980 гг. (*а*) и в 1981—1985 гг. (*б*).

Рис. 4.49. Среднее многолетнее (1981—1985 гг.) распределение кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом на поверхности (*а*) и на горизонте 100 м (*б*).

Определенной закономерности в распределении кремнекислоты на разрезах Дивичи — Кендерли и о. Куринский Камень — о. Огурчинский в различные периоды положения уровня моря в летнее время выявить не удалось, о чем свидетельствуют данные, представленные в табл. 4.50.

Обращает на себя внимание тот факт, что с глубиной в Среднем и Южном Каспии изменчивость содержания кремния резко снижается по сравнению с деятельным слоем моря, где C_v, как правило, превышает 100 % (табл. 4.51). По-видимому, это обусловлено фотосинтетическими процессами, которые активно протекают в слое 0—100 м. Режим кремнекислоты в море в основном зависит от развития диатомовых водорослей, так как последние потребляют кремний для построения своего скелета. Однако, к сожалению, как правило, при исследовании гидрохимического режима Каспийского моря отсутствуют одновременные исследования наиболее важного комплекса гидробиологических факторов.

Распределение кремния в осенний период

В осенний сезон средняя взвешенная концентрация кремнекислоты, рассчитанная в Северном Каспии за 1961—1980 гг., снизилась по сравнению со средней концентрацией, полученной в августе — сентябре.

При этом в распределении кремнекислоты на акватории Северного Каспия отмечалось значительное повышение ее содержания в восточной части; в центральной и западной частях моря оно несколько возрастало лишь в районе мелководного предустьевого взморья Волги, а далее на юг резко снижалось до весьма низких концентраций в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием (рис. 4.42 *б*).

Таблица 4.50

Изменение содержания кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
				Разрез Дивичи—Кендерли						
0	250	294	44	366	72	204	169	—35	291	122
10	152	313	161	280	—33	147	162	15	277	215
20	138	238	100	255	17	141	55	—86	338	283
30	150	358	208	339	—19	150	95	—55	412	317
50	328	458	130	490	32	328	90	—238	395	305
75	—	947	—	622	—325	480	—	—	390	—
100	968	438	—530	836	398	653	—	—	360	—
150	—	772	—	1005	233	800	—	—	500	—
200	1543	—	—	820	—	948	—	—	660	—
250	—	—	—	890	—	1213	—	—	730	—
300	1903	—	—	1060	—	1479	—	—	780	—
400	2329	—	—	1220	—	1937	—	—	1020	—
500	—	—	—	1280	—	—	—	—	1170	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—	1300	—
				Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский						
0	141	116	—25	305	189	229	98	—125		136
10	96	184	88	266	82	179	61	—118		145
20	109	308	199	205	—103	167	87	—80		139
30	71	178	107	296	118	175	82	—93		132
50	109	308	199	202	—106	181	16	—169	327	311
75	198	350	152	232	—118	290	142	—148		168
100	246	252	6	409	157	398	386	—12	376	—10
150	475	664	188	455	—209	689	469	—220	564	95
200	732	1098	366	680	—418	1136	544	—592	670	126
250	860	1169	309	788	—381	1310	617	—693	787	170
300	985	1271	286	918	—353	1595	682	—913	869	187
400	1387	1467	80	938	—529	1800	856	—944	974	118
500	1413	1323	21	914	—520	1935	1078	—857	1208	130
600	1540	1756	216	941	—815	1730	1202	—528	1221	19
800	1618	1103	515	967	—136	2350	1543	—807	1197	—351

Таблица 4.51

Основные статистические характеристики концентраций кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии летом за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
					Разрез Дивичи—Кендерли							
0	10	370	315	85	12	265	224	85	10	269	203	76
20	11	327	318	97	9	253	312	123	—	—	—	—
50	7	640	262	41	9	336	284	85	—	—	—	—
100	7	1003	502	50	—	—	—	—	—	—	—	—
					Разрез о. Жилой — м. Куули							
0	13	282	251	89	14	253	279	110	13	195	216	110
20	13	230	267	116	13	298	295	99	—	—	—	—
50	13	568	339	60	11	365	274	75	—	—	—	—
100	13	1023	572	56	—	—	—	—	—	—	—	—
					Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский							
0	15	300	256	85	14	212	240	113	13	322	363	113
20	15	256	280	109	14	151	176	116	12	231	239	104
50	15	211	159	75	14	137	197	143	—	—	—	—
100	14	439	346	79	14	406	409	101	—	—	—	—
200	14	860	594	69	14	898	583	65	—	—	—	—
500	—	—	—	—	14	1642	968	59	—	—	—	—
800	—	—	—	—	9	1878	545	29	—	—	—	—

Подобное распределение кремния в осеннее время в Северном Каспии обусловлено вторым пиком развития диатомовых. При этом в восточной части моря он развивается в меньшей степени, чем в западной, и именно поэтому в восточной части Северного Каспия содержание кремния намного выше.

Расчет тренда многолетнего ряда наблюдений за осенний период показал, что имеет место снижение содержания кремния в водах Северного Каспия на 300 мкг/л.

В зоне водообмена между Северным и Средним Каспием содержание кремнекислоты осенью несколько уменьшается, за исключением крайней западной станции разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак, где оно возросло в поверхностном слое на 160 мкг/л благодаря проникновению в эту часть моря значительно трансформированных волжских вод, богатых кремнием. Напротив, в поверхностном слое крайней восточной станции разреза отмечалось резкое уменьшение (примерно в 2 раза) содержания кремнекислоты по сравнению с летом. Для восточной части разреза (станции 4—7) в осенний период характерно обратное распределение кремнекислоты по вертикали, т. е. уменьшение ее концентрации с глубиной (см. табл. 4.42).

В мелководных районах, примыкающих к зоне водообмена между Северным и Средним Каспием, осеннее распределение кремнекислоты практически не отличается от летнего. При этом следует отметить, что максимальные концентрации кремния в данном регионе во все сезоны года характерны для акватории предустьевого взморья Терека (см. табл. 4.43).

Как и в предыдущие сезоны, осенью 1981—1985 гг. среднее содержание кремнекислоты резко уменьшается на разрезе Дивичи — Кендерли по сравнению с аналогичными данными, полученными в течение 1961—1980 гг. Эти различия присутствуют практически на всех горизонтах, но с глубиной они резко возрастают до 600—800 мкг/л (рис. 4.50 *а*, *б*).

Осенью в период понижения уровня моря в Среднем Каспии (станции 4 и 6) происходило уменьшение концентраций кремния на всех горизонтах и наиболее существенным оно было в нижележащих слоях моря. В период же повышения уровня содержание кремнекислоты возрастало, при этом его максимальный рост был отмечен также на нижележащих горизонтах (табл. 4.52).

Изменчивость концентрации кремнекислоты на разрезе Дивичи — Кендерли в осенний период оказывается значительно меньше, чем в других глубоководных районах Каспийского моря. Как правило, здесь коэффициент вариации не превышает 60—70 % (табл. 4.53).

В районе Апшеронского порога осенью содержание кремния в течение 1962—1980 и 1981—1985 гг. практически было одинаковым, за исключением придонных горизонтов, где в 1981—1985 гг. оно понизилось более чем на 400 мкг/л (рис. 4.47 *в*, *г*).

По сравнению с данными предшествующих исследований [65, 100], которые проводились в 1958—1962 гг., в течение 1962—1985 гг. концентрации кремния на разрезе о. Жилой — м. Куули уменьшились во всей водной толще. При этом максимальные значения ΔSi были обнаружены на придонных горизонтах — от 250 до 400 мкг/л (см. табл. 4.45).

В мелководных районах Южного Каспия осенью происходит существенное снижение содержания кремнекислоты: в районе взморья р. Куры и Красноводского залива его значения уменьшились более чем в 2 раза, в районе п-ова Челекен — более чем в 3 раза. По-видимому, бурное развитие диатомовых водорослей в осенний период вызывает столь резкое содержание кремнекислоты в мелководных районах Каспийского моря (см. табл. 4.44).

В Южном Каспии, по данным наблюдений за 1962—1980 и 1981—1985 гг., на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский основные различия в содержании кремнекислоты между двумя периодами исследования обнаруживаются ниже деятель-

Таблица 4.52

Изменения содержания кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи—Кендерли										
0	240	208	—32	232	24	304	258	—299	265	7
10	223	340	117	226	—114	304	228	—76	241	13
20	203	372	169	256	—116	304	232	—72	248	16
30	275	210	—65	242	32	390	234	—156	270	36
50	366	233	—133	332	99	394	400	6	402	2
75	473	388	—85	425	37	552	490	—62	481	—9
100	549	462	—87	500	38	711	540	—171	554	14
150	826	470	—356	542	72	1129	601	—527	615	14
200	1091	490	—621	698	208	1546	664	—882	868	204
250	—	476	—	894	418	1203	705	—498	1064	359
300	—	461	—	968	507	1269	811	—458	1120	309
400	—	556	—	1176	620	1399	1530	131	1162	—368
500	—	1065	—	1356	291	—	—	—	1315	—
600	—	—	—	1260	—	—	—	—	1375	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	137	232	95	100	—132	133	112	—81	81	—31
10	141	187	76	115	—72	125	136	11	59	—77
20	127	186	59	139	—48	134	92	—42	78	—14
30	208	194	—14	160	—34	162	142	—20	96	—46
50	235	118	—117	162	44	305	154	—151	121	—33
75	329	322	—7	228	—94	976	365	—611	246	—119
100	406	656	250	311	—345	1732	615	—1117	392	—223
150	791	549	—242	598	49	912	760	—152	601	—159
200	1181	515	—666	652	137	1264	935	—329	694	—241
250	1049	571	—478	834	263	—	1005	—	813	—192
300	1186	706	—480	862	156	—	922	—	946	24
400	1427	871	—556	949	78	—	1222	—	985	—237
500	1604	1043	—561	995	—48	—	1230	—	1102	—128
600	1779	1117	—662	1070	—47	—	1232	—	1020	—212
800	1854	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4.53

Основные статистические характеристики концентраций кремния (мкг/л) в Среднем и Южном Каспии осенью за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3				Ст. 6				Ст. 9			
	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %	n	Среднее	σ	C_v %
Разрез Дивичи—Кендерли												
0	12	359	254	71	10	306	187	61	11	215	140	65
20	12	399	302	76	10	283	162	57	11	221	133	60
50	12	887	1149	129	10	455	286	63	—	—	—	—
100	—	—	—	—	10	647	391	60	—	—	—	—
200	—	—	—	—	10	1083	733	68	—	—	—	—
500	—	—	—	—	6	1348	822	61	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	10	168	170	101	14	57	83	145	15	235	312	133
20	11	140	156	112	14	106	95	90	—	—	—	—
50	10	524	546	104	13	139	134	96	—	—	—	—
100	9	593	453	76	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	12	205	180	88	12	130	156	120	13	182	260	143
20	12	78	117	149	12	97	174	180	12	90	116	128
50	12	147	176	120	11	182	224	123	—	—	—	—
100	12	410	212	52	11	549	267	49	—	—	—	—
200	10	893	291	33	11	1073	611	57	—	—	—	—
500	—	—	—	—	11	1362	563	41	—	—	—	—

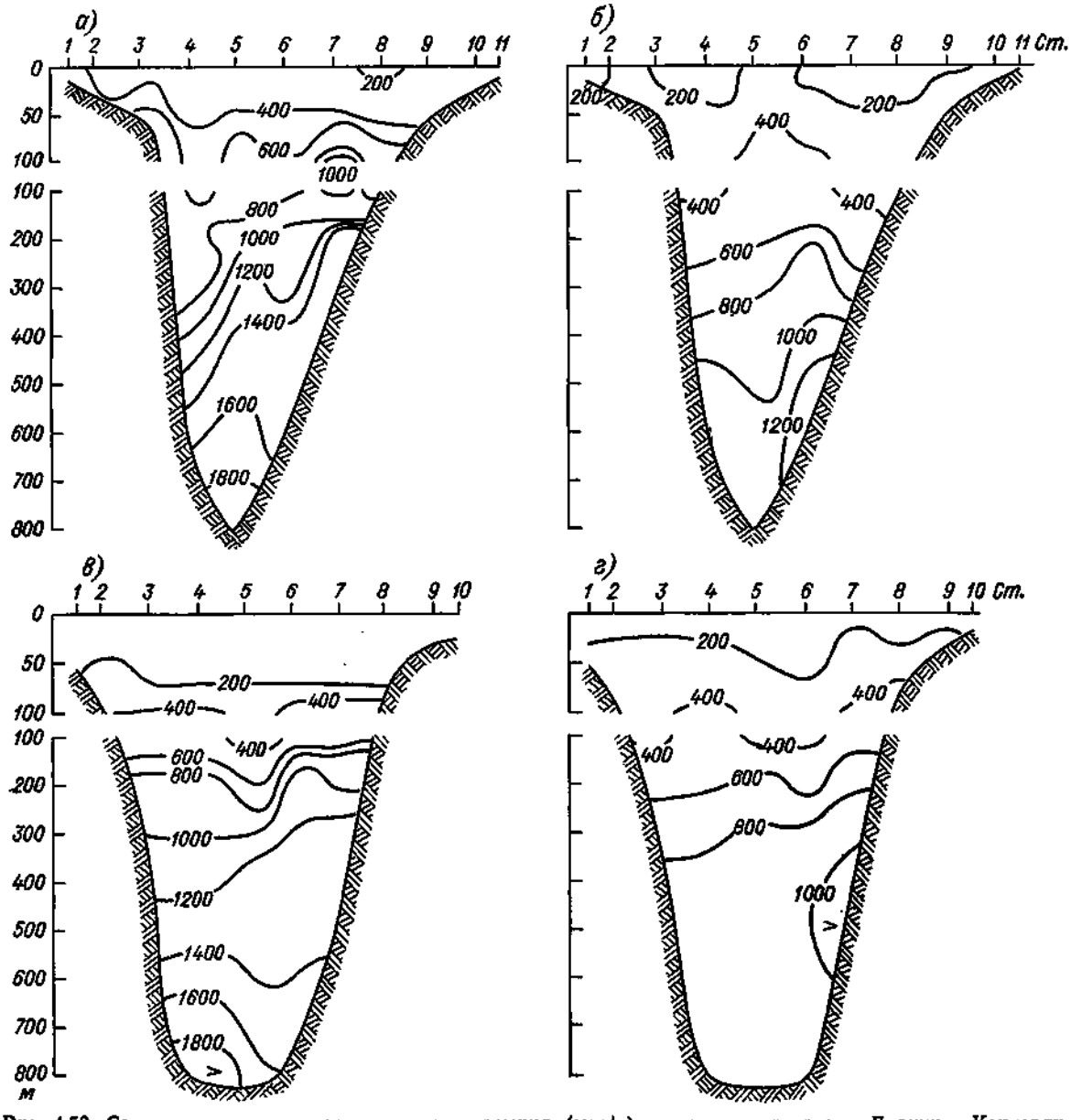


Рис. 4.50. Среднее многолетнее распределение кремния (мкг/л) осенью на разрезах Дивичи — Кендерли (*а*, *б*) и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (*в*, *г*) в различные периоды исследования.

а, *в* — 1961—1980 гг.; *б*, *г* — 1981—1985 гг.

ного слоя и постепенно увеличиваются ко дну. На придонных горизонтах концентрации кремнекислоты в эти же периоды различаются более чем в 2 раза (рис. 4.50 *в*, *г*). По сравнению с еще более ранними исследованиями среднее содержание кремнекислоты в течение 1962—1985 гг. в этом районе снизилось практически на всех горизонтах см. табл. 4.45), но к этому выводу следует относиться осторожно, в связи с тем, что аналитическая обработка проб проводилась разными методами, о чем подробно упоминалось выше.

Заключение к гл. 4

Первичная продуктивность определяется наличием биогенных элементов, характером их соединений и скоростями оборачиваемости. Установлена положительная корреляционная связь биогенного стока Волги и биопродуктивности Северного Каспия, по площади составляющего 33 % общей акватории Каспийского моря и имеющего огромное значение в промысловой продуктивности моря. Волга является одним из основных поставщиков биогенных элементов в море (около 80 % биогенного стока рек), и знание закономерностей изменения биогенного материкового стока Волги под воздействием природных и антропогенных факторов и его трансформации в дельте и аванделъте Волги необходимо не только для построения теории экосистемы моря, но и для практических целей: разработки мероприятий повышения биопродуктивности, прогнозирования промысловой рыбопродуктивности, прогнозирования результатов возрастающего влияния антропогенных факторов.

Биогенный сток Волги и его изменчивость обусловлены комплексным взаимодействием природных и антропогенных факторов. Природная изменчивость биогенного стока Волги определяется прежде всего климатическими факторами, изменчивостью водного стока. Антропогенное воздействие включает такие разнонаправленные факторы, как без-

возвратный водозабор и зарегулированность стока водохранилищами, играющими роль аккумуляторов биогенных веществ (за счет биоседиментации). С другой стороны, сельскохозяйственные, промышленные и бытовые стоки являются поставщиками биогенных веществ антропогенного генезиса и приводят к повышению их содержания в речных водах. В настоящий период уменьшение природной составляющей биогенного речного стока практически компенсируется антропогенными поставками биогенных веществ, но при этом несколько изменяется качественный состав биогенного стока — снижается доля минеральных растворенных соединений биогенных элементов.

В дельте и авандельте Волги биогенный материковый сток в значительной степени трансформируется, как в количественном, так и в качественном отношении. Для дельты и авандельты характерна зональность интенсивности и направленности физических и биологических процессов, совокупность которых определяет трансформацию биогенного стока, а также — сезонная и межгодовая изменчивость степени трансформации.

Трансформация в дельте стока фосфора и связанного азота несколько различается вследствие менее прочного связывания фосфора в клеточной структуре организмов, большей его лабильности и соответственно более ускоренного биотического круговорота.

В результате совокупности разнонаправленных физических, химических и биологических процессов, протекающих в дельте и авандельте Волги и ведущих к обогащению вод биогенными элементами, речные воды за время следования от верхнего створа вниз обогащаются соединениями азота и фосфора и воды нижней зоны оказываются богаче ими (в среднем на 10—20 % за год) по сравнению с водами верхнего створа. Но в отдельные периоды (особенно в летнюю и осеннюю межень маловодных лет) превалируют аккумулятивные процессы, вследствие чего воды нижней зоны в это время могут быть несколько беднее биогенными веществами по сравнению с водами верхнего створа.

Однако обогащение речных вод в дельте биогенными соединениями не приводит к увеличению биогенного стока в мелководье Северного Каспия, поскольку значительная их часть аккумулируется на внешнем крае авандельты и моря достигает меньшее их количество, чем то, которое проходит верхний замыкающий створ.

Биопродуктивность вод Северного Каспия можно повысить за счет уменьшения «плоскостного» стока в дельте Волги и увеличения пропуска вод по каналам.

В балансе биогенных элементов Каспийского моря сток рек является основной составляющей из учтенных статей баланса, на него приходится около 95 % годового поступления кремния, 90 % — фосфора и 80 % — связанного азота. Поступление азота из атмосферы за счет субмаринной разгрузки подземных вод составляет соответственно около 14 и 12 % годового прихода. За счет субмаринной разгрузки поступает около 7 % фосфора и 4,5 % кремния. Не учтено поступление азота за счет азотфиксации водорослями, но по аналогии с другими водоемами оно может быть весьма существенным (порядка 5—15 %). Существенным может быть и поступление фосфора за счет эолового фактора, судя по некоторым данным для восточной части Северного Каспия.

Основная составляющая расходной части баланса биогенных элементов Каспийского моря, характерная для бессточного водоема, — аккумуляция в донных отложениях (более 95 % годового прихода по учтенным статьям баланса). Поступление биогенных элементов из грунтов в настоящее время не поддается оценке.

Пространственное распределение биогенных веществ в Каспийском море обнаруживает следующие закономерности:

— повышенными концентрациями биогенных веществ характеризуются: районы предустьевых взморий рек, питающих море; юго-западная часть Северного Каспия и районы западного побережья Среднего и Южного Каспия, находящиеся под влиянием вод Волги, Терека, Сулака, Самура, Куры, богатых биогенными веществами; мелководные районы моря, подверженные активному антропогенному влиянию (Бакинская бухта, Красноводский залив; акватории, прилегающие к Махачкале и Форт-Шевченко);

— Северный Каспий, являющийся обширной зоной смешения речных и морских вод, характеризуется значительными пространственными градиентами в распределении биогенных веществ (рис. 4.51);

— в районе свала глубин на придонных горизонтах западной части Северного Каспия, как правило, наблюдается резкое повышение содержания биогенных веществ, обусловленное в основном спецификой гидрологических условий этого района;

— в восточной части Северного Каспия — мелководном районе моря отмечается однородное вертикальное распределение биогенных веществ;

— в Среднем Каспии циклонический характер циркуляции способствует поднятию глубинных вод с высоким содержанием биогенных веществ в вышележащие слои моря;

— в глубоководных районах Среднего и Южного Каспия вертикальное распределение биогенных веществ зависит от интенсивности процесса конвективного перемешивания и с глубиной их содержание увеличивается.

На динамику концентраций биогенных веществ в течение года в Каспийском море оказывают влияние следующие основные факторы: сезонные колебания биогенного стока в море, сезонное соотношение продукционно-деструкционных процессов, интенсивность обмена между грунтом и водной массой, ледовые условия в зимнее время в Северном Каспии, процессы зимней вертикальной циркуляции в глубоководных районах моря.

Зимой значительная акватория Северного Каспия покрыта льдом, но биохимические процессы активно развиваются и в подледной воде, и во льду.

Лед Северного Каспия, являясь своеобразным аккумулятором биогенных веществ, трансформирует эти вещества, которые поступают в море с речным стоком и из атмосферы.

Коэффициенты вовлечения $K_в$, характерные для компонентов биогенного состава льда, в 2—3 раза превышают $K_в$ компонентов солевого состава льда. При замерзании растекающейся подо льдом волжской воды, обогащенной биогенными вещест-

Рис. 4.51. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение (мкг/л) фосфатов (*а*), кремния (*б*), нитритов (*в*) и нитратов (*г*) в водах Северного Каспия.

вами, и интенсивном вовлечении солей в лед, концентрации растворенного фосфора и азота во льду в зоне смешения вод в Северном Каспии возрастают в 1,5—2,0 раза по сравнению с их содержанием в подледной воде или во льду в районе Нижней Волги.

По сравнению со льдом наледный снег характеризуется увеличением концентраций биогенных веществ, в основном растворенных форм азота.

В результате зимней вертикальной циркуляции вод в глубоководных районах Среднего и Южного Каспия в холодное время года происходит обогащение деятельного слоя моря биогенными веществами за счет поступления их из нижележащих слоев. Это характерно для всех биогенных элементов, но особенно отчетливо проявляется в вертикальном распределении кремния.

Весна для вод Северного Каспия характеризуется минимальным содержанием фосфатов, нитритов и кремния, что объясняется весенней вспышкой развития фитопланктона (кремний активно потребляется диатомовыми водорослями). Высокие концентрации аммонийного и нитратного азота, характерные для вод значительной акватории Северного Каспия во время половодья, обусловлены интенсивным промыванием речными водами дельты Волги.

В весеннее время года в районе водообмена между Северным и Средним Каспием в подповерхностном слое при максимальном содержании кислорода содержание фосфатов оказывается минимальным, что, в свою очередь, свидетельствует об активизации в этом слое процесса фотосинтеза.

С повышением температуры воды весной в деятельном слое Среднего Каспия отмечается некоторое уменьшение содержания фосфатов. Ниже горизонта 200 м оно возрастает за счет минерализации органического фосфора. В это же время года здесь наблюдается снижение концентраций растворенного кислорода, который расходуется на окисление органического вещества.

В Южном Каспии распределение биогенных веществ весной в основном аналогично их распределению в Среднем Каспии. Однако здесь во всей водной толще происходит более существенное уменьшение концентраций биогенных веществ, особенно фосфатов, по сравнению с зимним периодом.

В летнее время в водах Северного Каспия обнаруживается перераспределение различных форм биогенных соединений. Здесь существенно уменьшается содержание аммонийного азота и нитратов, в то же время происходит некоторое увеличение концентраций фосфатов и нитритов и довольно

значительный рост содержания кремния. Высокая концентрация кремнекислоты в этом районе моря поддерживается, с одной стороны, постоянным поступлением ее с речным стоком, с другой — уменьшением потребления кремния диатомовым фитопланктоном в этот период.

В глубоководной части Среднего Каспия ниже зоны сезонного термоклина (25—50 м) летом наблюдалось довольно однородное распределение фосфатов до дна. В деятельном слое, расположенном над сезонным термоклином, в Среднем и Южном Каспии концентрации фосфатов уменьшаются благодаря усиленной ассимиляции их фитопланктоном и затрудненному водообмену с глубоководной зоной накопления.

Осенью в Северном Каспии с прекращением развития некоторых видов фитопланктона происходит обогащение морских вод фосфатами и нитратами. В то же время на всей акватории Каспийского моря наблюдается резкое снижение концентраций кремния, обусловленное осенней вспышкой в развитии диатомовых водорослей.

С понижением температуры воды в деятельном слое Среднего и Южного Каспия ослабляется процесс фотосинтеза, сопровождающийся ассимиляцией фосфатов фитопланктоном, в связи с чем содержание фосфатов возрастает. Одновременно разрушается сезонный термоклин, и взвешенный органический фосфор погружается в глубинные слои моря. Затем в результате окисления и минерализации органического вещества эти слои обогащаются фосфатами.

Анализ тенденции многолетней изменчивости биогенных веществ в водах Северного Каспия в течение 1961—1985 гг. свидетельствует о некотором повышении содержания фосфатов и нитритов, что, по-видимому, объясняется антропогенным воздействием в этом районе за счет возросшего использования азот- и фосфорсодержащих удобрений в бассейне Волги.

В 30-е годы в Каспийском море нитриты обнаруживались лишь в так называемой нитритной подзоне (в слое 50—100 м). В последующие годы и до настоящего времени отмечается рост нитритов во всей водной толще, обусловленный усилением вертикальной циркуляции вод, которая в свою очередь способствует активизации биохимических процессов.

По сравнению с обобщенными данными предшествующего периода исследований в Каспийском море (1958—1962 гг.) в осенне-зимнее время в течение 1961—1985 гг. наблюдается устойчивый рост концентрации фосфатов во всей водной толще Среднего и Южного Каспия. Аналогичное сравнение для весенне-летнего времени показало значительное ее увеличение в деятельном слое моря и уменьшение в зоне накопления, особенно проявившееся в Среднем Каспии. Во все сезоны, как правило, отмечалось снижение концентраций кремния ниже деятельного слоя моря до дна. Аналогичная тенденция для кремния была обнаружена и в водной толще Северного Каспия.

Направленность изменений в динамике биогенных веществ в зависимости от положения уровня Каспийского моря наиболее отчетливо проявляется в распределении фосфатов и, отчасти, кремния. Период понижения уровня моря характеризуется повышением концентраций биогенных веществ, их снижение наблюдается в период повышения уровня моря во всей водной толще глубоководных районов Среднего и Южного Каспия.

5. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

В функционировании экосистемы водоемов, в биогеохимическом круговороте вещества и энергии играет первостепенную роль органическое вещество (ОВ), как живое, так и растворенное и взвешенное в воде и донных отложениях. Классическое соотношение массы растворенного ОВ, детрита и живых организмов 100 : 10 : 1 [119].

В генетическом отношении принято подразделять ОВ природных вод на автохтонное, создаваемое в самом водоеме, и аллохтонное, поступающее извне. Таким образом, баланс органического вещества водоема складывается из автохтонной и аллохтонной составляющих (аллохтонное ОВ в основном вносится с речным стоком). Около 80 % органического материкового стока поступает в Каспийское море с водами р. Волги и сосредоточено в Северном Каспии, только небольшая его часть достигает Среднего Каспия. В Среднем и Южном Каспии основным продуцентом органического вещества является фитопланктон.

Биопродуктивность Северного Каспия в значительной степени определяется органическим и биогенным стоком Волги, но до недавнего времени исследования ОВ как в дельте Волги, так и в Северном Каспии носили только фрагментарный характер. Лишь целевые комплексные исследования всей акватории дельты Волги и устьевого взморья в 1978—1981 гг. (включая зимние — с вертолета) позволили изучить роль дельты в трансформации органического материкового стока и оценить реальный органический сток в Северный Каспий. Эти исследования позволили изучить процессы трансформации органического материкового стока, характерные для всех зон дельты (верхней, средней, нижней и устьевого взморья), а также систем банков западной (Главный, Гандуринский, Кировский) и восточной (Белинский, Карайский, Иголкинский) частей дельты в разные сезоны и различные по водности и характеристикам паводка годы.

Зональные, сезонные и межгодовые различия в интенсивности и направленности процессов, формирующих и трансформирующих органический материковый сток в дельте и устьевом взморье, обусловлены разной обводненностью, проточностью, зарастаемостью, термическим режимом. Эти факторы определяют смыв ОВ с затопляемых угодий, вымывание их из донных отложений и седиментацию, интенсивность продукционно-деструкционных процессов ОВ. Сезонные исследования проводились в следующие периоды: зимний, предпаводковый, пик паводка, послепаводковый, летнюю межень, осень. Методика исследований описана Максимовой и др. [89].

Органическое вещество, как растворенное, так и взвешенное, в Каспийском море практически не изучено. По приближенной оценке на основе фраг-

ментарных данных средняя концентрация растворенного органического углерода в водах Каспийского моря составляет порядка 6 мг/л; около 80 % связанного азота и 50 % фосфора находятся также в форме органических соединений (средняя концентрация растворенного органического азота — 550 мг/л, органического фосфора — 25 мг/л).

5.1. Органический материковый сток и его эволюция

Органический материковый сток, поступающий в Северный Каспий с волжскими водами, в значительной степени формируется и трансформируется в дельте Волги и на устьевом взморье. В результате разносторонних процессов, протекающих в дельте и на устьевом взморье Волги, масса ОВ, вносимого в верховье дельты, претерпевает как качественные, так и количественные изменения.

Волга в течение последних десятилетий подверглась активному антропогенному воздействию, составляющими которого являются: зарегулирование стока созданием мощного каскада водохранилищ (явившихся аккумуляторами ОВ и биогенных элементов); возросший водозабор (в том числе и безвозвратный) на нужды промышленности, сельского хозяйства, урбанизации; обратное воздействие стоков промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных вод, обогащенных ОВ и биогенными элементами. Комплексное антропогенное воздействие существенно изменило как гидрологический, так и гидрохимический режим (включая ОВ) волжских вод и не только в водохранилищах, но и на русловых участках, а также в дельте и на устьевом взморье Волги. Современный гидрохимический режим Волги, ее дельты, устьевого взморья, Северного Каспия и сток химических компонентов определяются интегральной результирующей взаимодействия природных и все возрастающих антропогенных факторов.

Для понимания эволюции органического стока в Каспий и гидрохимического режима дельты Волги и ее устьевого взморья, свершившейся за последние десятилетия, необходимо знание изменений, происшедших в гидрохимическом режиме вод волжского каскада и вод, поступающих в верховье дельты. Необходимо также знание эволюции самой дельты и генезиса ОВ, поступающего в дельту.

Наиболее характерными чертами эволюции дельты является ее зарастаемость макрофитами, отчленение баром, что привело к уменьшению скоростей добегания вод от вершины дельты к устьевому взморью и усилению их трансформации за время прохождения дельты. Так, на акватории устьевого взморья Волги площадь покрытия водной растительностью с 1963 по 1971 гг. увеличилась в 2 раза. Эволюция экосистемы дельты Волги и ее особенности описаны в работе М. П. Максимовой и М. П. Метревели [89].

Прежде всего проанализируем эволюцию материкового стока ОВ, поступающего с волжскими водами в верхний замыкающий створ дельты Волги (с. Верхнее Лебяжье). Первую оценку выноса ОВ для периода естественного стока Волги сделал С. В. Бруевич [26] (материалы по окисляемости, на основе которых сделана оценка, имеются начиная с 1936 г.). По его данным, Волга выносит 7 млн т ОВ в год (80 % растворенного и 20 % взвешенного). Оценка С. В. Бруевича представляется завышенной, тем более что она сделана для периода экстремально низкого водного стока, составлявшего в среднем для 1936—1940 гг. 180 км³ в год. При его оценке органического стока в 7 млн т в год средняя концентрация ОВ должна была бы достигать невероятно высокого значения — 40 мг/л. Данные С. В. Бруевича по стоку ОВ с волжскими водами (без корректировки) использованы при расчете баланса ОВ Каспия В. Г. Дацко [46] для периода, когда водный сток был близок к среднему многолетнему (230 км³ в год). Более реальную оценку стока растворенного ОВ с волжскими водами дает М. П. Гудков для 1950 г. — 3,805 млн т при водном стоке 210 км³ (средняя концентрация растворенного ОВ составляет около 18 мг/л). При этом суммарный сток растворенного и взвешенного ОВ Волги в 1950 г. составил около 4,2—4,8 млн т. Средний многолетний водный сток до его зарегулирования (для периода 1930—1955 гг.) равен 234,6 км³ в год. Однако данные для оценки среднего многолетнего органического стока в этот период отсутствуют.

Для оценки стока ОВ с волжскими водами и характера его изменений были использованы все имеющиеся материалы. Для периода зарегулированного стока наибольшей систематичностью отличаются материалы за 1957—1961 гг., включающие ежемесячные наблюдения стока ОВ с водами Волги на основе анализов перманганатной и бихроматной окисляемости [59]. А. А. Зенин отмечает, что сезонные изменения количества ОВ, выносимых Волгой, определяются водным стоком. Корреляционный анализ показал статистически достоверную жесткую положительную связь между годовым водным стоком и выносом ОВ за этот период (определенным по перманганатной окисляемости), выраженную коэффициентом корреляции $r = 0{,}98$ ($P = 0{,}999$). При расчетах по бихроматной окисляемости за этот же период такая связь отсутствует, что ставит под сомнение эти, к тому же малочисленные, материалы.

Таким образом, данные по стоку ОВ за период, предшествующий его зарегулированию, а также за периоды последовательного заполнения и формирования гидрохимического режима основных водохранилищ системы Волги и последующей стабилизации ее гидрохимического режима весьма скудны.

На основе анализа материалов по стоку Волги было установлено относительное постоянство соотношения годовых значений общего стока ОВ и стока органического азота в волжских водах, близкое 18. Это позволнло при наличии большого ряда наблюдений по стоку органического азота (за 1952—1969 гг.) [12] рассчитать приближенные значения органического стока. Полученные таким путем данные стока ОВ, а также данные за 1971—1975 гг. были близки результатам прямого расчета по окисляемости (для тех лет, по которым имеются соответствующие материалы) и отклоняются от них на ±5 % (табл. 5.1).

Прямое сопоставление стока ОВ периодов до зарегулирования водного стока (I), последовательного заполнения и формирования гидрохимического режима основных водохранилищ волжского каскада (II) и стабилизированного гидрохимического режима этих водохранилищ (III) невозможно

Таблица 5.1

Годовой сток ОВ

Год	Водный сток, км³	Сток ОВ, млн т	Год	Водный сток, км³	Сток ОВ, млн т	Год	Водный сток, км³	Сток ОВ, млн т	Год	Водный сток, км³	Сток ОВ, млн т
Период I (до зарегулирования)			Период II (1956—1962 гг.)			Период III (после зарегулирования)					
1952	215	3,33	1956	223	3,82	1963	260	4,96	1970	273	—
1953	250	3,96	1957	259	4,24 / 4,27	1964	214	—	1971	232	3,34
1954	216	3,78 / 3,56	1958	271	4,60 / 4,34	1965	212	3,61	1972	231	4,90
1955	277	5,58 / 5,76	1959	213	3,72	1966	279	—	1973	170	3,85
Среднее	240	4,16	1960	206	4,72	1967	181	2,88	1974	259	5,29
			1961	230	3,12 / 3,22	1968	209	5,04	1975	168	2,52
			1962	235	4,92	1969	214	4,72 / 4,49	Среднее	214 (223)	4,11
			Среднее	234	4,16						

Примечания. 1. Средний водный сток для периода III рассчитан с исключением водного стока за 1964, 1966 и 1970 гг., так как нет данных органического стока; в скобках дано значение с учетом водного стока за 1964 гг., 1966 и 1970 гг. 2. В знаменателе дан сток ОВ, рассчитанный по окисляемости.

вследствие природных колебаний водного стока, который имеет положительную связь со стоком ОВ. Однако следует отметить, что при последовательном уменьшении среднего годового водного стока от периода I к периодам II и III средний годовой сток ОВ каждого из этих периодов практически идентичен (табл. 5.1 и 5.2). О некотором увеличении стока ОВ под влиянием антропогенного воздействия, несмотря на аккумулирующую роль волжских водохранилищ, свидетельствует и сопоставление близких по водному стоку лет разных периодов (табл. 5.2). Отмечено увеличение как абсолютных, так и удельных значений органического стока (т/км³ в год).

Для сравнительно маловодных лет (около 215 км³) сток ОВ возрос в среднем от периода I к периоду II примерно на 5 %, от периода II к периоду III приблизительно на 10 %. Таким образом, в маловодные годы современного периода сток ОВ возрос на 15 % по сравнению со стоком маловодных лет периода, предшествующего его зарегулированию. Для многоводных лет (около 260 км³) сток ОВ в период зарегулирования (III) возрос по сравнению с периодом естественного стока приблизительно на 20 %.

Таблица 5.2

Изменение стока ОВ по периодам

Период	Год	Водный сток, км³		Сток ОВ		
		за год	средний за период	млн т: за год	млн т: средний за период	тыс. т/км³ в год
Маловодные годы						
I	1952	215	215,5	3,33	3,56	16,5
	1954	216		3,78		
II	1959	213	213,0	3,72	3,72	17,5
III	1965	212	213,0	3,61	4,16	19,5
	1969	214		4,72		
Многоводные годы						
I	1953	250	250	3,96		16,5
II	1957	259	259	4,24		16,4
III	1963	260	260,0	4,96	5,13	19,4
	1974	259		5,29		

Сопоставление органического стока лет очень высокой водности — периодов естественного (в 1955 г. 277 км³) и зарегулированного стока (в 1978 г. 277 км³) — свидетельствует об увеличении органического стока на 40 %. Таким образом, определяется следующая тенденция: разница в органическом стоке периода зарегулирования Волги (особенно последнего десятилетия интенсивного антропогенного воздействия) и периода естественного стока возрастает с увеличением водности сопоставляемых лет.

При наличии значительной положительной связи (как за все время наблюдений, так и в отдельные периоды) годового водного стока со стоком ОВ прямая функциональная зависимость между этими параметрами отсутствует. Сток ОВ зависит не только от годового водного стока, но и от его внутригодового распределения (от объема вод в половодье), а также частично от гидрологических условий предыдущего года (степени промытости затопляемых площадей). Поэтому сток ОВ в годы равной водности и одного периода не идентичен.

Период исследований в дельте Волги охватывает 1978—1981 гг. (в том числе экстремально многоводный 1979 г.) (табл. 5.3). Внутригодовое распределение органического стока в основном определяется внутригодовым распределением водного стока. В условиях зарегулированного стока и его попусков минимальный органический сток

Таблица 5.3

Внутригодовое распределение органического стока в 1978—1979 гг.

Месяц	Водный сток		Сток ОВ		Водный сток		Сток ОВ	
	км³	%	тыс. т	%	км³	%	тыс. т	%
	1978 г.				1979 г.			
Январь	18,5	7	595,2	7	20,2	6	683,4	7
Февраль	16,0	6	601,4	7	17,7	6	616,4	6
Март	21,2	8	818,4	10	26,6	8	643,2	6
Апрель	15,0	5	682,0	9	21,6	7	656,6	6
Май	46,6	17	880,4	11	55,8	18	1460,0	14
Июнь	26,4	10	539,4	7	68,7	22	1494,0	15
Июль	22,4	8	644,8	8	20,3	6	1005,0	10
Август	20,9	8	582,8	7	18,7	6	884,4	9
Сентябрь	17,1	6	446,4	6	19,3	6	604,0	8
Октябрь	21,4	8	570,4	7	16,3	5	670,0	7
Ноябрь	25,1	9	787,4	10	16,0	5	60,7	6
Декабрь	26,0	9	868,0	11	17,4	5	589,6	6
Всего за год	276,6	100	8016,8	100	318,6	100	10116,3	100

в общем соответствует месяцам минимального водного стока (хотя эта зависимость и не является прямолинейной). Максимальный сток ОВ приходится на паводковые воды, несмотря на пониженную концентрацию ОВ в них. В связи с временем прохождения основной массы паводковых вод он приурочен к маю или июню, когда за месяц сбрасывается до 15 %, а за весь период паводка до 30 % годового органического стока.

В 1978 г. минимальный водный и органический сток приходится на январь — февраль и сентябрь (6—7 % годового). Однако при абсолютном минимуме водного стока в апреле (5 % годового) на этот предпаводковый период поступления талых вод приходится 9 % органического стока. В экстремально многоводный 1979 г. минимальный органический сток наблюдался в осенне-зимний период и в общем соответствовал по времени низкому водному стоку (в месяц 5—6 % водного стока и 6—7 % органического стока от годового). Летний меженный период характеризуется умеренным органическим стоком, занимающим промежуточное положение между высоким паводковым и сравнительно низким осенне-зимним. Так, в летний меженный период 1979 г. низкий водный сток компенсировался высокими концентрациями ОВ в воде, что обусловило при водном стоке, составляющем 6 % в месяц от годового, достаточно большой вынос ОВ (в месяц 8—9 % от годового). В меженный период 1978 г. в верховье дельты в месяц поступало 7—8 % от годового органического стока.

Таким образом, внутригодовое распределение органического стока в верховье дельты в период зарегулирования определяется не только природными факторами, но и попусками воды из водохранилищ (об этом свидетельствует положительная связь между органическим и водным стоком). До некоторой степени сгладились сезонные характеристики органического стока по сравнению с периодом, когда внутригодовое распределение водного стока определялось только природными факторами.

В период интенсивного антропогенного воздействия органический сток в верховье дельты изменяется в широких пределах: 2,5—10 млн т в годы экстремальной водности (168 км³ в 1975 г., 319 км³ в 1979 г.), порядка 4,5 млн т при средней водности. В период зарегулирования около 15—20 % составляет сток ОВ, находящегося во взвешенной форме, и около 80—85 % ОВ в растворенной форме. В многоводные годы доля ОВ во взвешенной форме в стоке возрастает, что объясняется большей смывной активностью паводковых вод.

За период интенсивного антропогенного воздействия произошли не только количественные, но и качественные изменения стока ОВ с волжскими водами, поступающими в дельту, а затем в Северный Каспий. Возросли относительные доли автохтонного и антропогенного генезиса ОВ.

Существенное возрастание валового синтеза ОВ фитопланктоном в водохранилищах обусловлено не только интенсификацией продуцирования фитопланктона в более благоприятных для него условиях, но в значительной степени и резким увеличением «активно фотосинтезирующего» водного зеркала. Площадь водного зеркала Волги до сооружения каскада водохранилищ составляла около 6 тыс. км². После сооружения каскада волжских водохранилищ, по оценке В. И. Романенко [109], на площади водного зеркала 20,4 тыс. км² * создается фитопланктоном 2,47 млн т $C_{орг}$ в течение вегетационного периода продолжительностью около 180 сут, что составляет в среднем 120 г $C_{орг}$ на 1 м² в год, или 0,670 г $C_{орг}$ на 1 м² в сутки. Отсутствуют сведения по валовой продукции фитопланктона Волги до создания водохранилищ, но при условии аналогичной средней продуктивности фитопланктона на единицу площади она должна была бы быть в 3,5 раза меньше из-за сокращения площади водного зеркала. Фактически же средняя первичная продукция фитопланктона в речной период должна быть ниже и из-за менее благоприятных для его развития экологических условий в реке.

Поступление ОВ за счет смыва его с затопленных угодий и разложения затопленной растительности существенно возрастает только при заполнении водохранилища и в период формирования его гидрохимического режима (2—3 года), но затем

* Включая площадь водного зеркала Волго-Камского каскада — до 27,5 тыс. км².

оно снижается в результате уменьшения паводкового эффекта и аккумулятивных свойств водохранилищ.

Роль макрофитов в продуцировании ОВ в общем балансе ОВ водохранилищно-речной системы Волги не существенна, так как в большинстве водохранилищ пояс макрофитов выражен слабо вследствие значительно меняющихся уровней воды. Площадь зарастания водохранилищ составляет в среднем около 2 % (в пределах 0,9—6,0 %).

Несмотря на значительно возросшую роль фитопланктона после пуска каскада водохранилищ, в балансе превалирует аллохтонное ОВ, поступающее в основном в период паводка за счет смыва с затопленных угодий.

Чрезвычайно велика роль водохранилищ как аккумуляторов ОВ, о чем свидетельствуют как расчеты баланса ОВ, так и исследования грунтов.

Таким образом, взаимно компенсирующее комплексное воздействие противоположно направленных факторов в настоящее время не привело к существенному нарушению валового поступления ОВ с материка в дельту Волги.

5.2. Трансформация органического материкового стока в дельте Волги и на устьевом взморье

Как отмечалось в предыдущем разделе, органический сток в Северный Каспий складывается из аллохтонного ОВ, в значительной степени трансформируемого в дельте и авандельте, и автохтонного, продуцируемого в самой дельте и авандельте главным образом макрофитами и фитопланктоном. В результате как жизнедеятельности, так и разложения отмерших макрофитов и фитопланктона в воду поступают разнообразные органические соединения, соответствующие их химическому составу. Биохимический состав фитопланктона и макрофитов различен: в макрофитах наблюдается значительное преобладание углеводов, в фитопланктоне, наоборот, преобладает белковая составляющая. Аллохтонное ОВ терригенного генезиса, приносимое речными водами, более трансформировано, чем автохтонное, соотношение C : N в нем повышенное. Соответственно и биохимический состав ОВ (растворенного и взвешенного) в водах различных зон дельты, а также биохимический состав стока ОВ в Северный Каспий и его качественные сезонные изменения определяются преобладанием ОВ того или иного генезиса и степенью его трансформации.

Таким образом, концентрация и биохимический состав ОВ в волжских водах, поступающих в Северный Каспий, их сезонная и многолетняя динамика определяются интегральным взаимодействием комплекса факторов. К ним, прежде всего, относится поступление с речными водами в верховье дельты, биопродукционные и деструкционные процессы, способствующие перераспределению ОВ между зонами дельты и средой вода — грунт. Превалирование тех или иных процессов определяется сезонным ходом и спецификой зон дельты. В целом для дельты и устьевого взморья характерно усиление контакта речных вод с почвогрунтами (вследствие разлива вод, ветвления русел, протоков, возникновения култуков, полоев), уменьшение скоростей течений, хорошая прогреваемость, активизация биологических процессов. Вследствие этого, с одной стороны, возрастает вымываемость ОВ из почв и грунтов, с другой — увеличивается его отложение в грунты. Интенсификация фотосинтетических процессов способствует не только продуцированию автохтонного ОВ, но и активному вовлечению в биотический круговорот и переводу в органические соединения растворенных минеральных форм биогенных элементов, выносимых речными водами в море.

Для дельты характерна зональность интенсивности и направленности физических и биологических процессов, связанная со спецификой ее различных частей. Морской край авандельты отличается своеобразием протекающих процессов, обусловленных здесь стыковкой морских и речных вод.

Процессы трансформации ОВ, его биохимический состав и генетическая природа в дельте и авандельте Волги ранее практически не изучались. Процессы эти впервые были исследованы в период 1978—1981 гг. и охарактеризовать их можно только на примере этих лет, включивших разные по водности и характеристикам паводка годы.

5.2.1. Биохимический состав органического вещества и его трансформация

В пределах дельты и авандельты органический материковый сток на пути следования от верхнего замыкающего створа к морю претерпевает как количественные, так и качественные изменения. В паводковый период превалирующую роль в этих преобразованиях играют физические процессы. В послепаводковый (спад весеннего половодья) и летний периоды возрастает роль биологических процессов, когда на пути речных вод к морю в нижней части дельты и авандельты активно действует «биофильтр». В осенний и особенно в зимний периоды интенсивность трансформирующей роли дельты и авандельты затухает.

Содержание ОВ в речных водах, поступающих в дельту (верхний замыкающий створ — с. Верхнее Лебяжье), минимальное в зимний период, особенно в конце гидрологической зимы (20—25 мг/л), возрастает в паводковых водах до ~ 30 мг/л и более, достигая максимума летом, особенно в разгар фотосинтетической активности (~ 35—40 мг/л), и затем понижается осенью до 20—30 мг/л (табл. 5.4).* Средние концентрации ОВ в дельте соответственно в указанные периоды 1979 г. (наиболее детальные исследования) составляют соответственно 28, 30, 40 и 20 мг/л. Амплитуда сезонных колебаний концентраций ОВ в водах, поступающих в верховье дельты, сравнительно невелика, обычно максимум превышает минимум не более чем в 2 раза.

Как показали исследования, концентрации ОВ в водах верхнего замыкающего створа дельты Волги (с. Верхнее Лебяжье) не идентичны концентрациям ОВ в водах нижней зоны дельты и в водах, выносимых в Северный Каспий. Эти различия обусловлены тем, что процессы биосинтеза первичного ОВ и его окисления, а также физические процессы захоронения ОВ в грунты за счет снижения

* Максимальное же валовое количество ОВ поступает с речными водами в дельту в период паводка (до 30 % годового поступления ОВ).

Таблица 5.4

Изменение во времени характеристик ОВ в водах дельты и авандельты Волги по зонам

Зона	Окисляемость, мг/л		ПО/БО %	Содержание ОВ (рассчитанное по БО), мг/л	Групповой состав ОВ, мг/л		Элементный состав ОВ, мг/л			Энергоемкость Q	
	бихроматная (БО)	перманганатная (ПО)			углеводы	белки	$C_{орг}$	$N_{орг}$	$P_{орг}$	Дж/л	кДж/г
Послепаводковый период (июнь 1978 г.)											
I	27,7	5,15	19	20,8	—	1,8	10,4	0,39	—	393	19,20
II_3	47,3	8,5	18	35,5	38,0	3,4	17,7	0,56	—	665	18,73
III_3	52,0	10,0	20	39,0	40,0	6,3	19,5	1,0	—	732	18,78
IV_3	53,0	10,3	19	39,8	39,3	8,1	19,9	1,30	—	761	19,11
V_3	49,1	10,5	21	36,8	47,0	1,2	18,4	0,18	—	682	18,53
Лето (июль 1978 г.)											
III_3	41,4	—	—	30,8	—	—	15,4	0,65	—	585	18,99
IV_3	28,8	—	—	21,6	—	—	10,8	0,23	—	401	18,57
V_3	35,2	—	—	26,4	—	—	13,2	0,26	—	489	18,53
Осень (октябрь 1978 г.)											
I	11,3	2,9	26	8,5	—	3,4	4,2	0,60	0,01	171	20,16
II_3	21,0	5,2	25	15,8	6,2	2,6	7,9	0,42	0,03	301	19,07
$II_в$	39,0	7,5	19	29,2	5,8	3,9	14,6	0,62	0,01	552	18,90
III_3	42,4	8,2	19	31,8	4,2	2,6	15,9	0,41	0,01	594	18,69
$III_в$	22,6	—	—	16,9	6,4	3,2	8,5	0,51	0,03	322	19,07
IV_3	38,9	—	—	29,2	4,6	2,4	14,6	0,38	0,01	544	18,61
$IV_в$	31,4	5,3	17	23,6	5,8	4,8	11,8	0,77	0,03	452	19,15
V_3	33,9	—	—	26,5	6,1	1,7	12,7	0,27	0,03	473	18,53
$V_в$	51,2	6,2	12	38,4	—	4,5	19,2	0,30	0,01	715	18,61
Зима (март 1979 г.)											
I	33,5	10,4	31	25,1	—	0,6	12,6	0,13	0,02	468	18,65
II_3	35,3	11,7	33	26,6	1,6	7,5	13,3	1,20	0,01	514	19,32
$II_в$	37,3	11,0	29	28,0	2,9	6,3	14,0	1,00	0,01	535	19,11
III_3	33,2	11,2	34	24,9	4,3	2,0	12,5	0,43	0,01	468	18,82
$III_в$	33,3	9,6	29	25,0	9,9	3,8	12,5	0,60	0,04	473	18,90
IV_3	38,8	12,6	32	29,2	9,4	5,0	14,6	0,89	0,03	544	18,61
$IV_в$	40,6	11,5	28	30,5	10,3	3,1	15,3	0,59	0,04	573	18,78
V_3	31,6	11,5	36	23,7	2,9	5,0	11,9	0,80	0,01	452	19,07
$V_в$	53,2	10,7	20	39,8	2,8	7,5	19,9	1,20	0,02	765	19,24
Паводок (пик — июнь 1979 г.)											
I	40,8	4,8	10	30,0	14,8	8,9	15,3	2,20	0,04	615	20,07
II_3	42,9	5,5	13	32,2	14,4	8,4	16,1	1,20	0,15	623	19,36
$II_в$	37,1	7,6	21	27,8	13,3	7,8	13,9	0,30	0,01	519	18,65
III_3	44,4	5,4	15	33,3	13,2	8,8	16,7	1,10	0,06	640	19,20
$III_в$	35,0	5,0	14	26,3	13,4	6,6	13,1	1,30	0,01	519	19,70
IV_3	40,4	6,2	15	30,0	15,8	—	15,2	2,00	0,03	602	19,86
$IV_в$	31,1	4,45	14	23,3	13,8	3,9	11,7	—	—	—	—
V_3	37,2	4,76	15	27,9	14,1	8,9	14,0	2,02	0,05	560	20,07
$V_в$	39,8	5,50	14	29,8	13,7	14,2	14,9	—	—	—	—
Лето (август 1979 г.)											
I	64,3	5,5	8	48,3	2,9	10,3	24,1	0,16	0,35	891	18,44
II_3	47,0	6,6	14	35,3	4,9	10,7	17,7	2,06	0,44	694	19,65
$II_в$	44,2	6,9	16	33,2	3,7	10,3	16,6	—	0,35	—	—
III_3	51,9	6,7	11	38,9	4,2	11,0	19,5	0,80	0,22	732	18,82
$III_в$	51,9	5,5	10	38,9	5,2	10,4	19,5	—	0,30	—	—
IV_3	51,0	6,5	12	38,2	4,7	10,6	19,1	1,74	0,08	744	19,49
$IV_в$	59,1	5,6	11	44,3	4,7	10,3	22,2	—	0,08	—	—
V_3	48,6	6,4	11	36,4	9,2	9,8	18,2	0,50	0,23	682	18,73
$V_в$	58,2	5,8	10	43,6	6,4	10,6	21,8	—	0,44	—	—
Осень (октябрь 1979 г.)											
I	44,2	6,6	15	33,2	9,4	6,2	16,5	—	0,06	—	—
II_3	51,5	7,6	15	38,6	9,2	6,5	19,3	—	0,06	—	—
$II_в$	50,4	7,3	7	37,8	9,1	6,5	18,9	—	0,05	—	—
III_3	42,6	7,3	18	31,9	9,1	5,9	16,0	—	0,05	—	—
$III_в$	47,0	7,4	16	35,3	9,3	6,3	17,6	—	0,08	—	—
IV_3	34,4	7,4	22	25,8	9,1	4,4	12,2	—	0,05	—	—
V_3	34,1	—	—	25,6	9,1	5,9	12,8	—	—	—	—
$V_в$	40,9	7,1	17	30,6	9,4	5,1	15,3	—	—	—	—

Зона	Окисляемость, мг/л		ПО/БО %	Содержание ОВ (рассчитанное по БО), мг/л	Групповой состав ОВ, мг/л		Элементный состав ОВ, мг/л			Энергоемкость Q	
	бихроматная (БО)	перманганатная (ПО)			углеводы	белки	$C_{орг}$	$N_{орг}$	$P_{орг}$	Дж/л	кДж/г
Зима (январь 1980 г.)											
I	33,8	6,8	20	25,4	7,9	4,4	12,7	—	—	—	—
$II_з$	28,5	7,1	25	21,4	9,1	4,4	10,7	—	—	—	—
$II_в$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$III_з$	32,2	7,2	22	24,2	7,7	4,6	12,1	—	—	—	—
$III_в$	34,2	7,4	22	25,7	7,2	4,4	12,8	—	—	—	—
$IV_з$	39,0	7,5	10	29,3	6,8	4,5	14,6	—	—	—	—
$IV_в$	26,1	—	—	19,6	7,1	4,2	9,8	—	—	—	—
$V_в$	30,4	7,7	25	22,8	7,5	4,4	11,4	—	—	—	—
Зима (март 1981 г.)											
I	32,5	7,8	24	25,4	9,1	8,4	12,7	—	—	—	—
$II_з$	37,8	9,3	25	28,4	11,4	10,5	14,2	—	—	—	—
$II_в$	34,7	7,6	22	26,0	11,3	10,3	13,0	—	—	—	—
$III_з$	37,8	5,4	14	28,4	11,3	10,6	14,2	—	—	—	—
$III_в$	31,9	6,5	20	24,1	10,1	10,6	9,9	—	—	—	—
$IV_з$	59,6	10,5	18	44,6	14,1	8,7	22,3	—	—	—	—
$IV_в$	46,0	10,1	22	34,6	11,7	9,0	17,3	—	—	—	—
Паводок (июнь 1981 г.)											
I	35,9	6,1	16	27,0	15,1	10,4	13,5	—	—	—	—
$II_з$	40,3	6,4	16	30,2	13,3	12,4	16,1	—	—	—	—
$II_в$	37,7	7,2	19	28,2	14,5	12,0	14,1	—	—	—	—
$III_з$	32,5	4,6	14	24,2	13,1	9,4	12,1	—	—	—	—
$III_в$	33,2	5,0	15	25,0	13,3	12,4	12,5	—	—	—	—
$IV_з$	32,5	4,6	14	24,2	12,8	8,6	12,2	—	—	—	—
$IV_в$	37,3	3,5	10	24,4	13,8	10,1	14,5	—	—	—	—
Осень (сентябрь—октябрь 1981 г.)											
I	32,1	4,6	14	24,6	9,5	9,0	12,3	—	—	—	—
$II_з$	37,0	5,6	14	27,8	10,6	9,6	13,9	—	—	—	—
$II_в$	34,5	4,6	13	24,1	10,5	9,5	12,0	—	—	—	—
$III_з$	39,3	5,1	13	27,8	11,0	9,9	13,9	—	—	—	—
$III_в$	35,6	4,2	10	26,0	10,9	10,0	13,0	—	—	—	—
$IV_з$	44,5	5,3	12	33,4	11,5	10,6	16,7	—	—	—	—
$IV_в$	40,0	3,6	10	31,4	10,7	10,5	15,7	—	—	—	—
$V_з$	42,0	5,5	13	31,6	11,0	9,0	15,8	—	—	—	—
$V_в$	44,0	5,3	12	33,0	10,8	10,8	16,5	—	—	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 5.5 в 1-й графе индексы «з» и «в» соответствуют западной и восточной частям дельты.

скоростей течения наиболее активно протекают на мелководных участках низовьев дельты Волги и устьевого взморья. Физические процессы вымывания ОВ из грунтов протекают с разной степенью эффективности в различных зонах дельты. Степень зональных различий концентраций ОВ в водах дельты изменяется по сезонам года.

Зимний период. Это время биологической «спячки» фитопланктона и макрофитов и ослабления деструкционных процессов. Минимальна в этот период и роль физических процессов. Поэтому зональные различия в концентрации ОВ и его биохимического состава в водах дельты зимой также несущественны (см. табл. 5.4). Однако можно отметить, что в водах восточной части дельты, отличающейся большей зарастаемостью и меньшей проточностью, концентрации ОВ выше, чем в западной. Содержание ОВ несколько снижается в зоне III вследствие седиментационных процессов, а в низовье дельты (зоны IV и V) опять повышается в основном за счет поступления ОВ из грунтов, особенно в восточной части дельты. Слабая фотосинтетическая деятельность фитопланктона, начинающаяся в конце гидрологической зимы в низовье дельты, очевидно, существенной роли в повышении концентрации ОВ в воде не играет. Таким образом, в результате следования вод через дельту общее содержание ОВ лишь незначительно возрастает от верхнего замыкающего створа (25 мг/л) к нижней зоне дельты, где в култуках и аванделъте может повышаться до 30 мг/л, местами — до 40 мг/л. В русловых же участках средней и нижней зоны содержание ОВ в водах весьма монотонно и варьирует в основном в тех же пределах, что и в речных водах, поступающих в верховье дельты (20—27 мг/л). Концентрации ОВ в поверхностных и придонных водах также практически равнозначны. Высокая окисляемость перманганатом (в среднем ~ 30 % от бихроматной) свидетельствует о преобладании трансформированного аллохтонного ОВ почвенного генезиса. Некоторое понижение отношений ПО/БО и C : N в аванделъте указывает на возрастание здесь доли автохтонного ОВ. В целом для дельты зимой углеводная составляющая достаточно высокая (~ 35—40 %, уступает только паводковым водам) и вдвое превышает белковый компонент (~ 23 %). Это также свидетельствует о том, что ОВ имеет в основном терригенное происхождение и значительно трансформировано (см. табл. 5.4). Средняя концентрация углеводов в во-

дах дельты в конце гидрологической зимы — порядка 9,5 (1979 г.) — 7,5 мг/л (1980 г.); белков — соответственно 5,5—4,5 мг/л.

Паводковый период. В пик паводка воды в верховье дельты прогреты до 15 °С и выше; температура воды в полоях, култуках и авандельте может достигать 20 °С и более. Поэтому в данный период, наряду с физическими факторами в распределении ОВ, достаточно активную роль играют и биохимические процессы, особенно в низовье дельты. Поскольку с паводковыми водами в Северный Каспий поступает значительная часть годового органического стока (в 1979 г. 30 %), его трансформация в дельте в этот период имеет большое значение.

При прохождении речных паводковых вод от верхнего замыкающего створа дельты к морю в результате совокупности разнонаправленных процессов и специфических особенностей зон дельты, а также западной и восточной ее частей отмечен ряд изменений в органическом материковом стоке в море.

Для западной части дельты с высокими скоростями течений, пропускающей основную массу паводковых вод, характерно нарастание концентрации ОВ при прохождении зон II и III за счет интенсивного вымывания ОВ из почвогрунтов (в среднем 30 мг/л в зоне I, 32 мг/л в зоне II, 33 мг/л в зоне III). Отмечено понижение содержания ОВ в зоне IV (до уровня зоны I — 30 мг/л) и дальнейшее снижение в авандельте (зона V — до 28 мг/л) за счет уменьшения скоростей течений и превалирования седиментационных процессов.

Для менее обводненной восточной части дельты характерно последовательное снижение содержания ОВ в паводковых водах от зоны I к зонам II, III и IV (средние концентрации ОВ соответственно 30, 27, 26 и 23 мг/л) за счет превалирования седиментационных процессов во всех этих зонах. Однако в авандельте отмечено увеличение концентрации ОВ до уровня, близкого верховью дельты (30 мг/л), очевидно, в основном за счет разложения прошлогодних макрофитов и активизации процессов фотосинтеза.

Эти особенности трансформации органического материкового стока в многоводный паводок обусловлены превалированием процессов вымывания ОВ из почвогрунтов в зонах I, II и III западной части дельты над седиментационными. В то же время во всех зонах восточной части дельты, отличающейся значительной зарастаемостью и меньшими скоростями течений, а также в зоне IV западной части преобладают седиментационные процессы.

В целом же преобразование органического материкового стока в Северный Каспий в паводок определяется процессами, протекающими в западной части дельты, через которую следует значительно больший объем паводковых вод по сравнению с менее обводненной восточной частью. Вследствие превалирования процессов вымывания ОВ из почвогрунтов в верхней и средней зоне западной части дельты (несмотря на преобладание аккумулятивных процессов в средней зоне восточной части) в нижнюю зону дельты (IV) в сумме поступает ОВ в большем количестве, чем в верховье дельты. Вся нижняя зона дельты (IV) является аккумулятивной. Паводковые воды, следуя через нее, обедняются органическим веществом, и в авандельту (зона V) поступает в паводок меньше ОВ, чем в верховье дельты. В водах авандельты в целом содержание ОВ еще ниже, чем в зоне IV. Превалирование аккумулятивных процессов в западной части авандельты не компенсируется некоторым увеличением концентрации ОВ в восточной части авандельты.

Таким образом, в результате трансформации органического материкового стока в дельте и авандельте Волги в Северный Каспий с паводковыми водами поступает меньше ОВ, чем в верховье дельты. При этом происходит некоторое перераспределение органического стока между западной и восточной частью. Большая доля ОВ поступает в западную часть Северного Каспия.

В паводковых водах преобладает растворенное ОВ (в среднем 85 %), доля взвешенного ОВ составляет 15 %. По биохимическому составу ОВ почти наполовину (в среднем на 45 %) состоит из углеводов и на 28 % — из белков. Углеводная составляющая ОВ имеет тенденцию к уменьшению по мере следования паводковых вод от верхнего замыкающего створа (50 %) к авандельте (30—45 %) (см. табл. 5.4). В паводковых водах в дельте среднее содержание углеводов ~ 14 мг/л, белков ~ 9 мг/л. Судя по значительному преобладанию углеводной части ОВ над белковой, ОВ в паводковых водах — в основном терригенного генезиса.

Летний период характеризуется максимальным проявлением трансформирующей роли биологических процессов, особенно в нижней зоне дельты, где в действие активно вступает «биофильтр». Уже в послепаводковый период, когда вода достаточно прогрета, а количество минерального взвешенного вещества уменьшилось, что привело к проникновению солнечной радиации на большую глубину, продуктивность фитопланктона достигает высоких значений (см. табл. 5.4). В это время наступает период интенсивной отдачи ОВ в воду за счет разложения отмерших (прошлогодних) макрофитов. В августе, когда результирующая летних процессов достигает апогея, содержание ОВ в воде всех зон дельты весьма высокое — превышает 30 мг/л, а на многих станциях $\gg$35 мг/л. Средняя концентрация ОВ в водах дельты в августе 1979 г. возросла до 40 мг/л по сравнению со средними концентрациями в зимний период и в пик паводка, которые составляли соответственно 28 и 30 мг/л (см. табл. 5.4). Более высоким содержанием ОВ отличаются воды менее обводненной и более заросшей восточной части дельты, где средняя его концентрация в августе выше, чем в западной части (37 мг/л), и достигает 40,0 мг/л. Особенно богаты ОВ воды низовья восточной части, где его концентрация в августе превышает 40 мг/л (см. табл. 5.4). Изменяется и биохимический состав ОВ: содержание углеводов относительно понизилось, поскольку возросла доля ОВ планктонного генезиса. Белковая составляющая ОВ в августе в водах дельты в среднем близка к 30 %, что, однако, значительно ниже, чем в фитопланктоне, в котором в среднем ~ 50 % белка. Это свидетельствует о значительной доле в водах дельты трансформированного ОВ. Концентрация белка в водах дельты в августе составляет в среднем ~ 10,5 мг/л (см. табл. 5.4). Органический сток в августе 1979 г. в зоне I несколько выше органического стока зоны V, причем летом в дельте происходит некоторое перераспре-

деление речного органического стока в Каспий между западом и востоком. В восточную часть Северного Каспия ОВ поступает непропорционально больше на единицу водного стока, чем в западную.

Осенний период. С наступлением осени и постепенным угасанием фотосинтетических процессов содержание ОВ в водах дельты понижается. В октябре, когда русловые воды охладились до 10—14 °С, а в култуках и аванделыте — до 10 °С, деструкционные процессы превалируют над продукционными (см. табл. 5.4). Средняя концентрация ОВ в водах дельты в октябре понизилась в 1978 г. до 24 мг/л, а в 1979 г. до 32 мг/л. Наиболее высокое содержаиие ОВ отмечено в этот период в зоне дельты II, а наиболее низкое — в низовье дельты (за исключением зоны V восточной части в 1978 г.). Белковая составляющая ОВ значительно понизилась сравнительно с летним пернодом, так же как и средняя концентрация белков в водах дельты (в октябре 1979 г. 6 мг/л, а в 1978 г. еще ниже) (см. табл. 5.4).

Для качественной характеристики ОВ природных вод, кроме его элементного и группового состава, хорошими показателями служат впервые широко примененные Б. А. Скопинцевым [119] расчетные значения отношений C : N, C : P, C : N : P и ПО/БО. Отношение $C_{орг} : N_{орг}$ варьирует в природных водах в пределах 8—36, наиболее часто встречаются воды с соотношением 10—15. Высокие значения C : N характерны для вод, вытекающих из болот, которые богаты окрашенным гумусом. Наоборот, воды с низкими отношениями C : N слабо окрашены, обеднены органическим веществом, главным образом планктонного происхождения (автохтонное). Такое распределение не случайно, так как в исходных веществах, из которых образуется растворенное ОВ, отношение C : N колеблется примерно в аналогичных пределах: 5—7 в планктонных организмах, 8—12 в гумусе почв, 20—40 в водных и наземных растениях.

В водах дельты и устьевого взморья Волги отношение $C_{орг} : N_{орг}$ варьирует по сезонам и зонам дельты в довольно широких пределах, но чаще всего средние зональные отношения C : N лежат в интервале 15—30, реже — в интервале 10—40 (см. табл. 5.4). Таким образом, отношения C : N в составе ОВ в дельте также свидетельствуют о преобладании ОВ растительного происхождения.

Данные по соотношению между органическим углеродом и фосфором ($C_{орг} : P_{орг}$) показывают, что наиболее низкие его значения (~ 150) свойственны неокрашенным озерным водам с низким содержанием ОВ, главным образом планктонного происхождения. Высокие значения отношения C : P (> 500) наблюдаются в водах, богатых ОВ и преимущественно сильно окрашенных. Отношения C : P в планктоне значительно меньше, чем в высших растениях. Низкие значения C : P соответствуют низким отношениям C : N; высокие значения и C : N, и C : P свойственны трансформированному ОВ, особенно болотному гумусу.

В водах дельты Волги значения отношения C : P, как правило, > 200 (а в зимний период и в паводок > 500) и показывают, так же как и отношения C : N, большую роль ОВ растительного происхождения.

Соотношение перманганатной и бихроматной окисляемости (ПО/БО) служит качественной характеристикой ОВ, так как бихроматом окисляется практически все ОВ природных вод (> 90 %), а степень окисления перманганатом калия зависит от качественного состава ОВ. Установлено, что наиболее полно окисляются перманганатом органические соединения, стойкие в биохимическом отношении (например, гуминовая кислота). Перманганатная окисляемость составляет от 40 до 60 % от БО в водах, богатых гуминовыми соединениями, и в почвенных вытяжках, содержащих стойкие ОВ. Наименьшая степень окисления перманганатом — в водах со свежими, нетрансформированными органическими соединениями типа белков и жиров.

Исследования в водах дельты и устьевого взморья Волги показали четкий сезонный ход соотношения ПО/БО, отражающий сезонный ход в волжском стоке, качественного состава ОВ (см. табл. 5.4). Низкие значения отношения ПО/БО ($\sim$ 10—15 %) наблюдаются в летний период, когда велика доля нетрансформированного ОВ планктонного происхождения. Осенью, когда деструкционные процессы начинают превалировать над продукционными, значения ПО/БО увеличиваются, достигая в октябре 15—20 %. Еще более они повышаются к середине зимы (в январе $\sim$ 20—25 %) и достигают максимума в конце гидрологической зимы — в марте (в среднем $\sim$ 30 %), что согласуется с отсутствием в воде свежего ОВ. В паводковый период, когда наряду с интенсивным поступлением в воду ОВ терригенного генезиса достаточно интенсивно и продуцирование его фитопланктоном, отношение ПО/БО снижается, что указывает на наличие в воде свежего, нетрасформированного ОВ.

Таким образом, элементный (C : N : P) и групповой состав ОВ, а также косвенные его характеристики (ПО/БО) отражают сезонные изменения качественного состава стока ОВ в водах дельты и устьевого взморья Волги.

Сведения о содержании ОВ и его сезонной динамике в водах Северного Каспия весьма малочисленны, а данные о его биохимическом составе практически отсутствуют.

В Северном Каспии максимальиое содержание ОВ в водах предустьевого пространства приходится на разгар паводка, когда выносится огромное количество ОВ как в растворенной, так и во взвешенной форме. В июне, по данным КаспНИРХа, среднее содержание растворенного ОВ в водах Северного Каспия составляло $\sim$12 мг/л [69]. В июне и августе наиболее высокие концентрации ОВ отмечены в западной части к югу от аванделыты, меньшие — в центральной части Северного Каспия. В целом по Северному Каспию концентрации ОВ варьировали в широких пределах: растворенного — от 2 до 40 мг/л и взвешенного — от 2 до 5 мг/л.

Повышенные концентрации ОВ в водах Северного Каспия наблюдаются в непосредственной близости к месту впадения Волги (в летний период порядка 20 мг/л), но и здесь они вдвое ниже, чем в водах низовьев дельты. Резкое снижение концентрации ОВ отмечено на свале глубин (до 10 мг/л).

Органическое вещество, как взвешенное, так и растворенное в природных водах, является источником питания гетеротрофных бактерий, которые, структурируя его, делают доступным для питания последующих звеньев трофической цепи (зоопланк-

тона, личинок). Питательная ценность ОВ характеризуется его энергоемкостью, под которой подразумевается энергетический запас. Энергоемкость ОВ определяется не только его количеством, но и биохимическим составом. Э. С. Бикбулатовым [14] на основе уравнения классической термохимии и стехиометрических уравнений окисления ОВ выведена зависимость, позволяющая рассчитать энергетический запас ОВ по бихроматной окисляемости и содержанию органического азота

$$Q = 3{,}3\text{ХПК} + 5{,}5\text{N},$$

где Q — энергоемкость; ХПК — бихроматная окисляемость, мг/л атомарного кислорода; N — содержание органического азота, мг/л.

Результаты расчетов по формуле соответствуют экспериментальным данным, полученным при сожжении ОВ в калориметрической бомбе.

В табл. 5.4 приведены средние зональные характеристики энергетического запаса (калорийности) ОВ в воде дельты и авандельты Волги по сезонам. Значения Q приводятся как в кал/л (для оценки энергетического запаса ОВ в единице объема воды), так и в ккал/г ОВ (для оценки зональной и сезонной изменчивости питательной ценности органического вещества). Средние зональные значения калорийности ОВ в водах дельты и авандельты Волги варьировали в период исследований в пределах 40—180 кал/л, или 4,4—4,8 ккал/г. Наиболее низкая калорийность ОВ в единице объема (кал/л) обычно наблюдалась в речных водах, поступающих в верховье дельты, и возрастала к зонам III и IV, что в основном обусловлено увеличением концентрации ОВ. В сезонном аспекте наиболее низкой калорийностью отличаются воды дельты Волги в осенне-зимний период. В паводковый период калорийность возрастает и достигает наиболее высоких значений летом. Высокой калорийностью характеризовались воды дельты и авандельты в многоводном 1979 г., более низкой — в 1978 г. В целом зональная, сезонная и межгодовая изменчивость энергетического запаса ОВ в водах дельты и авандельты Волги определяется в основном изменчивостью его концентраций в воде и в меньшей степени изменчивостью биохимического состава.

Таким образом, исследования показали, что концентрация и биохимический состав ОВ в речных водах, поступающих в верховье дельты, авандельты и в месте непосредственного впадения Волги в Северный Каспий, неидентичны. Зональные различия обусловлены интенсивностью и направленностью комплекса внутриводоемных процессов, специфичных для различных зон дельты. Степень и характер зональных различий ОВ изменяются по сезонам, а также зависят от гидрологических особенностей года.

Физические процессы вымывания ОВ из почвогрунтов наиболее характерны для верхних зон западной и восточной частей дельты, особенно в паводковый период. Седиментационные аккумулятивные процессы наиболее выражены в низовье дельты в результате гашения скоростей течений. Доля автохтонного ОВ в вегетационный период также выше в мелководье низовья дельты и устьевого взморья по сравнению с русловыми водами, особенно верхних и средних зон.

Максимальные концентрации ОВ в стоковых водах дельты характерны для летнего меженного периода (средние зональные концентрации ОВ достигают 30—35 мг/л); несколько более низкие концентрации наблюдаются в осенний период и минимальные — зимой (средние зональные концентрации составляют 20—30 мг/л). В вегетационный период, особенно летом, повышается доля белковой составляющей ОВ, в зимний период — углеводной. В водах дельты и авандельты отношение C : N, характеризующее биохимический состав ОВ, варьирует по зонам и сезонам в основном в пределах 15—30, реже от 10 до 40. Отношение C : P в ОВ, как правило, > 200, а в зимний период > 500. Эти данные свидетельствуют о преобладании ОВ растительного происхождения. В водах дельты и устьевого взморья растворенное ОВ (~ 85 %) преобладает над взвешенным.

В совокупности разнонаправленных физических, химических и биологических процессов, протекающих в дельте и авандельте Волги, в годовом аспекте доминируют процессы, ведущие к обогащению вод органическим веществом (в среднем на 10—20 %). Однако обогащение речных вод материкового стока органическим веществом в дельте не приводит к увеличению органического стока в Северный Каспий, поскольку значительная часть ОВ аккумулируется в низовье дельты. В результате трансформации в дельте органический материковый сток претерпевает качественные изменения: ОВ, поступающее в Северный Каспий, несколько богаче азотной составляющей по сравнению с ОВ вод, поступающих в верховье дельты.

5.2.2. Роль продукционно-деструкционных процессов в трансформации стока органического вещества в дельте Волги и на устьевом взморье

Важнейшим фактором преобразования органического материкового стока в дельте и на устьевом взморье Волги являются интенсивные фотосинтетические процессы — первичный синтез органической материи и бактериальная деструкция ОВ, а также степень их сбалансированности. Как известно, углерод является самым технофильным элементом, и антропогенное воздействие на водные экосистемы проявляется прежде всего в нарушении сбалансированности продукционно-деструкционных процессов.

Направленность продукционно-деструкционных процессов и их интенсивность определяются особенностями экосистемы, биотой и условиями среды, подверженным к тому же сезонной и межгодовой изменчивости. Особенностью рассматриваемого региона является прежде всего наличие двух экосистем различного типа: водотоков и водоемов с присущей им спецификой, причем последние можно подразделять на открытые и заросшие водными макрофитами. Большая часть дельты представляет собой сушу, пронизанную многочисленными протоками (разветвленность которых увеличивается от зоны I к зоне III; в култуки впадает около 800 протоков), и только в весенне-летнее половодье она подвергается затоплению паводковыми водами, образующими полойные водоемы. Речная сеть дельты, состоящая главным образом из протоков, занимает около 6,5 % площади всей дельты.

Акватория култучной зоны и авандельты является постоянным водоемом.

Соотношение между продуцирующимся ОВ и подвергающимся деструкции в различных типах экосистемы дельты и авандельты неодинаково (табл. 5.5).

На русловых участках вследствие высокой мутности (прозрачность по диску Секки в них колеблется в основном от 0,25 до 0,60 м при глубине от 4 до 18 м) процессы фотосинтеза протекают только в тонком поверхностном слое, составляющем не более 10 % водной массы. В остальном объеме русловых вод протекают процессы деструкции органической материи.

В мелководных водоемах нижней зоны дельты (култуки) и в авандельте, а также в полойных водоемах в результате разлива вод и гашения скоростей течений нередко прозрачность увеличивается до дна (1,6 м при глубине 0,6 м). Доля «плоскостного» стока вод в нижней зоне дельты достигает 70—80 % (доля руслового стока составляет лишь 20—30 %); при этом с увеличением водности роль русел (каналов) в поставке водного стока уменьшается, а «плоскостного» стока возрастает. Таким образом, при среднем годовом водном стоке 235 км³ за период вегетации проходит в среднем порядка 153 км³ вод (65 % годового стока), 70—80 % из этого объема вод составляет «плоскостной» сток, равный 110—120 км³. Этот объем при прохождении нижней зоны дельты и авандельты является «фотосинтезирующим», к нему приплюсовываются около 4 км³ поверхностных («фотосинтезирующих») вод, поступающих по каналам. Эти ориентировочные расчеты позволяют приближенно установить, что за вегетационный период через нижнюю зону дельты и авандельты в средневодный год следует порядка 115—125 км³ вод, «фотосинтезирующих» на пути следования в период прохождения этой зоны.

Водная масса, составляющая около 110—120 км³ в год, при следовании через эту зону является только «деструкционной». При прохождении через верхнюю и среднюю зоны в вегетационный период (в средневодный год) около 15 км³ вод являются «фотосинтезирующими», около 135 км³ вод — «деструкционными» (в год же около 220 км³). При этом учитывались только продукционно-деструкционные процессы, протекающие в водной толще. Деструкция ОВ в грунтах (главным образом остатков макрофитов предыдущего вегетационного периода) не изучалась.

В январе — феврале фитопланктон дельты беден и состоит исключительно из диатомовых. С повышением температуры воды весной в мелководных зонах дельты массовое развитие диатомовых наблюдается уже в марте, в русловых участках — позднее. В массе диатомовые встречаются перед началом половодья, в марте — апреле, но затем их количество снижается. В марте появляются зеленые водоросли, их максимум приходится на июль, но они количественно уступают сине-зеленым и диатомовым. Концентрация диатомовых с июня — июля (в зависимости от водности года) снова возрастает и достигает максимума в августе — сентябре. Августовский максимум концентрации фитопланктона обусловлен максимумом развития сине-зеленых и диатомовых. Осенью развитие водорослей замедляется.

Интенсивность продуктивности фитопланктона — функция многих переменных факторов, таких, как количество фитопланктонных водорослей, их таксономическая принадлежность и физиологическое состояние, которые, в свою очередь, определяются экологическими условиями среды обитания: интенсивностью падающей и проникающей солнечной радиации, прозрачностью и температурой воды, обеспеченностью питательными солями.

Характеристики количественного и качественного состава растительных пигментов широко применяются для оценки биомассы, продукции, физиологического состояния фитопланктона, а также при оценках экологического плана.

Главный класс фотосинтезирующих растительных пигментов представлен хлорофиллами «а», «в», «с», их содержание в растительных организмах варьирует в пределах 0,1—1,3 % на сухую массу растений.

В качестве физиологического индекса фитопланктона применяется соотношение хлорофилла «а» и суммы пигментов, так как в теряющих фотосинтетическую активность клетках фитопланктона хлорофилл «а» распадается быстрее, чем хлорофилл «в» и каратиноиды [145, 150, 152]. Соотношение различных форм хлорофилла («а», «в», «с») изменяется одновременно с видовым составом фитопланктона.

Содержание растительных пигментов и их форм в дельте и на устьевом взморье Волги изменяется в довольно широких пределах (см. табл. 5.5). Максимальные концентрации как суммы пигментов, так и хлорофиллов и каратиноидов наблюдаются в период наиболее активной фотосинтетической деятельности фитопланктона — в июне — августе, когда средние месячные концентрации хлорофиллов в среднем для дельты и устьевого взморья составляют более 20 мкг/л, в отдельные периоды — 30 мкг/л; концентрация каратиноидов — 20—35 мкг/л. Внутригодовая динамика осредненных для дельты характеристик растительных пигментов представлена в табл. 5.6.

С наступлением осени, когда деструкционные процессы превалируют над продукционными и преобладает трансформированное ОВ, концентрация растительных пигментов понижается, и в октябре среднее содержание хлорофиллов в дельте составляет 10 мкг/л. Минимум растительных пигментов в водах дельты и устьевого взморья Волги наблюдается зимой — средние концентрации хлорофиллов и каратиноидов уменьшаются до 2—3 мкг/л. В конце гидрологической зимы (в марте), когда отмечена слабая фотосинтетическая деятельность фитопланктона в низовье дельты, концентрация хлорофиллов начинает повышаться (местами до 10 мкг/л).

Сумма концентраций пигментов (хлорофиллов и каратиноидов) в водах дельты и устьевого взморья в среднем (по отдельным сезонам) порядка 0,05—0,20 % ОВ, при этом максимальные концентрации свойственны вегетационному, минимальные — зимнему периоду, когда сумма концентраций пигментов составляет менее 0,1 % ОВ. Средние месячные суммы концентрации хлорофиллов в вегетационный период для дельты и устьевого взморья составляют 0,05—0,1 % ОВ, а в зимний период — 0,01—0,02 % ОВ (см. табл. 5.6).

Таблица 5.5

Растительные пигменты и характеристики продукционно-деструкционных процессов в дельте Волги и на устьевом взморье

Зона	Растительные пигменты, мкг/л					Первичная продукция		$БПК_5$, мг О на 1 л	ПП : $БПК_1$	ПП ($C_{орг}$) : *chl*
	хлорофилл				каротиноиды	мг О на 1 л	мг С на 1 м³			
	«a»	«b»	«c»	Σ («a» + «b» + «c»)						
1978 г.										
Послепаводок (июнь)										
$I_з$	10,0	2,5	6,5	19,0	33,8	0,61	183	1,1	2,8	6,5
$II_з$	8,5	1,6	6,2	16,3	28,0	0,80	240	2,7	1,5	15,0
$III_з$	8,6	1,0	5,2	14,8	16,6	0,56	168	2,9	1,0	11,3
$IV_з$	—	—	—	—	14,2	1,0	318	2,0	2,6	—
$V_з$	9,4	1,7	5,7	16,8	26,4	1,55	465	1,7	4,6	27,8
Лето										
$III_з$	6,8	3,0	17,3	27,1	23,7	1,98	595	1,9	5,0	22,0
$V_з$	7,2	2,1	6,7	16,0	19,0	2,52	757	2,81	4,5	47,0
Осень										
$I_з$	5,3	1,4	4,4	11,1	—	0,09	26	2,4	0,18	2,3
$II_з$	1,9	1,8	3,3	7,0	—	0,17	52	0,78	1,1	7,4
$II_в$	4,0	1,1	3,4	8,5	—	0,45	135	—	—	—
$III_з$	1,3	0,9	1,5	3,7	—	0,13	40	0,27	2,1	11
$III_в$	2,8	1,3	10,1	14,2	—	—	—	—	—	—
1978 г.										
Осень										
$IV_з$	3,4	1,5	4,5	9,4	—	0,48	145	3,3	0,73	15
$IV_в$	3,2	2,1	4,4	9,7	—	0,24	73	1,9	0,69	7,5
$V_з$	2,3	1,0	3,8	7,1	—	—	—	—	—	—
$V_в$	3,7	1,2	1,9	6,8	—	0,36	108	1,85	1,0	18,9
Май (август)										
Мелководье Северного Каспия	0,8 (12,7)	0,5 (18,3)	1,8 (50,0)	3,1 (81,0)	1,7 (35,3)	0,02 (—)	6,0 (—)	0,05 (—)	0,2 (—)	2,1 (—)
1979 г.										
Март										
$I_з$	1,0	0,04	4,8	5,8	—	0,61	183	0,05	61,0	31,5
$II_з$	1,2	1,6	4,6	7,4	—	0,05	16	0,0	—	2,2
$II_в$	1,2	1,1	5,5	7,8	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$III_з$	0,8	1,0	3,8	5,6	—	0,0	0,0	0,38	0,0	0,0
$III_в$	1,5	2,0	6,2	9,7	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$IV_з$	2,3	1,2	2,4	5,9	—	0,30	90	—	—	15,3
$IV_в$	5,2	5,2	26,0	36,4	—	0,42	126	0,0	—	3,5
$V_з$	3,5	0,9	0,8	5,2	—	0,67	201	0,34	10,0	38,6
$V_в$	10,0	6,1	24,7	40,8	—	0,26	78	1,20	1,0	1,9
Паводок (пик в июне)										
$I_з$	13,6	9,7	13,2	36,5	50	4,18	1250	3,71	5,6	34,2
$II_з$	5,9	4,6	9,4	19,9	24,7	2,94	880	2,44	6,0	44,2
$II_в$	14,0	2,3	5,66	22,0	29,5	1,01	303	1,90	2,7	13,8
$III_з$	6,5	7,8	10,4	24,7	27,5	1,95	585	1,38	7,0	19,6
$III_в$	11,7	2,2	6,1	20,0	17,2	1,15	345	1,78	3,3	17,2
$IV_з$	6,7	8,7	19,0	34,4	37,5	0,86	258	0,29	1,5	7,5
$IV_в$	18,0	4,1	10,0	32,1	27,0	1,62	480	2,13	3,77	15,0
$V_з$	6,0	5,6	11,7	23,3	27,7	1,40	420	2,77	2,54	18,0
$V_в$	14,4	3,8	10,2	28,5	32,8	1,19	357	3,32	1,80	12,0

Зона	Растительные пигменты, мг/л					Первичная продукция		$БПК_5$, мг О на 1 л	ПП : $БПК_5$	ПП ($C_{орг}$) : *chl*
	хлорофилл				каротиноиды	мг О на 1 л	мг С на 1 м³			
	«а»	«в»	«с»	Σ («а» + «в» + «с»)						
Лето (август)										
$I_з$	7,5	3,5	7,2	18,2	—	0,68	204	2,60	1,3	11,2
$II_з$	16,8	4,4	6,6	27,8	—	4,0	1205	2,42	8,3	43,3
$II_в$	15,0	8,1	18,9	42,0	—	2,2	658	2,46	4,4	15,7
$III_з$	18,0	3,80	6,0	27,8	—	4,10	1240	2,26	9,0	44,6
$III_в$	9,2	5,60	7,3	22,1	—	1,96	590	1,55	7,1	26,8
$IV_з$	16,0	2,5	2,9	21,4	—	2,25	675	1,43	7,83	32,0
$IV_в$	11,4	5,7	6,6	23,7	—	1,41	424	1,60	4,40	17,8
$V_з$	10,9	4,7	14,9	30,5	—	3,31	993	2,22	7,45	32,4
$V_в$	108	6,7	6,2	23,7	—	2,66	799	1,72	7,90	—
Осень (октябрь)										
$I_з$	0,9	0,6	1,2	2,7	2,2	0,58	159	0,40	6,60	59,0
$II_з$	1,7	1,1	1,9	4,7	3,7	0,85	322	2,95	1,0	68,5
$II_в$	0,9	0,7	1,2	2,8	2,8	0,30	88	0,45	1,98	31,4
$III_з$	1,1	0,7	1,0	2,8	2,6	0,60	182	3,1	7,0	65,0
$III_в$	2,0	1,0	1,9	4,9	4,2	0,17	51,5	0,65	1,32	10,5
$IV_з$	1,3	1,1	1,7	4,1	3,0	1,57	472	3,0	5,70	115,0
$IV_в$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$V_з$	1,0	0,8	1,1	2,9	2,42	0,96	288	3,13	99,3	1,5
$V_в$	1,6	1,0	1,5	4,1	5,3	0,12	33,7	0,48	8,2	1,2
1980 г.										
Зима (январь)										
$I_з$	0,2	0,1	0,1	0,4	1,3	0,33	99	0,50	—	33
$II_з$	0,6	0,4	0,9	1,9	1,8	1,01	303	1,82	159	2,8
$II_в$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$III_з$	0,9	0,5	0,8	2,2	2,1	1,02	306	0,67	140	7,5
$III_в$	0,9	0,8	1,0	2,7	2,3	0,71	213	0,66	80	5,3
$IV_з$	1,0	0,5	0,8	2,3	2,2	1,06	318	1,20	127,2	4,4
$IV_в$	0,9	0,5	1,9	3,3	2,5	1,05	315	1,09	95,4	4,8
$V_з$	0,9	0,7	1,2	2,8	2,1	1,07	321	0,76	114,6	7,0
$V_в$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. ПП — первичная продукция, *chl* — хлорофилл.

Показателем фотосинтетической активности популяции фитопланктона является отношение концентраций хлорофилла «а» к сумме хлорофиллов «а», «в», «с». В вегетационный период доля хлорофилла «а» может приближаться к половине суммы хлорофиллов и даже превышать ее (см. табл. 5,5, 5.6).

Для дельты и устьевого взморья характерно более высокое содержание растительных пигментов в восточной части, что соответствует повышенным концентрациям ОВ и обусловлено более высокой первичной продуктивностью фитопланктона и макрофитов по сравнению с их продуктивностью в более обводненной западной части.

В вегетационный период, как правило, преобладает хлорофилл «а», что физиологически соответствует фотосинтетической активности фитопланктона (его концентрация может повышаться до 10—15 мкг/л). С наступлением осени и понижением активности фитопланктона уменьшается концентрация растительных пигментов в воде и доля хлорофилла «а» уравнивается с концентрацией хлорофилла «с», который в октябре становится преобладающей формой и в течение всей зимы превалирует над остальными. В паводковый период преобладающей формой может быть хлорофилл «а» или «с». Концентрация хлорофилла «в» в течение всего года уступает концентрации хлорофилла «а» и «с» (см. табл. 5.5, 5.6).

На фоне общих сезонных закономерностей изменения концентрации пигментов и соотношения их форм в пределах дельты Волги и устьевого взморья наблюдаются и зональные различия. Наибольшие зональные различия отмечаются в конце гидрологической зимы, когда при относительно стабильном содержании хлорофилла в русловых участках от верхней зоны до нижней (в основном в пределах 4—8 мкг/л) оно несколько повышается (местами до 30—40 мкг/л) в култуках и авандельте. При преобладании хлорофилла «с», обусловленном наличием холодоустойчивого диатомового фитопланктона, доля хлорофилла «с» несколько понижается от верхней к нижней зоне и в авандельте, где увеличивается доля хлорофилла «а». Содержание хлорофилла «в» в этот период близко концентрации хлорофилла «а» и уступает ему только в низовье. Однако и в середине зимнего периода (январь) содержание хлорофилла в низовье (култуках и авандельте) несколько выше, чем в русловых участках верхней и средней зон. В па-

Таблица 5.6

Средняя месячная концентрация растительных пигментов в западной и восточной частях дельты

Растительные пигменты	1978 г.								1979 г.						1980 г.	
	Июнь		Июль		Октябрь		Март		Июнь		Август		Октябрь		Январь	
	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть	Западная часть	Восточная часть
Хлорофилл, мкг/л: «а»	9,1	—	7,0	—	2,8	3,8	1,8	3,0	7,6	14,3	13,8	10,6	1,2	1,35	0,7	0,9
Σ(«а»+«в»+«с»)	19,6	—	21,5	—	7,7	9,8	5,9	6,2	28,8	28,0	25,1	25,9	3,3	3,6	2,1	2,9
Каратиноиды, мкг/л	23,8	—	21,4	—	—	—	—	—	33,5	31,3	—	—				
Хлорофилл «а», % Σchl	46,0	—	33,0	—	36,0	39,0	31,0	—	26,0	51,0	55,0	41,0	2,8 36,0	3,6 38,0	1,9 33,0	2,0 31,0
Хлорофилл «в», % ОВ	0,06	—	0,08	—	0,03	0,04	0,02	0,02	0,09	0,09	0,07	0,065	0,01	0,01	0,01	0,01
Хлорофиллы + каратиноиды, % ОВ	0,15	—	0,14	—	—	—	—	—	0,2	0,2	—	—	0,06	0,04	0,03	—

водок повышенным содержанием хлорофилла также отличается низовье дельты, особенно устьевое взморье, где вода на мелководье более прогрета, а из форм преобладает хлорофилл «а», особенно в восточной части. Минимальные концентрации хлорофилла в этот период в русловых участках зон II и III. В летний период зональные различия в концентрации хлорофилла более сглажены, на фоне его общего высокого содержания отмечены локальные повышения до 50—60 мкг/л. В осенний период при общих низких концентрациях хлорофилла (< 10 мкг/л) минимальное его содержание обнаруживается в русловых участках верховья и средней зоны дельты; в низовье дельты, особенно ее восточной части, оно увеличивается до 6,0—7,5 мкг/л.

Сведения о растительных пигментах мелководья Северного Каспия в период зарегулированного стока Волги весьма скудны и ограничиваются данными по хлорофиллу. По результатам исследований КаспНИРХ, в предпаводковый период наиболее высокие концентрации хлорофилла наблюдались вдоль всего волжского предустьевого участка и достигали максимума на траверзе выхода из Белинского банка. На свале глубин концентрация хлорофилла «а» резко снижалась и обычно не превышала в среднем 1 мкг/л, в приглубой центральной зоне — 0,5 мкг/л. В июне концентрация хлорофилла возрастала, особенно в восточной части; в августе было отмечено даже понижение концентрации хлорофилла «а» по всей акватории, особенно в западной части.

Условия минерального питания фитопланктона, являющиеся важнейшим фактором продуктивности, в дельте и на устьевом взморье Волги удовлетворительные и в основном не лимитируют продуктивность фитопланктона. В вегетационный период продуктивность фитопланктона ограничивается прежде всего световым фактором, что обусловлено высокой светопоглощаемостью, связанной с мутностью вод и обилием взвешенных веществ, в основном минеральных. Оценка физиологической реакции фитопланктона на «дискомфортность» экологической среды (в том числе и недостаток питательных солей) может быть сделана по ассимиляционному числу, выражающему отношение фотосинтеза при световом насыщении к концентрации хлорофилла и характеризующему интенсивность фотосинтеза (см. табл. 5.5, 5.6). При «дискомфортности» среды, в том числе и недостатке биогенных элементов, ассимиляционное число понижается.

С достаточной полнотой были охарактеризованы условия минерального питания фитопланктона в дельте и на устьевом взморье Волги, поскольку впервые производился достаточно полный комплекс исследований. Эти исследования, наряду с изучением продуктивности фитопланктона в условиях *in situ*, включали и определения всех основных форм растительных пигментов, а также всех форм биогенных элементов в свежих пробах на борту судна. Оптимальные пределы и критические уровни концентрации биогенных элементов несколько изменяются в зависимости от видовой специфики водорослей, а также климатических условий и сезонов года, но не зависят от освещенности. Критерии оценки степени обеспеченности фитопланктона питательными солями даны в работе М. П. Максимовой [85].

Процессы трансформации и перераспределения биогенных элементов по дельте в разные сезоны и различные периоды водности волжского стока, изученные также Максимовой и др. [87], детально рассмотрены в гл. 4.

По расчетам КаспНИРХ, в Северном Каспии запасы минеральных форм азота и фосфора за 1970—1976 гг. снизились соответственно на 24 и 21 % по сравнению с их количеством в период естественного стока Волги. Это способствовало снижению продуктивности фитопланктона (первичного звена трофической цепи). По данным КаспНИРХ, на мелководье Северного Каспия в жестком минимуме находится прежде всего минеральный растворенный фосфор, который, согласно закону Либиха, лимитирует продуктивность фитопланктона. Содержание фосфатов в предпаводковый период, во время паводка и в летнюю межень редко превышает 5 мг/м³. Обеспеченность фитопланктона минеральными растворенными соединениями азота несколько лучше. Общее содержание минерального растворенного аммонийного и нитритного азота (даже без учета нитратного, который не всегда определялся) составляет в среднем для мелководья Северного Каспия более 25 мг/м³ (до 70 мг/м³ и даже выше). Типичные соотноше-

ния минеральных растворенных форм соединений азота и фосфора (без учета нитратов) в водах мелководной зоны Северного Каспия (в 2 раза и более) выше стехиометрического соотношения между азотом и фосфором в фитопланктоне (среднее значение которого близко 7), что свидетельствует о недостаточности минерального растворенного фосфора [87]. Добавки питательных солей в воды мелководья Северного Каспия (как в западной, так и восточной части) показали существенное увеличение продуктивности фитопланктона, особенно выраженное при совместном внесении азота и фосфора.

Ухудшение обеспеченности фитопланктона питательными солями в Северном Каспии в период зарегулированного стока, несмотря на практически равнозначное валовое поступление азота и фосфора в верховье дельты в годы идентичных гидрологических характеристик, объясняется возросшей аккумулятивностью в низовье дельты вследствие зарастаемости и отчленения баром, а также ухудшением качественного состава биогенного стока — уменьшением доли минеральных растворенных форм азота и фосфора.

В результате антропогенного воздействия природная составляющая биогенного стока волжских вод сократилась почти вдвое [86].

Некоторому повышению биогенного волжского стока в Северный Каспий могло бы способствовать увеличение пропуска речных вод по каналам, так как соединения азота и фосфора в водах, попадающих в Северный Каспий посредством «плоскостного» стока, в основном подвергаются ассимиляции в дельте и в меньшей степени — в русловых участках.

Биотические процессы в дельте Волги и на устьевом взморье проявляют четко выраженную сезонность. Соответственно и роль биотического фактора в трансформации химического материкового стока особенно ярко проявляется в теплое время года, в период интенсификации биотических процессов, когда на пути следования речных вод в Каспийское море активно функционирует своеобразный «биофильтр».*

В холодное время года роль биотического фактора, как в процессах синтеза органического вещества, так и его деструкции, резко снижается. Но при общем снижении интенсивность продукционно-деструкционных процессов может значительно изменяться в зависимости от погодных условий года. Так, мягкой зимой 1980-81 г., когда ледяной покров был менее выражен, продукционно-деструкционные процессы протекали с большей интенсивностью, чем более суровой зимой 1978-79 г. (см. табл. 5.5).

К середине теплой зимы (январь 1980 г.) прозрачный ледовый покров достаточно сформирован только на мелководье, в русловых участках лед тонок, имеются участки открытой воды. В условиях солнечной погоды продуктивность фитопланктона, несмотря на низкую концентрацию хлорофилла, может быть весьма высокой (60—470 мг/м³ в сутки), в основном близка 200—350 мг/м³ в сутки, особенно в русловых участках нижней зоны, в култуках — несколько меньше. В среднем в январе 1980 г. в поверхностных водах русел продуктивность фитопланктона составляла 350 мг/м³ в сутки, в култуках — 310 мг/м³ в сутки, в верховье дельты — 100 мг/м³ в сутки.

Таким образом, при первичной продукции, более низкой, чем в весенне-летний период (но сопоставимой с продукцией осеннего периода), и малых концентрациях хлорофиллов интенсивность продуцирования диатомого фитопланктона в январе высокая, ассимиляционные числа достигали в русловых участках 120, в култуках 110, а в верховье дельты 250. Деструкционные процессы при нулевых температурах (*in situ*) протекали достаточно вяло и $БПК_5$ редко превышало 1 мг/л при средних значениях для русловых вод нижней зоны 0,90 мг/л, в култуках 0,98 мг/л, а в верховье дельты 0,50 мг/л. Соответственно и продукционные процессы фитопланктона в поверхностных водах русел и в култуках превалировали над деструкционными, превышая их по интенсивности в среднем в 4—5 раз. При этом содержание и насыщение вод кислородом было достаточно высоким (соответственно около 14 мг/л и 95 %, местами до 100—105 %) и значительно выше, чем в конце гидрологической зимы.

Значительных различий в характеристиках интенсивности продукционно-деструкционных процессов между западной и восточной частью дельты не отмечается. Интенсивность продукционно-деструкционных процессов в этот период в водах, поступающих в верховье дельты, менее выражена, чем в водах дельты.

При гидрохимическом режиме, сформировавшемся к концу достаточно суровой зимы 1979 г. (март), с ледовым покровом, местами полупрозрачным, местами смешанным со смерзшимся снегом (имелись промоины), и нулевых температурах воды в верхней и средней зонах дельты и русловых участках нижней зоны отмечено слабое (на грани чувствительности методов) начало фотосинтетической деятельности фитопланктона (в пределах 0—15 мг/м³ в сутки при определении кислородным методом и 0—1 мг/м³ в сутки — радиоуглеродным методом). Лишь в авандельте и култуках отмечена более значительная первичная продукция (местами до 100 мг/м³ в сутки кислородным методом и 10 мг/м³ в сутки радиоуглеродным). Ассимиляционные числа составляли менее 1 (табл. 5.5).

Деструкция ОВ характеризовалась низкими значениями $БПК_5$ (*in situ*) в верхней и средней зонах (в пределах 0—0,05 мг/л), повышающимися в нижней зоне до 0,4—0,55 мг/л, а местами в авандельте до 1 мг/л. В случае параллельного выдерживания проб при температуре около 20 °С $БПК_5$ повышается в несколько раз (местами до 2 мг/л) по сравнению с *in situ*, что свидетельствует о потенциально более высоком биохимическом потреблении кислорода. Продукция в поверхностных водах русловых участков дельты преобладала над деструкцией (ПП : БПК = 0,6... 0,8) и только в авандельте вдвое превышала ее. В связи с превалированием деструкционных процессов над продукционными насыщение вод кислородом было сравнительно низкое — среднее зональное насыщение изменялось в пределах 34—40 % (соответ-

* Весьма существенны различия биотических процессов и их трансформирующая роль в русловых участках, култуках и авандельте, что хорошо показывают осредненные данные в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Характеристики ОВ и продукционно-деструкционных процессов в водотоках и водоемах дельты нижней зоны

Зона	Прозрачность вод, м	Хлорофилл				Первичная продукция, м гС/м³ в сутки	$БПК_5$ мг/л	ПП	ПП:$БПК_t$	ХПК мг/л	Концентрация		
		Σ («a» + «в» + «с») мкг/л	«a»	«в»	«с»						ОВ мг/л	O_2	
			%									мг/л	%
1978 г.													
Июнь													
Русловые участки	—	20,6	53	13	34	197	2,33	8,5	1,7	42,0	31,2	6,30	66
Култуки	—	—	—	—	—	318	2,0	—	2,6	53,0	39,8	3,98	45
Авандельта	—	16,7	56	10	34	465	1,7	27,8	4,6	41,1	38,8	4,10	51
Июль													
Русловые участки	0,65	27,1 —	26	11	63	595	1,9	22,6	5,0	—	30,8	8,55	97
Култуки	—		—	—	—	—	—	—	—	—	21,6	—	—
Авандельта	0,95	16,1	45	13	42	757	2,81	47,0	4,5	—	26,4	9,28	103
Октябрь													
Русловые участки	0,50	11,1	41	12	47	63	1,15	7,0	1,1	28,4	27,0	9,10	80
Култуки	0,70	9,6	34	19	47	145	2,6	11,2	0,7	31,4	26,4	9,71	86
Авандельта	0,50	6,4	47	18	44	108	1,9	11,3	1,0	51,2	32,0	10,37	91
1979 г.													
Март													
Русловые участки	—	7,2	15	19	61	40	0,08	6,7	8,0	37,3	26,3	5,76	39
Култуки	—	21,1	16	15	67	108	—	9,5	—	39,7	30,0	5,26	36
Авандельта	—	23,0	29	15	55	140	0,34	20,2	1,0	42,4	31,7	6,15	42
Июнь													
Русловые участки	0,45	25,6	56	20	28	673	2,24	25,8	4,9	40,1	31,9	7,40	76
Култуки	—	33,2	37	19	44	369	2,13	11,2	3,8	40,4	30,3	5,70	61
Авандельта	0,70	26,4	39	19	42	388	3,05	15,0	2,17	40,9	24,5	7,75	85
Август													
Русловые участки	0,70	27,6	49	18	33	580	2,3	28,3	6,0	52,0	37,0	8,80	94
Култуки	0,70	22,5	61	18	21	550	1,52	25,0	6,1	55,0	41,1	7,80	90
Авандельта	1,1	27,1	40	21	39	896	1,97	32,4	7,7	53,4	39,0	8,59	94
Октябрь													
Русловые участки	0,70	3,6	36	25	39	160	—	47,0	—	49,1	28,3	8,82	99
Култуки	0,70	3,5	37	31	32	472	—	—	—	34,4	20,7	9,88	95
Авандельта	0,70	3,5	37	26	37	161	—	54,0	—	40,9	24,5	8,95	79
1980 г.													
Январь													
Русловые участки	—	1,8	33	28	39	230	0,9	124	5,3	32,2	19,2	13,73	94
Култуки	—	2,8	32	18	36	316	1,15	111	4,6	39,0	19,6	14,30	98
Авандельта	—	2,8	32	25	43	321	0,8	115	7,0	30,4	22,4	13,95	95
1981 г.													
Март													
Русловые участки	—	11,0	34	27	39	231	1,06	21,6	6,9	34,9	26,5	11,30	83
Авандельта	—	26,5	58	17	25	219	1,96	8,3	2,0	52,8	39,6	10,10	95
Култуки	—	13,3	64	25	11	220	1,39	12,8	4,3	49,8	28,6	9,40	68

Зона	Прозрачность вод, м	Хлорофилл				Первичная продукция, мг С/м³ в сутки	$БПК_5$ мг/л	ПП	ПП:$БПК_1$	ХПК мг/л	Концентрация		
		Σ («а» + «в» + «с») мкг/л	«а»	«в»	«с»						ОВ мг/л	O_2	
			%									мг/л	%
Июнь													
Русловые участки	0,70	33,0	28	25	47	820	1,7	24,0	11,9	39,0	21,9	10,50	106
Култуки	0,80	25,8	44	20	36	—	—	—	—	—	—	9,50	103
Авандельта	0,80	29,5	32	23	45	880	1,2	30,0	6,9	34,9	22,2	9,80	105
Сентябрь — октябрь													
Русловые участки	1,1	20,4	38	15	47	500	1,52	33,0	7,6	35,7	26,0	10,20	105
Култуки	0,85	20,3	39	12	48	695	1,70	32,5	6,5	42,3	32,4	9,78	106
Авандельта	0,80	22,8	39	22	39	522	1,87	22,0	4,0	43,0	32,3	10,30	107

ственно 5,1—5,9 мг/л) и только в авандельте повышалось до 46 %.

Условия погоды в конце мягкой зимы (март 1981 г.) характеризовались почти полным отсутствием ледяного покрова в русловых участках (имелись только закраины) и в култуках. В авандельте местами наблюдались отдельные ледяные поля и битый лед, принесенный из русел. Раннее распадение льда обусловлено более слабым ледяным покровом зимы 1980-81 г., более ранним прогревом вод и подтоплением култуков. Температура воды была аномально высокой (средняя зональная в русловых участках 3—4 °С, а в култуках достигала 10 °С и выше*). В связи с этим характеристики продукционно-деструкционных процессов в дельте были относительно высокими.

При значительных концентрациях хлорофилла ассимиляционные числа также были весьма высокими (в русловых участках в пределах 10—32, в култуках 7—17). При более высокой концентрации хлорофилла в култуках интенсивность продуктивности фитопланктона в них несколько ниже, чем в русловых участках.

С достаточной интенсивностью протекали и деструкционные процессы, особенно в восточной части дельты, где средние значения $БПК_5$ составляют около 1,5 мг/л в русловых участках, 2,7 мг/л в култуках; в западной части в руслах — около 1,0 мг/л, в култуках — 1,3 мг/л. В поверхностных водах русловых участков и в култуках продукционные процессы превалировали над деструкционными. Средние зональные отношения ПП : $БПК_1$ в руслах изменялись в пределах 4—10, в култуках — от 1,5 до 2,5, что обусловило достаточно высокую насыщенность вод дельты кислородом (средние зональные значения в пределах 80—95 % при абсолютном содержании 10—12 мг/л).

В период половодья, при интенсификации биотических процессов, большую роль играют и физические факторы.

Трансформирующая роль дельты существенно различается в годы высокого и низкого паводка. В пик паводка многоводного года (июнь 1979) воды в русловых участках дельты прогреваются до 15 °С и выше, температура воды в полоях, култуках и авандельте может достигать 20 °С и более. Биохимические процессы в этот период достаточно активны. В пик паводка отмечены существенные различия между продуктивностью фитопланктона русловых участков западной и восточной частей дельты и весьма низкая продуктивность в култучной и авандельтовой зонах (см. табл. 5.5). Продуктивность фитопланктона поверхностных вод русловых участков западной части дельты наиболее высокая — в среднем около 1000 мг/м³ в сутки (при колебаниях от 680 до 1250 мг/м³ в сутки); в русловых участках восточной части — в среднем 350 мг/м³ в сутки (от 150 до 650 мг/м³ в сутки). Продуктивность фитоплактона в поверхностных водах култучной зоны и авандельты западной и восточной частей близка и составляет в среднем в авандельте западной части около 500 мг/м³ в сутки (от 135 до 840 мг/м³ в сутки); восточной — около 450 мг/м³ в сутки (от 393 до 513 мг/м³ в сутки); в култуках — около 300—400 мг/м³ в сутки. На морском крае авандельты продуктивность фитопланктона составляла 700 мг/м³ в сутки.

Прозрачность вод в русловых участках дельты 0,20—0,60 м, в култуках и авандельте до 0,75—1,5 м, но при этом продуктивность придонных вод была в 2—3 раза ниже, чем поверхностных.

Интенсивность деструкционных процессов в поверхностных и придонных водах всех зон практически одинакова вследствие хорошего перемешивания и гомотермии (см. табл. 5.5).

Наиболее высокие значения $БПК_5$ в пик паводка отмечены в речных водах, поступающих в верховье дельты (3,5—3,8 мг/л). В водах русловых участков дельты наблюдается снижение $БПК_5$ от верховья к морю, в то время как параллельного снижения концентрации ОВ в этих водах не происходит. В русловых водах зон II и III $БПК_5$ составляет около 2,0—2,5 мг/л. Повышенным $БПК_5$ (местами до 3—5 мг/л) отличаются некоторые култуки, минимальным — воды морского края канала (~1,5 мг/л) и морского края авандельты (около 2 мг/л).

Для авандельты западной части характерны $БПК_5$ в пределах 1,5—2,5 мг/л, восточной части — от 2,0 до 3,7 мг/л.

Суточная первичная продукция в поверхностных водах повсюду превышает деструкцию, особенно в русловых участках западной части дельты, отличающихся повышенной продуктивностью, где отношение ПП : $БПК_1$ изменяется в пределах 4,5—7,0 при среднем значении 5,5. В русловых

* Съемка в 1981 г. производилась несколько позднее, чем в 1979 г.

водах восточной части дельты в соответствии с более низкой продуктивностью ПП : $БПК_1$ составляет в среднем 2,4 (2,2—2,7). В поверхностных водах авандельты продуктивность фитопланктона превышает деструкцию в среднем в 3 раза, в придонных водах на глубине 1 м в 1,5 раза, но на глубине 1,5 м деструкция вдвое выше продуктивности. О более высокой интенсификации фотосинтеза в русловых участках западной части дельты свидетельствуют и высокие значения отношения ПП : *chl* (в среднем в верховье около 35, в зоне II — 45) по сравнению с русловыми участками восточной части (средние зональные в пределах 14—17), в авандельте западной части они равны 18, восточной части — 12, в култуках в среднем близки 11 (см. табл. 5.5).

Концентрация хлорофилла «а» и «с» в дельте в среднем одинакова и составляет 40 %.

В паводковых водах в связи с интенсивным фотосинтезом концентрация легкоусвояемых фитопланктоном растворенных минеральных форм азота и фосфора понижена и местами может тормозить продуктивность фитоплактона.

Насыщенность вод кислородом в теплое время года отражает интенсивность и направленность продукционно-деструкционных процессов. В русловых участках верхней части дельты в поверхностных и придонных водах она близка 100 % (95—98 %). В западной части дельты четко прослеживается снижение в русловых водах как абсолютного содержания кислорода, так и его насыщения от зоны I к зоне III (среднее зональное насыщение соответственно 97, 80 и 70 % или 9,84, 7,88 и 6,39 мг/л). В восточной части дельты эта закономерность выражена менее последовательно, а содержание кислорода несколько ниже (81,58 и 65 %, 8,17, 5,67 и 6,25 мг/л). Вследствие интенсивного перемешивания русловых вод даже при глубине 10 м разницы в концентрации кислорода и его насыщении между поверхностными и придонными водами практически нет. Низким содержанием кислорода и его насыщением отличаются култуки (около 50—65 % и 6 мг/л). В водах авандельты концентрация кислорода и его насыщение относительно высокие как в западной, так и в восточной ее части при некотором повышении этих показателей в поверхностных водах. Среднее содержание кислорода в поверхностных водах авандельты равно 7,73 мг/л (насыщение составляет 85 %), в придонных — 7,45 мг/л (82 %).

В паводковый период года с водностью, близкой средней, (июнь 1981 г.) прозрачность воды была более высокой в менее обводненной восточной части дельты, где в пик паводка в русловых участках она достигала 0,8 м, в култуках и авандельте до 1,0—1,5 м. Продуктивность фитопланктона в пик паводка этого года в целом по дельте и авандельте несколько выше, чем в многоводный 1979 г.; в западной части дельты она была более высокой, чем в восточной. При этом средняя зональная продуктивность фитопланктона в западной части дельты составляла 430, 942 и 1040 мг/м^3 в сутки в русловых участках соответственно зон I, II и III и 966 мг/м^3 в сутки в авандельте; в восточной части дельты — 440, 732 и 948 мг/м^3 в сутки в русловых участках соответственно зон I, II и III и 795 мг/м^3 в сутки в авандельте. Предельные значения продуктивности фитопланктона в дельте в этот период колебались от 432 до 1038 мг/м^3 в сутки. Интенсивность фотосинтеза, характеризуемая ассимиляционными числами, в русловых участках западной и восточной частей дельты была достаточно высокой: в среднем 33 для западной части, 20 (при изменениях в пределах 15—48) для восточной части, 25—35 в авандельте.

Интенсивность процессов деструкции ОВ, характеризующаяся $БПК_5$, в пик паводка средневодного года в целом по дельте ниже, чем в пик паводка многоводного 1979 г. Это объясняется и более низкими концентрациями ОВ в водах дельты (в среднем 31 мг/л в 1979 г. и 25 мг/л в 1981 г.). Наиболее высокое $БПК_5$ (2,9 мг/л) наблюдалось также в речных водах, поступающих в верховье дельты, однако и оно было значительно ниже, чем в пик паводка многоводного 1979 г. (3,7 мг/л). Снижение $БПК_5$ в русловых водах проявляется менее четко, хотя и здесь при движении вод по разветвленным протокам дельты процессы седиментации легкоокисляющегося ОВ, видимо, более выражены, чем процессы его вымывания из почвогрунтов. Вариабельность $БПК_5$ на отдельных станциях в этот период находится в пределах 0,6—2,9 мг/л.

Суточная продуктивность фитоплактона в поверхностных водах повсюду превышает деструкцию: в русловых участках восточной и западной частей дельты в среднем соответственно в 10—14 раз.

Более низкие значения $БПК_5$ в паводок 1981 г. обусловлены более низкой концентрацией ОВ, а следовательно, и меньшим расходом кислорода на процессы окисления. Это определило и более высокую, чем в паводок 1979 г., насыщенность вод кислородом, которая в поверхностных водах превышала 100 % при максимуме 114 % (в среднем 107 % в русловых водах западной части дельты, 102 % в восточной части; в авандельте того же порядка). Пересыщение кислородом (105—113 %) было отмечено даже в придонных водах канала в авандельте и глубоких русловых участков верхней средней зоны.

Анализ гидрохимических условий паводкового периода многоводного и средневодного годов показал, что насыщенность вод кислородом в этот период определяется в первую очередь интенсивностью деструкционных процессов, обусловленных повышенными концентрациями ОВ в годы высоких паводков (интенсивного смыва) и в меньшей степени продукционными процессами. Таким образом, между насыщенностью вод кислородом и водностью паводка существует обратная связь.

В летний период максимально активизируются продукционно-деструкционные процессы, особенно в нижней зоне дельты, где в действие активно вступает «биофильтр» на пути следования речных вод в Северный Каспий. Апогея достигает развитие макрофитов, в некоторой степени ухудшающее световые условия развития фитопланктона на мелководье нижней зоны (см. табл. 5.5).

После спада паводка (3-я декада июня 1978 г.) начался интенсивный прогрев вод мелководья нижней зоны дельты (местами до 25 °С), температура в русловых участках оставалась в пределах 15,5—18,0 °С. Продуктивность фитопланктона в поверхностных водах русловых участков западной части дельты невысока (150—330 мг/м^3 в сутки). В то же время наблюдалась тенденция ее повыше-

ния от верховьев дельты к средней зоне, и наибольших значений она достигала в аванделъте — 650 мг/м³ в сутки. В послепаводковый период 1978 г. продуктивность фитопланктона, концентрация хлорофилла и ассимиляционные числа как показатели интенсивности продуцирования фитопланктона были в целом по дельте ниже, чем в пик паводка (1979 и 1981 гг.)*, особенно в русловых участках дельты. Концентрация хлорофилла на отдельных станциях изменялась в пределах 13—24 мкг/л; средние зональные ассимиляционные числа в поверхностных водах русловых участков составляли около 10 и лишь в аванделъте — около 30. Отмечалась тенденция повышения $БПК_5$ в русловых участках дельты от ее верховья к нижней зоне (средние $БПК_5$ от 1,1 мг/л в верховье до 2,9 мг/л в зоне III), в то время как в пик паводка наблюдалось обратное (см. табл. 5.5). В култуках и аванделъте среднее $БПК_5$ составляло около 2 мг/л. Первичная продукция превышала деструкцию в поверхностных водах русловых участков на отдельных станциях в 1,1—4,0 раза, в аванделъте в 4,0—5,5 раз; ПП : $БПК_1$ также было ниже, чем в пик паводка (1979 и 1981 гг.).

Из-за низкой прозрачности воды в русловых участках (0,5—0,75 м) продуктивным в руслах являлся только поверхностный слой. В култучной зоне и аванделъте (прозрачность 1,0—1,2 м) продуктивным был практически весь слой, но ко дну продуктивность понижалась в несколько раз, составив в среднем 120 мг/м³ в сутки. Деструкция ОВ на этой глубине вдвое превышала первичную продукцию. По сравнению с пиком паводка в этот период повышалась доля хлорофилла «а» (до 50—60 %), доля хлорофилла «с», наоборот, уменьшилась до 30—40 %. Это обусловлено изменением видового состава фитопланктона, — увеличением доли зеленых водорослей.

Таким образом, на спаде паводка интенсивность продукционно-деструкционных процессов в дельте в целом снижается по сравнению с пиком прохождения паводковых вод.

«Биофильтр» нижней зоны способствовал переводу значительной части минеральных растворенных соединений азота в органические. Если в верхнем замыкающем створе доля $N_{орг}$ составляла около 40 %, в верхней зоне — около 60 %, в средней — от 65 до 75 %, то в нижней — более 80 % $N_{вал}$. Доля органических соединений фосфора вследствие их большой лабильности составила 10—25 % $P_{вал}$.

Насыщение вод кислородом возрастает в течение июня от начала месяца к 3-й декаде, но в целом оно невысокое — среднее зональное в пределах 45—60 % с максимумом в вершине дельты — (93 %). Абсолютное содержание кислорода в култуках и аванделъте снизилось до средних значений — около 4 мг/л, и лишь в вершине дельты оно составляло около 9 мг/л.

В апогее летнего периода — в июле (3-я декада 1978 г.) при температуре воды более 20 °С, интенсивность продукционно-деструкционных процессов выше, чем в июне того же года. Средняя зональная продуктивность фитопланктона в поверхностных водах русловых участков западной части дельты составила 264—673 мг/м³ в сутки (в пределах 264—808 мг/м³ в сутки), а в аванделъте — 713 мг/м³ в сутки (693—741 мг/м³ в сутки). При относительно небольшом увеличении концентрации хлорофилла в водах дельты (в русловых участках — до 22—24 мкг/л, в аванделъте — до 14,0—17,5 мкг/л) значительно возросла интенсивность продуцирования фитопланктона. Ассимиляционные числа в поверхностных водах русловых участков достигли в среднем 20 (в пределах 12—26), в аванделъте — 45 (40—49). При незначительном увеличении интенсивности деструкционных процессов ($БПК_5$ в пределах 1,2—3,3 мг/л) значительно возросла продуктивность фитопланктона. Интенсивность продукционных процессов в поверхностных водах русловых участков превысила интенсивность деструкционных в среднем в 2,5 раза, в аванделъте — в 5 раз (см. табл. 5.5 и 5.7).

В июле по сравнению с послепаводковым периодом резко возросли значения абсолютного содержания и насыщенности вод кислородом, особенно в аванделъте. Они увеличились вдвое по сравнению с аналогичными показателями в русловых участках средней и нижней зон дельты. Улучшение кислородного режима, несмотря на повышение температуры воды, обусловлено интенсификацией продукционных процессов фитопланктона и макрофитов. Тем не менее в русловых участках дельты имеет место легкое недонасыщение вод кислородом (см. табл. 5.4).

В августе (1979 г.), в летнюю межень, когда уровень достигает минимальных значений, а температура воды близка к максимальной, результирующая летних процессов достигает апогея. Массовое развитие фитопланктона обеспечивается максимумом сине-зеленых и диатомовых. Прозрачность в руслах несколько увеличивается и составляет в среднем 0,6 м, в култуках и аванделъте — порядка 0,8—1,6 м. По дельте и аванделъте в целом продуктивность фитопланктона была почти вдвое больше, чем в паводковый период того же года (1979 г.), особенно в аванделъте. Наиболее высокая продуктивность фитопланктона отмечалась (как и в период паводка) в поверхностных водах глубоководных русловых участков западной части дельты (в среднем около 1200 мг/м³ в сутки), но была меньше, чем в паводок (1000 мг/м³ в сутки). В менее обводненных русловых участках восточной части дельты продуктивность фитопланктона поверхностных вод вдвое ниже, чем в западной (600 мг/м³ в сутки), но при этом она вдвое превышает продуктивность, определенную в июне. Такого же порядка она была и в поверхностных водах култуков (около 550 мг/м³ в сутки). Устойчиво высокая продуктивность фитопланктона в этот период в аванделъте, особенно в западной части — среднее значение в поверхностных водах около 1000 мг/м³ в сутки; в восточной — около 800 мг/м³ в сутки. Минимальная продуктивность фитопланктона отмечена в водах, поступающих в верховье дельты (с. Верхнее Лебяжье) (см. табл. 5.5). Продуктивность фитопланктона на отдельных станциях дельты и устьевого взморья изменялась в довольно широких пределах (430—1610 мг/м³ в сутки в западной части и 120—1510 мг/м³ в сутки — в восточной части).

Продуцирующим первичное ОВ в русловых участках был практически только поверхностный слой (0,5 м). В аванделъте при глубине 1,6 м продук-

* Наблюдения в пик паводка 1978 г. не проводились.

тивность фитопланктона у дна (*in situ*) была в 9,5 раз ниже, чем в поверхностном слое. При этом в поверхностном слое первичная продуктивность в 6,5 раз превысила суточную деструкцию, у дна же, наоборот, деструкция вдвое превысила продукцию фитопланктона (продуктивность у дна 60 мг/м³ в сутки).

Фитопланктон придонных проб русловых участков дельты (с глубин до 10 м и более) сохраняет жизнеспособность, и при экспонировании на поверхности продуктивность, как правило, оказывается даже более высокой, чем проб, взятых в поверхностных водах на этих же станциях и экспонируемых в одинаковых условиях освещенности (в среднем на 150 %). Обеспеченность фитопланктона питательными солями в этот период была хорошей, но при концентрациях фосфатов, близких 100 мг/м³, по всей акватории дельты и авандельты концентрация минерального растворенного азота уменьшалась от 750 мг/м³ в верхней (I) и средней (II) зонах дельты, а также в нижней русловой западной части, до 400—600 мг/м³ в мелководье нижней зоны (IV, V) и малообводненной заросшей нижней русловой восточной части. Соответственно уменьшалось и соотношение N : P от близких стехиометрическому N : P фитопланктона в верхней и средней зонах (в пределах 11,0—7,5) до 3,5—5,5 в низовье, указывающее на сдвиг в сторону некоторого недостатка минерального растворенного азота по мере следования вод по дельте.

Высокая продуктивность фитопланктона и наибольшая интенсивность продукционных процессов характерны в период летней межени для русловых участков западной части дельты, где средние ПП : *chl* в поверхностных водах зон II и III достигают 43—45; значительно уступают им по этим показателям русловые зоны восточной части дельты (16—27). Высокие ассимиляционные числа, свидетельствующие об интенсивном продуцировании фитопланктона, отмечены и в авандельте (в среднем 33); более низкими они оказываются в этот период в култуках (в среднем 25). Хлорофилл практически равномерно распределен по всей вертикали вследствие интенсивного перемешивания русловых вод даже на глубине до 10 м и более. Средняя концентрация хлорофилла ($\sum$«а» + «в» + «с») в поверхностных водах русловых участков составляет 27 мкг/л, в придонных водах — 28 мкг/л. В авандельте и култуках концентрация хлорофилла у дна (в среднем 28 мкг/л) также несколько выше, чем в поверхностных водах (в среднем 23 мкг/л). Вариабельность общего содержания хлорофилла в руслах несколько большая (10—60 мкг/л), чем в авандельте (8—53 мкг/л).

В целом по дельте хлорофилл «а» преобладает над другими формами, составляя в среднем для русловых участков около 50 % суммы хлорофилла, в култуках — около 60 % и лишь в авандельте доли хлорофилла «а» и «с» равнозначны (в среднем 40 %). Доля хлорофилла «с» в русловых участках (среднее 37 %) и в култуках (среднее 20 %) ниже, чем в авандельте (см. табл. 5.4).

Интенсивность деструкционных процессов в водах дельты и авандельты Волги в период летней межени в поверхностных и придонных водах практически одинаковая. Это объясняется интенсивным перемешиванием, обусловливающим гомотермию и равномерное распределение ОВ по вертикали не только на мелководье, но и в русловых участках с глубинами 10—15 м. Средние зональные концентрации ОВ в русловых участках были в пределах 33—40 мг/л в поверхностных водах и 35—37 мг/л в придонных. При этом имеются зональные различия в температуре воды, концентрации ОВ и соответственно $БПК_5$ как характеристике деструкционных процессов (см. табл. 5.4). Средние зональные значения $БПК_5$ в русловых участках изменялись в поверхностных водах в пределах 1,6—2,6 мг/л, а в придонных — от 2,0 до 2,7 мг/л (на отдельных станциях от 0,8 до 3,5 мг/л). При температуре воды в западной части в авандельте и в култуках 23—26 °С и в восточной части 21—25 °С средние зональные значения $БПК_5$ составляли на западе авандельты 2,75 мг/л, в култуках 1,4 мг/л; на востоке соответственно — 1,7 и 1,6 мг/л (при вариабельности на станциях в авандельте 0,9—2,2 мг/л, в култуках 1,1—2,5 мг/л (см. табл. 5.4).

В период летней межени (в августе) наблюдается наибольшее превышение интенсивности продукционных процессов в поверхностных водах дельты и устьевого взморья над деструкционными; продуктивность фитопланктона в данный период значительно выше, чем в предшествующий. Суточное соотношение ПП : $БПК_1$ в поверхностных водах русловых участков достигает в среднем 7, при этом в западной части дельты оно выше (в среднем 8,5), чем в восточной (в среднем 5,5). В авандельте различия в этих соотношениях западной и восточной зон несущественны (среднее около 8) (см. табл. 5.4).

При относительно высоких концентрациях растворенного кислорода в поверхностных водах дельты и авандельты (средние зональные 7,8—9,6 мг/л) насыщение или легкое пересыщение кислородом типично только для верхней и средней зон западной части русловых участков дельты и авандельты. Для русловых вод нижней зоны, култуков и средней зоны востока, наоборот, типично некоторое недонасыщение (75—95 %). Лишь на отдельных станциях западной части дельты насыщенность поверхностных вод кислородом достигала 120—125 %. В придонных русловых водах верхней зоны повсюду отмечалось легкое недонасыщение кислородом (93—95 %). Значительно пересыщены кислородом по всей глубине только русловые воды средней зоны западной части дельты и авандельты (даже у дна 110—130 %), а на поверхности 112—126 %.

Невысокая для летнего периода насыщенность поверхностных русловых вод кислородом, несмотря на значительное (в среднем в 7 раз) преобладание в них продукционных процессов над деструкционными, объясняется интенсивным перемешиванием тонкого слоя «фотосинтезирующих» поверхностных вод с массой нижележащих вод, в которых протекают лишь деструкционные процессы, сопровождающиеся расходованием кислорода на процессы окисления. Так, в русловой станции верхней зоны с глубиной 8 м в столбе воды сечением 1 м² за сутки продуцируется фитопланктоном при фотосинтезе около 1700 мг O_2, потребляется же на окисление ОВ около 1900 мг O_2. Таким образом, складывается легкий отрицательный баланс кислорода.

Осенний режим изучался в 1978, 1979 и 1981 гг. Его характеристику рационально дать не в хроно-

логическом порядке, а с 1981 г., поскольку в этот год наблюдения были начаты раньше (в середине сентября) и продолжались, включая 1-ю декаду октября. Исследования в 1978 и 1979 гг. проводились в октябре.

Сентябрь 1981 г. характеризуется минимальными уровнями воды и началом ее охлаждения. Биомасса зеленых и сине-зеленых сокращается, в то же время интенсивность развития диатомовых еще не снижается. Возрастает прозрачность вод в русловых участках, на мелководье в низовье на западе до 1 м, на востоке — до 0,8 м. Существенное различие в интенсивности продукционно-деструкционных процессов западной и восточной частей дельты отражает быстрый спад осенью интенсивности процессов, связанный с выхолаживанием вод. В сентябре продуктивность фитопланктона в восточной части, как в поверхностных водах русловых участков, так и в аванделыте была еще высокой и изменялась в довольно узких пределах — соответственно 700—1020, 885—1010 мг/м^3 в сутки; в западной части в начале октября в руслах — в пределах 200—400 мг/м^3 в сутки, в аванделыте 160—375 мг/м^3 в сутки (см. табл. 5.4). Продуктивность фитопланктона восточной части дельты в сентябре 1981 г. была даже выше, чем в августе 1979 г.

Концентрация хлорофилла (суммарная) в соответствии с продуктивностью фитопланктона в восточной части дельты (в пределах 19,5—25,0 мкг/л) существенно выше, чем в западной (10—22 мкг/л). При этом четко выражено преобладание хлорофилла «с» в восточной части дельты (около 60 %), но приблизительно равны доли хлорофилла «а» и «с» в западной части. Интенсивность продуцирования фитопланктона в сентябре в восточной части дельты не только не уступала летней (1979 г.), но и превышала ее ассимиляционные числа (36—53, в среднем 40). В то же время в 1-й декаде октября на западе они понизились до 7—25 (в среднем 19). Интенсивность деструкционных процессов в русловых участках восточной и западной частей дельты существенно не различалась, и $БПК_5$ изменялось в пределах 1—2 мг/л. Однако на мелководье (в аванделыте и култуках) в связи с более быстрым охлаждением вод, $БПК_5$ в западной части было уже значительно ниже (1,3—1,6 мг/л), чем в восточной (1,8—2,4 мг/л). В водах култуков и аванделыты ХПК выше (около 30—35 мг/л), чем в водах русловых участков (23—29 мг/л) (см. табл. 5.4).

Продукционные процессы в сентябре в поверхностных водах восточной части дельты значительно превалировали над деструкционными, и суточные значения ПП : $БПК_1$ были в пределах 5,5—18. В начале октября в западной части дельты отношение ПП : $БПК_1$ уже резко снизилось (1,7—3,9) из-за значительного снижения продуктивности фитопланктона.

В связи со снижением интенсивности деструкционных процессов повсюду отмечено легкое пересыщение вод кислородом от поверхности до дна, более значительное в западной части дельты, несмотря на меньшее продуцирование кислорода при фотосинтезе (в среднем в поверхностных водах 106 %, в придонных — 104 %).

Октябрь маловодного года (1978) характеризуется в среднем многолетнем аспекте резким спадом температуры воды (средняя многолетняя 12,3 °С), более интенсивным охлаждением мелководья нижней зоны по сравнению с охлаждением русла. Октябрь же 1978 г. был холоднее среднего многолетнего. Температура воды в менее обводненной восточной части дельты в целом была более низкой. Прозрачность воды в култуках и аванделыте в результате ветрового взмучивания также ниже, чем в летний период.

В результате осеннего охлаждения резко снизилась продуктивность фитопланктона, ее интенсивность и концентрация хлорофилла. Значительных различий в этих параметрах между западной и восточной частью дельты, водами русловых участков и мелководий низовья не отмечено. В поверхностных водах средняя продуктивность фитопланктона западной части около 65 мг/м^3 в сутки, восточной — 85 мг/м^3 в сутки; хлорофилла — соответственно 7,7 и 7,8 мкг/л; ПП : *chl* — соответственно 9,0 и 9,6; $БПК_5$ — 1,7 и 2,0 мг/л. Можно отметить лишь некоторую тенденцию их повышения в восточной части дельты. В октябре в дельте в целом даже в поверхностных водах деструкционные процессы превалируют над продуктивностью фитопланктона, в среднем суточные значения ПП: $БПК_1$ ниже 1 (около 0,85). Этим и обусловлено недонасыщение поверхностных и придонных вод кислородом по всей акватории дельты и аванделыты (соответственно в среднем 85 и 75—91 %).

Экстремальные значения продуктивности фитопланктона в поверхностных водах дельты и аванделыты составляют 23—180 мг/м^3 в сутки с максимумом в русловых водах верхней зоны.

Октябрь уникально многоводного 1979 г. характеризовался температурой (12,9 °С), немного превышающей среднюю многолетнюю, но значительно более высокой по сравнению со средней месячной температурой октября маловодного 1978 г. Это, видимо, и обусловило более высокую интенсивность продукционно-деструкционных процессов в дельте и на устьевом взморье в октябре 1979 г. Прозрачность вод в русловых участках и на мелководье нижней зоны (0,6—0,8 м) также была несколько выше, чем в октябре 1978 г. Продуктивность поверхностных вод русловых участков верхней и средней зон западной части дельты существенно выше продуктивности поверхностных вод аналогичных участков восточной части дельты. Средняя продуктивность фитопланктона этих зон на западе около 195 мг/м^3 в сутки (предельные значения 160—240 мг/м^3 в сутки), на востоке — 125 мг/м^3 в сутки (90—192 мг/м^3 в сутки). В западной части дельты наиболее высокая продуктивность фитопланктона в нижней зоне (среднее значение зоны IV — 472 мг/м^3 в сутки, в зоне V — 288 мг/м^3) и в култуках (до 850 мг/м^3 в сутки).

Продуктивность фитопланктона в нижней зоне восточной части дельты исследовалась несколько позднее — в конце октября, что, естественно, отразилось на продукционно-деструкционных процессах. Поэтому сопоставить эти результаты с продукционно-деструкционными процессами низовья западной части дельты не представляется возможным. Очевидно, фактором, определяющим продуктивность фитопланктона в этот период, является температура воды, поскольку продуктивность оказывается ниже в наиболее охлажденных водах мелководья: средняя продуктивность составляла

в култуках 35 мг/м³ в сутки (от 3 до 69 мг/м³), в аванделъте 39 мг/м³ в сутки (от 30 до 48 мг/м³). Несколько выше продуктивность фитопланктона в более теплых русловых водах нижней зоны — в среднем 51 мг/м³ в сутки (15—144 мг/м³) (см. табл. 5.4).

Продуктивность фитопланктона в сильно охлажденных водах низовьев восточной части дельты в конце октября многоводного 1979 г. согласуется с его продуктивностью в холодном октябре маловодного 1978 г., что также свидетельствует о решающем значении в этот период температурного фактора (см. табл. 5.5).

Резко снизилась в позднеосенний период концентрация хлорофилла в воде (в целом по дельте в 7,5 раз по сравнению с летним периодом этого же года) и составила в среднем в дельте около 3,5 мкг/л (0,6—7,4 мкг/л). В то же время интенсивность продуцирования оставшегося фитопланктона сохранилась на достаточно высоком уровне: в среднем значения ПП : *chl* по дельте и аванделъте близки 50 (в водах русловых участков верхней и средней зон западной и восточной частей дельты они почти одинаковы), но значительно понижены в охлажденных водах мелководья восточной части дельты (около 10). В этот период по сравнению с летним значительно возросла доля хлорофилла «с» и понизилась доля хлорофилла «а», что свидетельствует о преобладании диатомового фитопланктона. Разница в концентрации хлорофилла поверхностных и придонных вод даже в глубоких руслах незначительная.

Продуктивность фитопланктона в целом по дельте снизилась от августа к октябрю в 4 раза (в западной части дельты в 3 раза, в восточной — в 10 раз). Снижение биохимического потребления кислорода (выраженного $БПК_5$ *in situ*) в западной части дельты не отмечено, несмотря на перепад температуры воды, составляющий около 10 °С, хотя, согласно закономерностям термодинамики, теоретически это должно было бы привести к замедлению процессов окисления ОВ вдвое.

Таким образом, при значительном понижении температуры воды и некотором уменьшении концентрации ОВ от лета к осени уменьшение $БПК_5$ в западной части дельты и аванделъты не отмечалось.

Интенсивность деструкционных процессов в дельте и аванделъте, как и продуктивность фитопланктона западной и восточной частей дельты, значительно различаются в соответствии с различиями в температуре воды. Более интенсивно деструкционные процессы протекали в западной части дельты при практически одинаковых средних значениях $БПК_5$ в русловых (3,4 мг/л), аванделътовых (3,3 мг/л) и култучных водах (3,0 мг/л). Однако имеются существенные различия в экстремальных значениях $БПК_5$ в култуках (1,0—5,4 мг/л), в то время как в русловых водах (1,9—3,9 мг/л) и аваидельте (2,8—3,9 мг/л) они изменяются в меньших пределах. В сильно охлажденных водах мелководья нижней зоны восточной части дельты интенсивность деструкционных процессов низкая (1 мг/л).

Продукционные процессы в поверхностных водах западной части дельты еще в значительной степени превалировали над деструкционными, средние значения $ПП : БПК_1 > 4$, в поверхностных охлажденных водах восточной части дельты эти процессы были почти сбалансированы.

Насыщенность вод кислородом как отражение уровня сбалансированности продукционно-деструкционных процессов в этот период относительно низкая, особенно в восточной части дельты. Повсюду даже поверхностные воды недонасыщены кислородом, значительных различий в насыщенности кислородом поверхностных и придонных вод не отмечено.

Многолетняя внутригодовая динамика продуктивности фитопланктона изучалась в Астраханском заповеднике [40] (в протоке Быстрой) за ряд лет (1960—1969 гг., исключая 1961, 1965 и 1966 гг.). Годовая продуктивность фитопланктона за этот период изменялась в пределах 30—80 г/м² при средней 49,5 г/м² (табл. 5.8).

По данным сезонных исследований всей акватории дельты в 1978—1981 г., средняя годовая продуктивность фитопланктона в протоках дельты также близка 50 г/м², что позволяет с определенной степенью достоверности аппроксимировать на эти годы данные, полученные по многолетней внутригодовой динамике продуктивности протоки Быстрой. В водоемах дельты и устьевого взморья Волги годовая продуктивность фитопланктона изменяется в основном в пределах 50—150 г/м².

Из табл. 5.8 видно, что в зимние месяцы 1960—1969 гг. продуктивность фитопланктона была минимальной (на грани чувствительности метода определения). Слабый сдвиг в продуцировании фитопланктона отмечался в марте; к концу марта обычно приурочен ледоход. После ледохода, в апреле, наблюдается активное продуцирование

Таблица 5.8

Динамика средней месячной первичной продукции фитопланктона (мг/м² в сутки) в протоке Быстрой за 1960—1969 гг. (исключая 1961, 1965, 1966 гг.)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Первичная продукция, г/м² в год
Среднее за 1960—1969 гг.	3,5	3,5	10,7	267	160	229	349	267	174	82	32	3,5	49,5
Среднее месячное: минимальное	3,5	3,5	3,5 (много лет)	18,0 (1962)	103 (1960)	53 (1968)	39 (1968)	114 (1968)	50 (1962)	14 (1962)	3,5	3,5	29 (1963)
максимальное	3,5	3,5	53 (1963)	939 (1969)	398 (1967)	790 (1964)	882 (1969)	430 (1967)	470 (1968)	352 (1968)	210 (1968)	3,5	80

Примечание. В скобках год экстремума.

фитопланктона. В это время года средняя месячная продуктивность (за 1960—1969 гг.) составила 267 мг/м² в сутки и была близка июньской и августовской средней месячной продуктивности фитопланктона (за этот же период).

В период паводка, в мае, в результате поступления в дельту холодных паводковых вод с высокой мутностью продуктивность фитопланктона снижается (по сравнению с продуктивностью предпаводкового периода) до средней месячной — 160 мг/м² в сутки. В послепаводковый период продуктивность фитопланктона резко повышается: в июне средняя месячная продуктивность (1960—1969 гг.) составляла 299 мг/м² в сутки, в июле достигала максимума — 349 мг/м².

В августе относительно высокая продуктивность фитопланктона (средняя за 1960—1969 гг. — 267 мг/м² в сутки) несколько уступает средней июньской продуктивности и на одном уровне со средней апрельской продуктивностью. Таким образом, основная первичная продукция фитопланктона создается в летний период, а также в апреле.

Значительный спад фотосинтетической активности фитопланктона наблюдается в сентябре: средняя месячная продуктивность за 1960—1969 гг. составляет 174 мг/м² в сутки (в среднем в 1,5 раза ниже августовской). Затем она снижается вдвое от сентября к октябрю (средняя 82 мг/м² в сутки) и в 2,5 раза от октября к ноябрю, составляя в ноябре в среднем 32 мг/м² в сутки. Однако в годы экстремальных термических условий максимальная средняя продуктивность ноября может в 60 раз превышать минимальную (в апреле в 50 раз). К декабрю (в среднем многолетнем аспекте) продуктивность фитопланктона падает в 10 раз (относительно ноября) и устанавливается зимний режим («спячка» фитопланктона), продолжающийся в течение января и февраля. «Пробуждение» фитопланктона начинается в марте, когда в отдельные экстремально теплые годы его средняя месячная продуктивность может составлять до 50 мг/м² в сутки при средней около 10 мг/м² в сутки (за 1960—1969 гг.).

В протоке Быстрой [40] в верхнем слое (0—0,5 м) фитопланктоном создается 4/7 всей продукции, в слое 0,5—1,0 м — 2/7, в слое 1,0—1,5 м — 1/7. Устойчивая положительная связь установлена между средней месячной первичной продукцией фитопланктона (за 1960, 1962—1964 гг.) и средней месячной температурой воды ($r = 0{,}81$). Еще более тесная связь отмечена между средней первичной продукцией фитопланктона за данный месяц и средней температурой воды последующего месяца ($r = 0{,}89$). К. В. Горбунов считает, что существует бо́льшая зависимость первичной продукции от солнечной радиации, чем от температуры воды, поскольку ход температуры воды запаздывает по сравнению с инсоляцией. Однако корреляция месячной суммарной радиации и первичной продукции выражается меньшим коэффициентом корреляции $r = 0{,}58$ ($P = 99\ \%$).

Прямые наблюдения показали, что ПП, равная 750 мг/м³ в сутки, в большинстве случаев приходится на дни, когда суммарная солнечная радиация составляет 21—25 тыс. кДж/м². Превышение этого уровня радиации вызывало известную депрессию фотосинтеза.

В 1963—1964 гг. К. В. Горбунов [40] провел наблюдения за продуктивностью фитопланктона и в типовых водоемах Дамчикского участка Астраханского заповедника. Наиболее высокая годовая продукция фитопланктона, по наблюдениям К. В. Горбунова, отмечается в открытой зоне авандельты (30 г/м²), в протоке Быстрой (30—50 г/м²) и в прокосе култука (50—55 г/м²). Во временных водоемах (существующих 150—300 сут) — ильменях, литоральной зоне авандельты и зарослях мелководий култука — она ниже (20—25 г/м²). Наиболее низкая годовая продукция фитопланктона наблюдается в водоемах с малыми сроками затопления (45—100 сут) — полоях (1—10 г/м²).

Изучение многолетней внутригодовой динамики БПК, как и продуктивности фитопланктона, также возможно только в условиях стационарного пункта наблюдений. Такие исследования $БПК_5$ были выполнены К. В. Горбуновым [40] в 1957—1965 гг. в протоке Быстрой и типовых водоемах Дамчикского участка Астраханского заповедника. По этим данным рассчитаны средние многолетние значения $БПК_5$. Наиболее высокое среднее многолетнее значение $БПК_5$ (4,22 мг/л) наблюдалось в полойной воде, затем в порядке убывания следуют значения $БПК_5$ вод прибрежной зоны авандельты (3,43 мг/л), вод ильменя (3,24 мг/л) и вод открытой зоны авандельты (2,71 мг/л). Наименьшее $БПК_5$ отмечалось в водах протоки Быстрой (2,09 мг/л). В пересчете $БПК_5$ на органический углерод соответственно окислялось в полое 1,58 мг/л, в прибрежной зоне авандельты 1,29 мг/л, в ильмене 1,22 мг/л, в открытой зоне авандельты 1,02 мг/л, в протоке 0,78 мг/л.

Данные К. В. Горбунова для протоки Быстрой по продуктивности фитопланктона были сопоставлены с деструкцией ОВ в продуктивном фотическом 1,5-метровом слое воды и пересчитаны на органический углерод. Было получено, что при средней годовой первичной продукции фитопланктона 40,6 г/м² средняя годовая деструкция ОВ в этом же слое достигла 89,2 г/м². Во всей толще вод (2,75 м) протоки Быстрой она равнялась 164 г/м², превысив, таким образом, продукцию фитопланктона в фотическом слое вдвое, а с учетом всей толщи вод — в 4 раза. В открытой зоне авандельты (при средней глубине 0,55 м) фотическим является весь водный слой при продуктивности фитопланктона 30 г/м² в год, деструкция составляет 41 г/м² в год. В воде прибрежной зоны авандельты (при средней глубине 0,4 м) деструкции подверглось в среднем 38 г/м² в год при продуктивности фитопланктона 23 г/м² в год. Деструкция ОВ, по этим данным, также превысила продуктивность фитопланктона. Таким образом, в условиях мелководья, где весь слой воды является фотическим, годичная деструкция ОВ превышает годичную продукцию фитопланктона в среднем в 1,5 раза. В русловых участках дельты превышение деструкции над продукцией зависит от глубины (например, при глубине около 3 м превышение в 4 раза).

Для сравнения приведем данные по Рыбинскому водохранилищу [109], где в 1967 г. в вегетационный период (с мая по сентябрь) синтез фитопланктона, продукция бактериальной биомассы, деструкция в воде и в иле составляли соответственно 54, 28, 146 и 21 г/м². Таким образом, лишь

за период вегетации (150 сут) деструкция в воде в 2,7 раза превысила продукцию фитопланктона и была в 7 раз интенсивнее, чем в иле.

По данным за этот же 1967 г., в протоке Быстрой соотношение продукции фитопланктона, бактерий и деструкции ОВ составляло 69 : 44 : 246 г/м² в год. Таким образом, деструкция ОВ в воде превысила продуктивность фитопланктона в 3,5 раза.

5.2.3. Элементы баланса органического вещества в дельте и на устьевом взморье Волги

В отличие от системы русловых участков и водохранилищ Волги, где продукция макрофитов незначительна и имеет второстепенное значение, в дельте Волги и на устьевом взморье продукция макрофитов достаточно велика. Особенно возросла зарастаемость дельты при падении уровня Каспийского моря и изменении гидрографических условий, когда возникло много островов, осередков, кос, резко выдался в море край основной центральной части дельты Волги (до 40—50 км), ширина авандельты с глубинами менее 1 м достигла нескольких десятков километров.

Период вегетации водных растений в среднем составляет 6 мес (апрель — сентябрь). В апреле на мелководье дельты появляется молодая зелень, но затем холодная паводковая вода останавливает развитие. У большей части растений образование максимальной биомассы происходит в августе и продолжается до начала октября.

Для сопоставления продуктивности макрофитов и фитопланктона в дельте и на устьевом взморье Волги данных мало. По приближенной оценке, продуктивность фитопланктона этой акватории составляет в среднем около 50—75 г $C_{орг}$ на 1 м² в год, для периода вегетации равна 250—375 мг С на 1 м² в сутки (в пересчете на ОВ соответственно 100—150 г/м² в год или 500—750 мг/м² в сутки продуцируется фитопланктоном; на всей площади порядка 3,5—5 млн т ОВ в год).

Полученные показатели первичной продуктивности фитопланктона всей акватории дельты и устьевого взморья Волги хорошо согласуются с результатами детальных, локальных исследований продуктивности типовых водоемов района Дамчикского участка Астраханского заповедника [40]. Из этих данных видно, что в водоемах дельты Волги (протоки, открытые култуки, открытая авандельта), в которых отсутствуют заросли высших растений, первичная продуктивность находится в пределах 28—58 г С на 1 м² в год. В водоемах дельты, заросших макрофитами (островные полои, култуки, мелководье авандельтовых островов, ильмени), суммарная первичная продуктивность составляет 85—620 г $C_{орг}$ на 1 м² в год (170—1240 г/м² в год ОВ в сухой массе), причем в основном это продукция макрофитов. Главными продуцентами ОВ в дельте, на устьевом взморье и в водохранилищах являются заросли тростника и рогоза [40], продуктивность которых составляет от нескольких сотен граммов до 1 кг и более на 1 м² в год.

Первичная продуктивность фитопланктона достигает 100 % только в не заросших макрофитами протоках и авандельте. В заросших же макрофитами култуках и авандельте первичное продуцирование фитопланктона имеет подчиненное значение и составляет от 20 до 1 % и менее (относительно суммарной продукции фитопланктона и макрофитов).

Относительно невысокая средняя продуктивность фитопланктона в дельте и авандельте Волги, несмотря на хорошую обеспеченность питательными солями и прогревание вод, обусловлена высоким вертикальным ослаблением света γ (для русловых участков — в среднем около 3,5, а для авандельты — от 1,2 до 2,3), что обусловлено большим содержанием взвешенных частиц. В култуках же и на устьевом взморье в результате гашения скоростей течений взвешенные вещества в значительной степени оседают и прозрачность увеличивается (от 0,35—0,50 м в русловых участках и каналах до 1,0—1,5 м в култуках и авандельте). Но, несмотря на увеличение прозрачности воды в култуках и на устьевом взморье, фактическое вертикальное ослабление света вследствие обильной зарастаемости макрофитами в этих водоемах, очевидно, выше, чем в водохранилищах при идентичной прозрачности вод. Это обусловливает более низкую среднюю продуктивность фитопланктона дельты и устьевого взморья Волги по сравнению с нижними водохранилищами Волги.

Таким образом, на акватории устьевого взморья, где имеются заросли макрофитов, первичная продуктивность последних в несколько раз превышает продуктивность фитопланктона. Общая продуктивность макрофитов дельты и устьевого взморья Волги в настоящее время не поддается учету. Но если только на площади 9,5 тыс. км² обследованной акватории (притом без учета основных продуцентов — тростника и рогоза) она достигла 3 млн т ОВ в сухой массе, то на всей площади дельты и устьевого взморья, а также площади под тростником и рогозом реальная продуктивность будет в несколько раз больше и, вероятно, составит не менее 10 млн т. За вегетационный период макрофитами будет ассимилироваться из грунтов, вовлекаясь в активный круговорот, огромное количество азота и фосфора. При этом обильная высшая водная растительность дельты и устьевого взморья, ассимилирующая корневой системой питательные соли из грунта, очевидно, не является конкурентом фитопланктона в отношении минерального питания. Скорее, наоборот, извлекая корневой системой питательные соли, захороненные в грунты, высшая водная растительность способствует их возвращению в водную среду, что происходит в результате метаболизма как самих растений, так и поедающих их животных. Кроме того, несмотря на замедленное разложение высшей водной растительности после отмирания и частичное захоронение ее в грунты, все же значительная часть содержащихся в ней биогенных элементов возвращается в водную среду.

В дельте и на устьевом взморье Волги продуктивность фитопланктона составляет 3,5—5,0 млн т ОВ в год. При этом фитопланктоном должно ассимилироваться около 0,3—0,4 млн т азота и 0,04—0,06 млн т фосфора. Сопоставление необходимого фитопланктону количества азота и фосфора в дельте и на устьевом взморье Волги с валовым количеством этих элементов, поступающим в верховье дельты с речными водами [109], показывает, что в средние по водности годы потребность фитопланктона в азоте близка к объемам его поступ-

ления в дельту с речными водами, потребность в фосфоре в 1,5—2,0 раза превышает его поступление. В годы минимального стока эта потребность превышает поступление азота в 1,5 раза, фосфора же — в 2,5 раза. Только в годы максимального стока поступление биогенных элементов в дельту превышает потребности фитопланктона по азоту в 1,5 раза; что касается фосфора, то его поступление приблизительно соответствует потребности в нем фитопланктона.

5.3. Баланс органического вещества

Определенное соотношение приходо-расходных составляющих в балансе ОВ Каспийского моря сложилось исторически. Большую роль в балансе химических соединений замкнутого водоема, каким является Каспийское море, играет материковый сток и в первую очередь волжский, поставляющий около 78 % суммарного годового речного стока в море. Баланс ОВ Каспийского моря представлен в табл. 5.9.

В период естественного стока Волги (до зарегулирования), согласно балансу ОВ, рассчитанному В. Г. Дацко [46], с волжским стоком в Каспийское море поступало около 3 % от суммарного годового прихода ОВ в море, составлявшего 207,4 млн т. Это практически единственный источник поступления ОВ извне, так как в основном ОВ в море автохтонного генезиса (созданное за счет продукции главным образом фитопланктона — 200 млн т, роль макрофитов в создании ОВ в море ничтожно мала — 0,4 млн т). Поступление ОВ с речным стоком В. Г. Дацко дает по оценке С. В. Бруевича, сделанной в 30-х годах.

Баланс ОВ Каспийского моря для периода зарегулированного стока ранее не составлялся. По современной оценке, также требующей дальнейших уточнений, в дельту Волги с речными водами поступает в период зарегулированного стока в среднем около 4—4,5 млн т ОВ в год при возможных колебаниях в пределах ±1,5 млн т за счет изменений речного водного стока в маловодные и многоводные годы. Амплитуда колебаний волжского стока биогенных элементов (соединений азота и фосфора) в годы экстремальной водности составляет для периода зарегулирования (1956—1975 гг.) ±(35—40) % от среднего многолетнего [85, 88]. При составлении баланса ОВ Каспийского моря следует учитывать, что реальный сток ОВ в Северный Каспий несомненно отличается от поступающего в верховье дельты, так как на огромной площади дельты и устьевого взморья он подвергается существенной трансформации как в количественном, так и в качественном отношении.

Первую и единственную попытку оценки реального поступления ОВ в Северный Каспий из дельты Волги для периода естественного стока сделал М. П. Гудков (1951). По его наблюдениям, по мере продвижения волжских вод от верховьев дельты к взморью количество ОВ падает. Так, в 1950 г. сток ОВ у Астрахани оценивается им в 3,80 млн т, а на устьевом взморье — в 3,41 млн т (оценка сделана по концентрации ОВ в навигационный период).

Таким образом, разность в значениях стоков растворенного ОВ в створе Астрахани и на приустьевом взморье в 1950 г. при водном стоке 210 км³, по расчетам Гудкова, составляет порядка 0,39 млн т (около 10 %), что он объясняет минерализацией ОВ за время следования вод от Астрахани до взморья. Оценка М. П. Гудкова носит сугубо приближенный характер, и, разумеется, процесс трансформации ОВ в дельте нельзя рассматривать так однозначно, как это делает автор, поскольку, как известно, трансформация ОВ в дельте — интегральный результат комплексного взаимодействия разнонаправленных процессов.

Для периода зарегулированного стока Волги о трансформации биогенного и органического речного стока можно было в какой-то степени судить только на примере протоки Быстрой, пропускающей, по данным К. В. Горбунова [40] за 1959—1965 гг., только около 1,5 % водного стока (по сравнению со створом с. Верхнее Лебяжье). Исходя из этих данных, в дельте может аккумулироваться около половины ОВ, несомого волжским стоком.

Если принять во внимание, что с водами Волги поступает в Каспийское море 78 % водного [76], 81 % солевого [58] и 80 % биогенного стока [12, 58], то суммарный вынос ОВ с речными водами в Каспий составляет около 5 млн т в год (около 2,5 млн т $C_{орг}$).

Продукция фитопланктона, несомненно, является основным источником ОВ в Каспийском море. Впервые оценку продуктивности фитопланктона Каспийского моря в период до зарегулирования стока рек сделал С. В. Бруевич [21, 24, 26], оценивший ее в 200 млн т ОВ (в сухой массе) в год. В. Г. Дацко [46] при составлении баланса ОВ периода естественного стока, используя материалы 40-х, 50-х годов, получил идентичную продуктивность фитопланктона — 200 млн т ОВ (в сухой

Таблица 5.9

Баланс органического вещества Каспийского моря

Приход	Количество ОВ		Расход	Количество ОВ	
	10^6 т	% от суммы прихода		10^6 т	% от суммы расхода
Продукция:					
фитопланктона	100	97,4	На минерализацию	98,48	95,98
макрофитов	0,20	0,2	Осаждение в грунт	4,15	4,0
Со стоком рек	2,50	2,4	Изъятие с промыслом	0,07	0,07
Сумма	102,7	100	Сумма	102,7	100

массе) в год, или около 100 млн т в пересчете на органический углерод.

По заключению В. И. Кузьмичевой и А. И. Бондаренко [78], рассчитавших продукцию фитопланктона Среднего Каспия (на основе определений, выполненных радиоуглеродным методом в 1971 г.), она составляет 20 млн т $C_{орг}$ в год и полностью совпадает с продукцией для Среднего Каспия, полученной по данным С. В. Бруевича. Итак, современная оценка первичной продукции фитопланктона Каспийского моря в целом остается весьма приближенной, отсутствуют достоверные данные для оценки ее колебаний в отдельные годы, а также для сравнения первичной продукции периодов естественного и зарегулированного стока.

Оценка продукции макрофитов Каспийского моря не подвергалась ревизии со времени составления баланса ОВ В. Г. Дацко [46], который принимал ее равной 375 тыс. т ОВ в год. По сравнению с продукцией фитопланктона она составляет ничтожно малое значение — около 0,2 %.

Суммированием поступления ОВ с речным стоком за счет продукции фитопланктона и макрофитов получили общий годовой приход ОВ в Каспийское море с этими источниками, который составил около 205 млн т в год (в расчете на $C_{орг}$ — около 102,7 млн т) при возможных колебаниях в пределах ±1,5 млн т за счет изменений водного стока (см. табл. 5.8).

Вылов рыбы в последний период, по данным Е. А. Яблонской, составляет 471 тыс. т в год; при средней ее влажности около 70 % [143] изъятие ОВ за счет промысла в Каспийском море будет равно 141 тыс. т (в сухой массе) в год. По оценке В. Г. Дацко [46], использующего данные С. В. Бруевича [24, 25] по среднему вылову рыбы за 1934—1937 гг. (450 тыс. т в год) и отмечавшего, что уловы традиционных объектов промысла близки к предельным, изъятие ОВ промыслом составляло в период до зарегулирования стока 135 тыс. т в год в сухой массе ОВ.

В грунты Каспийского моря в период естественного стока рек, по расчетам В. Г. Дацко [46], основанным на материалах исследований Т. И. Горшковой [42] и С. В. Бруевича [24, 26], откладывалось около 8 млн т ОВ в год. Это составляло 4 % суммарного поступления аллохтонного ОВ с материка и автохтонного ОВ, продуцируемого фитопланктоном и макрофитами в самом море. Эту же цифру отложения ОВ в грунты Каспийского моря в период зарегулированного стока дает О. К. Бордовский [20] — около 8,3 млн т в год, или около 4,15 млн т в органическом углероде. Новые данные для уточнения количества ОВ, отложившегося в грунты Каспийского моря, отсутствуют. Можно лишь отметить, что в период зарегулированного стока значительных изменений в валовом стоке ОВ с волжскими водами, поступающими в вершину дельты, не наблюдается. Это является результатом взаимной скомпенсированности разнонаправленных процессов в системе река — водохранилища. Однако геоморфологические (отшнуровка баром), гидробиологические (увеличение зарастаемости) изменения в дельте и на устьевом взморье, способствующие увеличению аккумуляции ОВ в низовье дельты и на устьевом взморье, обусловливают уменьшение поступления аллохтонного ОВ в Северный Каспий. Наблюдаемое к тому же снижение первичной продуктивности в Северном Каспии определяет и уменьшение отложения ОВ в грунты Северного Каспия [88].

Итак, современные знания в области баланса ОВ Каспийского моря за период, истекший со времени выхода в свет работ С. В. Бруевича [24, 26] и В. Г. Дацко [46], т. е. соответственно за 40-летний и 20-летний периоды, существенно не пополнились, и баланс ОВ этого важнейшего в народном хозяйстве водоема по-прежнему является сугубо ориентировочным. Весьма скудны сведения по всем приходо-расходным составляющим баланса ОВ Каспийского моря, не говоря уже об оценке их межгодовых флюктуаций. В то же время для глубокого понимания биогеохимических процессов в море необходим расчет баланса ОВ дифференцированно для Северного, Среднего и Южного Каспия. Полученный ориентировочный баланс ОВ моря позволяет в определенной степени судить о биогеохимической модели моря, о направленности и интенсивности биогеохимических процессов.

Таким образом, в балансе ОВ Каспийского моря в целом резко превалирует автохтонное ОВ, синтезируемое фитопланктоном, продукция которого достигает 97 % от общего годового прихода ОВ в море. Вклад макрофитов в баланс ОВ менее 1 %.

Речной сток, на долю которого в балансе ОВ Каспийского моря приходится около 2,5 %, играет несоизмеримо более важную роль в балансе ОВ Северного Каспия, а также и в его продуктивности. Биогенные элементы, особенно связанный азот, поступают в Северный Каспий в основном с речным стоком в форме органических соединений.

Соответственно в Южном Каспии практически все поступление ОВ происходит за счет продуктивности фитопланктона.

Для общей оценки продуктивности морей показательны удельные характеристики — общее годичное поступление ОВ, отнесенное к площади и объему моря. В среднем для Каспийского моря за год поступает ОВ около 550 т/км^2 площади и 2,6 т/км^3 объема моря (в пересчете на $C_{орг}$ соответственно около 273 т/км^2 и 1,3 т/км^3). Каспийское море в удельном поступлении ОВ существенно уступает только одному из внутриматериковых морей нашей страны — высокопродуктивному Азовскому морю, в котором удельное поступление ОВ достигает (с учетом водообмена с Черным морем) 443 т/км^2 и 54 т/км^3.

В Южном Каспии минерализации подвергается около 96 % годового прихода ОВ и только около 4 % его откладывается в грунты, а коэффициент фоссилизации составляет 4,15 %, что обусловлено высокой степенью минерализации ОВ.

Коэффициент фоссилизации ($K_ф$) органического вещества показывает долю захоронения ОВ (в %) от суммы первичной продукции. Для Мирового океана в среднем коэффициент фоссилизации равен 0,40 %. Таким образом, из круговорота ОВ в Мировом океане ежегодно в донные отложения переходит примерно 0,4 % той энергии, которая была создана фитопланктоном. Для подводных окраин Мирового океана $K_ф$ значительно выше — около 2 %. Особенно велики коэффициенты фоссилизации для внутриматериковых морей со слабым водообменом и для замкнутых морей, каким является и Каспийское море.

Изъятие ОВ промыслом по сравнению с прочими составляющими расхода существенного значения в балансе ОВ не имеет. Но В. Г. Дацко [46] считает, что отношение ОВ, изымаемого промыслом, к суммарному приходу ОВ или к продукции фитопланктона позволяет судить об интенсивности промысла. Даже в Азовском море, где вылов рыбы близок к предельному, используется лишь небольшая часть ОВ, продуцируемого фитоплактоном, — 0,18 % (в сухой массе). В Каспийском море рыбным промыслом изымается около 0,07 % от количества ОВ, синтезируемого фитопланктоном.

Заключение к гл. 5

Большое значение в биогеохимии водоемов, в круговороте вещества и энергии в водоеме (море) имеет органическое вещество, а в замкнутых морях особую роль играет органический материковый сток. Около 80 % органического материкового стока в Каспий поступает с водами Волги. В дельте Волги, этом уникальном природном образовании, органический материковый сток существенно трансформируется, как в количественном, так и качественном отношении.

Для понимания функционирования морской экосистемы, моделирования и прогнозирования, особенно в современный период интенсивного антропогенного воздействия, необходимо моря и реки рассматривать как единое целое. Изучение функционирования экосистемы, особенно Северного Каспия, невозможно без изучения органического стока Волги, процессов его формирования и трансформации в дельте и на устьевом взморье и реального стока ОВ в море.

Основными источниками ОВ в дельте и на устьевом взморье Волги являются поступления аллохтонного ОВ с материковым стоком в верховье дельты и синтез его фитопланктоном и макрофитами непосредственно в дельте. В период интенсивного антропогенного воздействия эти факторы и их относительная роль значительно изменились.

Эволюция органического стока Волги определялась интегральной результирующей взаимодействия природных и возрастающих антропогенных факторов, с одной стороны, ведущих к снижению органического стока (аккумулирующая роль водохранилищ, безвозвратный водозабор), с другой — к обогащению материкового стока органическим веществом (стоки: промышленные, сельскохозяйственные, бытовые). К увеличению органического стока Волги приводит также возрастание доли автохтонного ОВ в результате увеличения фотосинтезирующей площади и толщи фотосинтетического слоя в системе водохранилищ. В результате превалирования последних факторов происходит обогащение органического стока. Анализ материалов за 1952—1975 гг. показал, что, несмотря на последовательное снижение годового водного стока от периода I (1952—1955 гг.)* к периодам II (1956—1962 гг.) и III (1963—1975 гг.) (соответственно 240, 234 и 214 км³), средние годовые стоки ОВ этих периодов практически идентичны (4,16; 4,16 и 4,11 млн т). Отмечена тенденция возрастания положительной разницы в органическом стоке с увеличением водности сопоставляемых лет периода естественного стока и периода зарегулированного стока, особенно последнего десятилетия (от 15 % в маловодные годы до 20 % в многоводные и до 40 % в годы очень высокой водности).

В период интенсивного антропогенного воздействия материковый органический сток в верховье дельты изменяется в широких пределах — от 2,5 до 10,0 млн т (в годы экстремальной водности) при среднем значении порядка 4,5 млн т (около 2,25 млн т в пересчете на $C_{орг}$). В материковом стоке преобладает растворенное ОВ (80—85 %), в многоводные годы доля взвешенной фракции возрастает за счет увеличения «смывной» активности паводковых вод. Возросла относительная доля автохтонного ОВ и доля ОВ антропогенного генезиса.

Внутригодовое распределение органического стока в верховье дельты определяется в период зарегулированного стока не только природными факторами, но и попусками воды из водохранилищ. Максимальный сток ОВ приходится на паводковые воды (до 30 % годового), минимальный — на осенне-зимний период.

В балансе ОВ дельты и устьевого взморья Волги годовая продукция фитопланктона составляет 3,5—5,0 млн т (около 1,75—2,5 млн т $C_{орг}$), что соответствует количеству поступления ОВ с волжскими водами в верховье дельты. Однако при учете продукции водных макрофитов (на порядок большей, чем фитопланктона) количество автохтонного ОВ в дельте и на устьевом взморье намного превышает количество аллохтонного ОВ, поступающего в дельту.

Баланс ОВ в дельте и авандельте Волги в целом положительный: в дельту и авандельту поступает и продуцируется в ней в сумме гораздо больше ОВ, чем его выносится в Северный Каспий. Значительная часть ОВ аккумулируется в основном в низовье дельты и авандельте. Количество ОВ, выносимого в море, приблизительно одного порядка с количеством ОВ, поступающего с речными водами в верховье дельты.

Направленность и интенсивность продукционно-деструкционных процессов определяются особенностями экосистемы исследуемого региона, которая подразделяется на две экосистемы различного типа: водотоки и водоемы с присущей им спецификой (последние можно также подразделить на открытые и заросшие водными макрофитами). В русловых участках вследствие малой прозрачности (0,25—0,60 м) процессы фотосинтеза фитопланктона протекают только в тонком поверхностном слое, составляющем не более 10 % толщи водной массы. В мелководных водоемах нижней зоны дельты (култуки) и авандельте, а также в полойных водоемах, где вода прозрачна нередко до дна (при глубине 0,5—1,6 м), фотосинтезирующей является практически вся толща вод. При «плоскостном» стоке вод в нижней зоне дельты, достигающем в средневодный год 70—80 %, в период вегетации фотосинтезирующим (при прохождении нижней зоны) является объем вод около 115—125 км³; водная масса порядка 110—120 км³ в год при следовании через эту зону является только «деструкционной». При прохождении через верхнюю и среднюю зоны (в период вегетации) лишь около 15 км³ вод являются фотосинтезирующими, а около

* Период до зарегулирования стока водохранилищем.

220 км³ в год — «деструкционными». В разгар вегетационного периода в водной массе авандельты продукция фитопланктона в среднем в 2,0—2,5 раза превышает деструкцию; в русловых участках, наоборот, деструкция в объеме русловых вод в среднем в 10 раз превышает продукцию фитопланктона.

В русловых участках распределение фитопланктона и хлорофилла, а также ОВ по всей глубине практически равномерно вследствие интенсивного перемешивания вод. Фитопланктон придонных вод полностью сохраняет жизнеспособность и при экспонировании в поверхностных водах дает продуктивность, равную продуктивности фитопланктона поверхностных вод.

В продуктивности фитопланктона дельты и авандельты Волги отмечена не только значительная сезонная и зональная, но и межгодовая вариабельность. В суровые зимы продуктивность фитопланктона понижается до уровня чувствительности метода определения. В мягкие зимы, даже в январе, при нулевых температурах воды она может достигать сравнительно больших значений в 4—5 раз превышая деструкцию в поверхностных водах и обеспечивая хорошую насыщенность вод кислородом, близкую 100 %. При малочисленности фитопланктона ассимиляционные числа в условиях мягкой зимы могут быть очень высокими, что свидетельствует о высокой фотосинтетической активности.

В условиях суровых зим с выраженным ледяным покровом даже в конце гидрологической зимы (март) продуктивность фитопланктона в русловых участках невысокая — от 0 до 10 мг/м³ в сутки. Лишь в авандельте она достигает 100 мг/м³ в сутки, а ассимиляционные числа близки к единице, что обусловливает ухудшение кислородного режима (насыщение < 50 %). Деструкционные процессы в условиях суровых зим протекают вяло, а $БПК_5$ (*in situ*) понижается до значений, близких чувствительности метода.

В условиях мягких зим и раннего прогрева вод продуктивность фитопланктона достигала 100—450 мг/м³ в сутки, ассимиляционные числа — 10—30, деструкционные процессы были весьма интенсивными ($БПК_5$ *in situ* составила 1,0—2,5 мг/л). Продуктивность в поверхностных водах превышала деструкцию в руслах в 5—10 раз, на мелководье — в 1,5—2,5 раза. В зимний период существенные различия в интенсивности продукционно-деструкционных процессов между западной и восточной частью дельты не наблюдались.

В пик паводка происходит значительное прогревание вод (до 15—20 °С в руслах и на мелководье). Отмечены существенные температурные различия не только зональные, но и между западной и восточной половиной дельты. В это время года продуктивность фитопланктона в поверхностных водах местами превышает 1000 мг/м³ в сутки. Значения $БПК_5$ повышаются в руслах до 2—4 мг/л, в авандельте до 1,5—4,0 мг/л (при минимальных значениях на морском крае авандельты 1,0—1,5 мг/л), в култуках местами до 5 мг/л.

Изменения $БПК_5$ отражают изменения ХПК в паводковых водах по мере их следования по дельте: ХПК увеличивается за счет вымывания ОВ по мере следования вод от вершины дельты по зонам I—III (до 40—45 мг/л), затем снижается за счет седиментационных процессов в авандельте (<40 мг/л) до минимума на морском крае авандельты (до 30 мг/л и ниже). Продукционные процессы в поверхностных водах повсюду превышают деструкционные. Особенно это проявляется в западной части дельты (4,5—7,0 раз), где они наиболее интенсивны. В восточной части дельты продуктивность фитопланктона несколько ниже, а деструкционные процессы, наоборот, интенсивнее, чем в западной (но при этом продукция превалирует над деструкцией). Насыщенность вод кислородом в паводок определяется в первую очередь интенсивностью деструкционных процессов, обусловленных повышенными концентрациями ОВ, особенно в годы высокого паводка. Между насыщенностью вод кислородом в паводковый период и водностью существует обратная связь. В русловых участках вследствие интенсивного перемешивания вод разность между насыщенностью кислородом поверхностных и придонных вод незначительна. Наиболее низким содержанием кислорода отличаются воды култуков, наиболее высоким — русловые воды.

В апогее летнего периода, когда уровень воды близок к минимальному, а температура — к максимальной, в наибольшей степени активизируются и продукционно-деструкционные процессы. Наибольшая зональная продуктивность фитопланктона, как и интенсивность продуцирования (ассимиляционные числа), наблюдается в поверхностных водах русловых участков, особенно западной части дельты. Продуктивность фитопланктона изменялась в широких пределах (от 120 до 1600 мг/м³ в сутки). Продуцирующим первичное ОВ в русловых участках был только поверхностный слой (0,5 м).

В авандельте при глубинах около 1,5 м продуктивность фитопланктона придонных вод снижалась по сравнению с продуктивностью фитопланктона поверхностных вод на порядок, при этом в поверхностном слое продуктивность в 5,0—6,5 раз превышала деструкцию, в придонных, наоборот, деструкционные процессы вдвое превышали продукционные. Интенсивность деструкционных процессов поверхностных и придонных вод (даже в глубоких русловых участках) одинаковая вследствие сильного перемешивания, гомотермии и равномерного распределения ОВ по вертикали. Однако имеются существенные зональные различия в этих процессах.

При относительно высоких концентрациях растворенного кислорода в водах дельты и авандельты 100 %-ная насыщенность поверхностных вод кислородом или даже легкое пересыщение типичны только для верхней зоны дельты и средней зоны западной ее части, а также авандельты. Для русел нижней зоны, средней зоны восточной части дельты и култуков типично некоторое недонасыщение вод кислородом. Сравнительно невысокая насыщенность поверхностных русловых вод кислородом, несмотря на значительное превалирование в них продукционных процессов над деструкционными, объясняется интенсивным перемешиванием тонкого слоя «фотосинтезирующих» поверхностных вод с массой подстилающих вод, в которых протекают только деструкционные процессы.

В осенний период интенсивность продукционно-деструкционных процессов угасает. В сентябре в поверхностных водах продукционные процессы

повсюду еще значительно превалировали над деструкционными; в октябре значение ПП : $БПК_t$ резко снижалось.

В целом интенсивность продукционно-деструкционных процессов в октябре определяется температурным режимом. В сравнительно маловодный холодный год октябрь характеризуется уже низкой продуктивностью фитопланктона (в основном < 100 мг/м^3 в сутки) и низкими ассимиляционными числами. В октябре в дельте в целом даже в поверхностных водах деструкционные процессы несколько превалируют над продуктивностью фитопланктона, среднее значение ПП : $БПК_t \sim 1$.

В условиях многоводного года при температуре воды в октябре, превышающей среднюю многолетнюю, продуктивность фитопланктона еще достаточно высокая (местами до 500 мг/м^3 в сутки и даже выше). В этот период отмечаются значительные различия в продуктивности между западной и менее обводненной восточной частью дельты.

Наиболее неустойчивой величиной характеризуется продуктивность фитопланктона в ноябре, когда в экстремальные по термическим условиям годы максимум средней месячной продукции в ноябре в период теплой осени может в 50 раз превышать минимальную продукцию в ноябре в период холодной осени.

Концентрация и биохимический состав ОВ в водах дельты и аванделыты отличаются от характеристик ОВ речных вод материкового стока, поступающих в верховье дельты и затем в Северный Каспий. Зональные различия в характеристиках ОВ определяются интенсивностью и направленностью комплекса внутриводоемных процессов, протекающих в дельте и аванделыте и специфичных для различных зон дельты. Степень зональных различий ОВ в концентрациях и биохимическом составе определяется сезоном, а также гидрологическими особенностями года. Физические процессы вымывания ОВ из почвогрунтов, особенно в паводковый период, наиболее характерны для верхних зон западной и восточной частей дельты; седиментационные аккумулятивные процессы сильнее выражены в низовье дельты в результате гашения скоростей течения. Доля автохтонного ОВ в вегетационный период также выше в мелководье низовья дельты и устьевого взморья, чем в русловых водах, особенно верхних и средних зон западной и восточной частей дельты.

Максимальные концентрации ОВ характерны для летнего меженного периода (средние зональные концентрации достигают 30—40 мг/л и более); несколько снижаются они в осенний период (до 20—30 мг/л). Минимальные концентрации ОВ в зимний период оказываются <30 мг/л. В вегетационный период, особенно летом, повышается доля белковой составляющей ОВ; в зимний период (вследствие трансформации ОВ) — углеводной. В водах дельты и аванделыты отношение C : N, характеризующее биохимический состав ОВ, изменяется по зонам и сезонам в основном в пределах 15—30, реже 10—40. Отношение C : P, как правило, более 200, а в зимний период — более 500, что свидетельствует о преобладании ОВ растительного происхождения. В водах дельты и устьевого взморья растворенное ОВ (около 85 %) преобладает над взвешенным.

В результате совокупности комплекса разнонаправленных физических, химических и биологических процессов, протекающих в дельте и аванделыте Волги, в годовом аспекте доминируют процессы, ведущие к обогащению вод биогенными элементами и ОВ. Однако обогащение речных вод материкового стока в дельте ОВ, не приводит к увеличению органического стока в Северный Каспий, поскольку значительная часть ОВ аккумулируется в низовье, дельте и аванделыте. В результате трансформации органический материковый сток в дельте претерпевает и качественные изменения — ОВ вод, поступающих в Северный Каспий, несколько богаче азотной составляющей, чем ОВ вод, поступающих в верховье дельты. Интенсивный фотосинтез в мелководье дельты способствует биологическому связыванию минеральных растворенных форм биогенных элементов речного стока и их трансформации в органические формы, в результате чего снижается доля легкоусвояемых форм биогенных элементов для фитопланктона в водах материкового стока, поступающих в Северный Каспий.

Речные воды за время следования от верхнего створа вниз обогащаются ОВ и соединениями азота и фосфора.

Таким образом, изменения, происшедшие за последние десятилетия в дельте и на устьевом взморье Волги (отшнуровка баром, увеличение зарастаемости), способствующие увеличению аккумуляции ОВ в низовье дельты и на устьевом взморье, обусловливают уменьшение поступления ОВ в Северный Каспий, несмотря на некоторое увеличение его поступления в верховье дельты. Уменьшение стока минеральных растворенных соединений азота и фосфора вследствие интенсивной их ассимиляции фитопланктоном и макрофитами в низовье дельты также способствует снижению биопродуктивности Северного Каспия.

В Северном Каспии максимальное содержание ОВ в водах предустьевого пространства приходится на пик паводка, так как паводковые воды вносят огромное количество как растворенного, так и взвешенного ОВ. В июне (по данным КаспНИРХа) среднее содержание растворенного ОВ в водах Северного Каспия составляло около 12 мг/л. В июне и августе наиболее высокие концентрации ОВ отмечены в западной части к югу от аванделыты, меньше — в центральной части. В целом в водах Северного Каспия концентрация ОВ изменялась в широких пределах: от 2 до 40 мг/л растворенного и от 2 до 5 мг/л взвешенного ОВ.

Наиболее высокие концентрации ОВ наблюдаются в районе, находящемся под непосредственным влиянием стока Волги (в летний период около 20 мг/л), но и здесь они, как правило, вдвое ниже, чем в водах низовья дельты. Резкое снижение концентрации ОВ отмечено на свале глубин (до 10 мг/л). В среднем для Каспийского моря, по приближенной оценке, концентрация ОВ составляет 10—12 мг/л.

Таким образом, биопродуктивность морей определяется в основном следующими факторами: интенсивностью обмена веществом на границе сред, удельным поступлением биогенных элементов и ОВ в моря, формой поступающих соединений, особенностями миграции химических соединений и ин-

тенсивностью их оборачиваемости в море. Наиболее благоприятное сочетание вышеуказанных факторов обеспечивает высокую биопродуктивность Азовского и Каспийского морей.

6. ЭЛЕМЕНТЫ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ

Карбонатная система, являющаяся одной из самых сложных равновесных систем в море, непосредственно связана с биологическими процессами, с круговоротом углерода — фотосинтезом и окислением органической материи, которые, наряду с физическими факторами, определяют пространственно-временну́ю изменчивость ее характеристик. Состояние карбонатной системы демонстрирует механизм устойчивости химической структуры морской среды и взаимосвязь концентраций всех веществ в равновесной системе.

Карбонатная система неразрывно связана с другими системами, например с биологической. Уменьшение или увеличение CO_2 в результате фотосинтеза или деструкционных процессов вызывает соответствующие изменения pH и влияет на карбонатно-кальциевое равновесие морской среды.

В морских водах карбонатная система обычно характеризуется эмпирическими и расчетными показателями, такими как pH, общая щелочность, парциальное давление углекислоты p_{CO_2}. При наличии данных по солености и температуре можно рассчитать и другие элементы этой системы.

Обычно общее содержание компонентов карбонатной системы в океанических водах пропорционально солености, но в морских водах эта закономерность часто нарушается опреснением речным стоком, а также ледообразованием и таянием льдов.

6.1. Сезонные и многолетние изменения pH

Распределение и динамика концентраций водородных ионов pH прежде всего связаны с состоянием карбонатной системы водной среды и во многом определяются режимом ее карбонатно-кальциевого равновесия и солевым составом вод.

Концентрация водородных ионов pH функционально связана с концентрацией CO_2 и продуктов ее диссоциации в воде. Изменения температуры и давления в значительной мере оказывают влияние на термодинамическую константу ионного произведения воды. При этом изменяется растворимость угольной кислоты и константы ее диссоциации, что, в свою очередь, определяет и направленность изменений pH.

Значения pH являются показателями направленности и напряженности биохимических процессов. Превалирование процесса фотосинтеза над окислением ОВ приводит к понижению p_{CO_2} и повышению pH; превалирование окислительных процессов обусловливает повышение p_{CO_2} и понижение pH. В процессе образования ОВ происходит потребление углекислоты и сдвиг реакции в щелочную сторону. При окислении ОВ выделяется углекислота и значения pH уменьшаются.

Немаловажную роль в изменениях pH среды играют физические факторы: циркуляция вод, образование фронтальных зон и зон смешения, седиментация. Особенно это проявляется в тот период, когда процесс фотосинтеза затухает.

Показатель pH нередко является и хорошим индикатором водных масс. Некоторые исследователи подчеркивают исключительное своеобразие в режиме pH в районах устьевых взморий, обнаруживая локальные повышения концентраций водородных ионов в различных водных массах динамичных районов моря [17, 136].

В Северном Каспии годовой ход pH в какой-то степени повторяет годовой ход температуры и солености воды. В течение 1961—1983 гг. среднее взвешенное значение pH с весны — начала лета, когда оно составляло 8,35, возросло к концу лета — началу осени до 8,41 и достигло максимума в конце осени — 8,43. В этом же регионе температура в конце лета возросла до максимального значения — 23,5 °С и осенью понизилась до 11,4 °С.

Средние значения солености с весны — начала лета увеличились с 8,5 до 8,7 ‰, к концу лета и осенью достигли максимума — 9,0 ‰ (рис. 6.1).

Среднее годовое значение pH за исследуемый период было наименьшим в 1961 г. — 8,33, затем шло постепенное его повышение и в 1971 г. оно было наибольшим за 23 года — 8,52, затем произо-

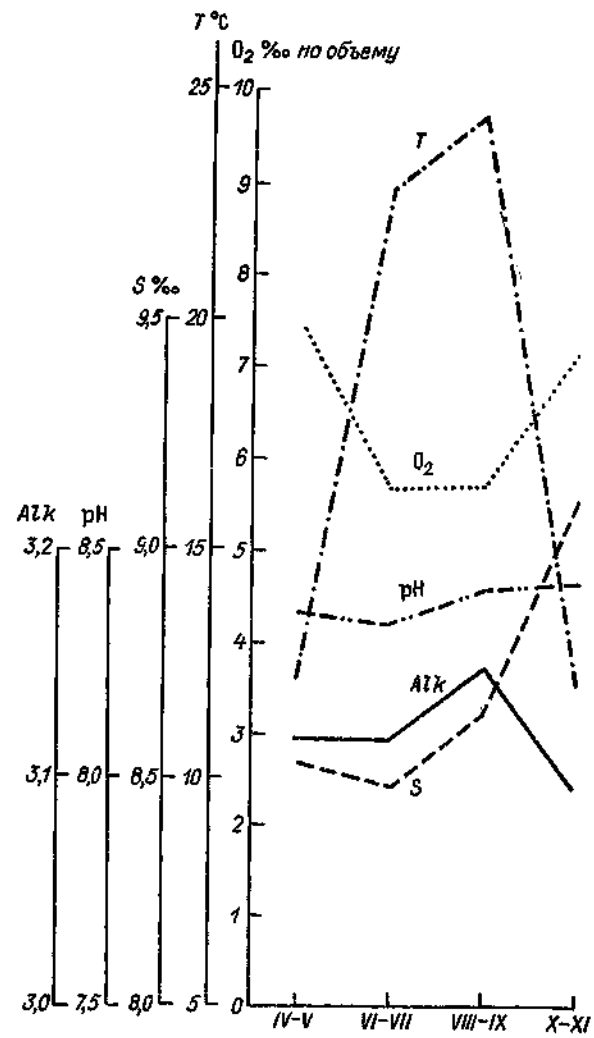


Рис. 6.1. Сезонный ход средних взвешенных значений pH, *Alk*, O_2, *S* и *T* в Северном Каспии.

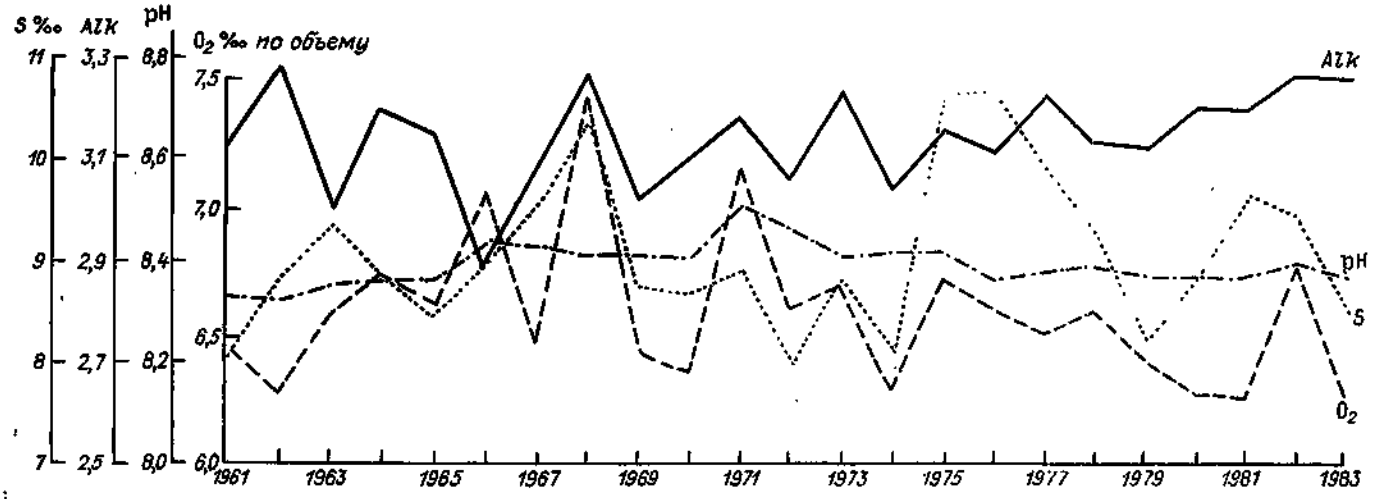


Рис. 6.2. Многолетний ход средних взвешенных значений pH, *Alk*, O_2 и *S* в Северном Каспии.

шло понижение значений pH до 8,36 в 1976 г. В последующие годы (до 1983 г.) средние годовые значения pH в Северном Каспии практически оставались на том же уровне (рис. 6.2).

В западной части Северного Каспия вертикальное распределение pH до 5-метровой глубины оказывается довольно равномерным, изменяясь в пределах 0,05. По мере приближения к Среднему Каспию на глубоководных станциях различия pH по вертикали увеличиваются (рис. 6.3 *б, г*). Значительный вертикальный градиент pH отмечается также в центральной части Бузачинского порога, где pH с глубиной понижается до 8,05 (рис. 6.3 *в*).

В районе Уральской бороздины вертикальное распределение pH оказывается, как правило, равномерным (рис. 6.3 *а*).

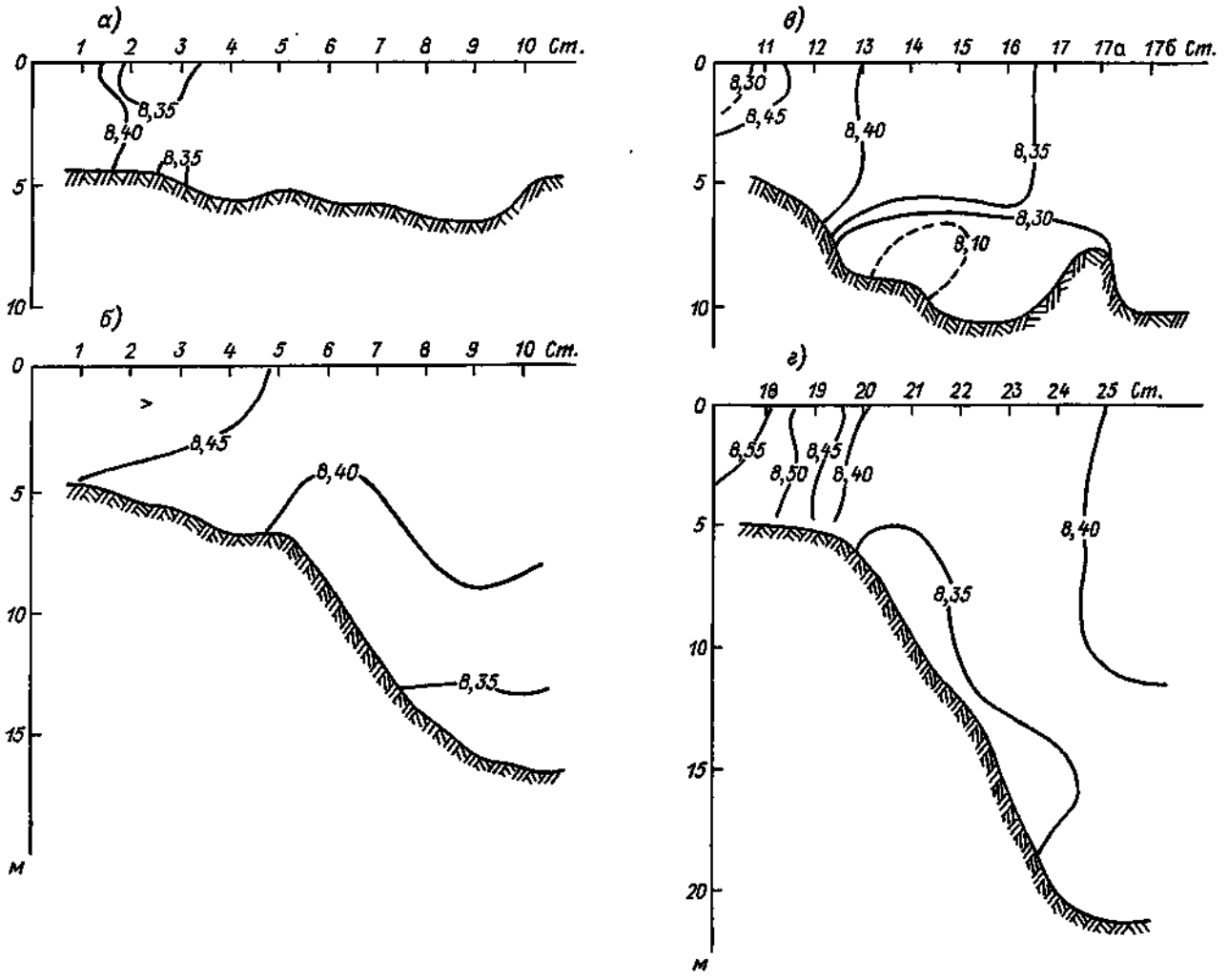


Рис. 6.3. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение pH в Северном Каспии на разрезе I (*а*), IIIа (*б*), II (*в*) и III (*г*).

Распределение pH в зимний период

Химический состав системы снег — лед — подледная вода Северного Каспия рассматривался в п. 2.4.2.

Диапазон колебаний значений активной реакции водной среды в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием в зимний период в поверхностном слое составил 0,1. Некоторая тенденция к увеличению pH прослеживалась на мелководных станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак в его западной части, т. е. в районе, наиболее подверженном влиянию стока Волги. Здесь же на основе рассчитанных статистических характеристик была обнаружена и наибольшая изменчивость pH по сравнению с аналогичными характеристиками, полученными для более глубокой центральной части данного района моря, где вертикальное распределение pH можно было рассматривать как однородное (табл. 6.1).

Вертикальное распределение pH в районе устьевых взморий Терека и Самура и восточных мелководий также оказывается в зимнее время весьма однородным (табл. 6.2).

Анализ изменений pH в поверхностном слое моря на разрезе Дивичи — Кендерли показал, что в зимнее время максимальные значения pH имеют место в районе западного и восточного побережья, а в центральной части разреза pH понижается. Так, различия между экстремальными значениями pH в поверхностном слое моря в данном районе достигали 0,22.

Распределение pH по вертикали характеризуется тем, что максимальные значения pH наблюдаются в поверхностном слое моря, что свидетельствует о продолжающихся в это время года фотосинтетических процессах. Последовательное снижение pH ко дну происходит в результате разложения ОВ.

Максимальные различия в значениях pH между поверхностным и придонным горизонтом (0,15—0,20) были отмечены на глубоководных станциях разреза. Сопоставление материалов исследований показывает, что установленные ранее основные закономерности распределения водородного показателя по акватории моря в зимний период [22, 100] сохраняются и в современных условиях.

Таблица 6.1

Основные статистические характеристики pH на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак в разные сезоны за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность					Горизонт 10 м					Дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Зима															
1	8	8,59	0,52	6	8,20—8,98	—	—	—	—	—	6	8,43	0,16	2	8,29—8,57
2	8	8,52	0,16	2	8,40—8,64	6	8,46	0,12	1	8,36—8,56	6	8,49	0,09	1	8,41—8,57
3	8	8,51	0,11	1	8,43—8,59	6	8,50	0,09	1	8,42—8,58	6	8,50	0,09	1	8,42—8,58
4	8	8,48	0,07	1	8,43—8,53	5	8,48	0,07	1	8,42—8,54	6	8,48	0,06	1	8,43—8,53
5	8	8,48	0,06	1	8,44—8,52	6	8,48	0,07	1	8,42—8,54	6	8,48	0,06	1	8,43—8,53
6	8	8,49	0,09	1	8,42—8,56	6	8,48	0,08	1	8,41—8,55	6	8,48	0,08	1	8,41—8,55
7	8	8,50	0,09	1	8,43—8,57	—	—	—	—	—	6	8,49	0,07	1	8,43—8,55
Весна															
1	10	8,46	0,10	1	8,39—8,53	—	—	—	—	—	9	8,46	0,10	1	8,39—8,53
2	8	8,43	0,05	1	8,39—8,47	6	8,42	0,06	1	8,37—8,47	7	8,51	0,20	2	8,35—8,67
3	10	8,43	0,07	1	8,38—8,48	9	8,45	0,07	1	8,40—8,50	9	8,45	0,07	1	8,40—8,50
4	9	8,45	0,07	1	8,40—8,50	6	8,45	0,08	1	8,38—8,52	8	8,47	0,08	1	8,41—8,53
5	10	8,47	0,06	1	8,43—8,51	9	8,48	0,06	1	8,44—8,52	9	8,48	0,05	1	8,45—8,51
6	9	8,44	0,06	1	8,40—8,48	7	8,48	0,04	0,5	8,45—8,51	8	8,46	0,05	1	8,42—8,50
7	10	8,31	0,34	4	8,08—8,54	—	—	—	—	—	9	8,26	0,52	6	7,89—8,63
Лето															
1	13	8,53	0,12	1	8,46—8,60	—	—	—	—	—	11	8,41	0,14	2	8,32—8,50
2	13	8,54	0,07	1	8,50—8,58	10	8,46	0,14	2	8,37—8,55	11	8,36	0,19	2	8,24—8,48
3	13	8,52	0,08	1	8,47—8,57	11	8,49	0,10	1	8,43—8,55	11	8,39	0,13	2	8,31—8,47
4	12	8,47	0,06	1	8,43—8,51	11	8,46	0,08	1	8,41—8,51	10	8,37	0,14	2	8,28—8,46
5	13	8,46	0,08	1	8,41—8,51	10	8,44	0,09	1	8,38—8,50	11	8,37	0,11	1	8,30—8,44
6	13	8,49	0,15	2	8,40—8,58	10	8,39	0,09	1	8,33—8,45	11	8,35	0,13	2	8,27—8,43
7	13	8,41	0,08	1	8,36—8,46	—	—	—	—	—	11	8,42	0,13	2	8,34—8,50
Осень															
1	12	8,43	0,27	3	8,26—8,60	—	—	—	—	—	11	8,34	0,30	4	8,15—8,53
2	12	8,39	0,41	5	8,14—8,64	9	8,33	0,43	5	8,02—8,64	11	8,38	0,47	6	8,08—8,68
3	12	8,39	0,42	5	8,13—8,65	11	8,37	0,48	6	8,06—8,68	11	8,37	0,52	6	8,04—8,70
4	12	8,39	0,43	5	8,12—8,66	11	8,35	0,47	6	8,05—8,65	11	8,34	0,48	6	8,03—8,65
5	12	8,35	0,45	5	8,07—8,63	10	8,49	0,10	1	8,42—8,56	11	8,31	0,51	6	7,38—8,64
6	12	8,38	0,35	4	8,16—8,60	9	8,31	0,42	5	8,01—8,61	11	8,33	0,39	5	8,08—8,58
7	12	8,38	0,30	4	8,19—8,57	—	—	—	—	—	11	8,36	0,30	4	8,17—8,55

Таблица 6.2

Основные статистические характеристики pH в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия в различные сезоны года

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta = 0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta = 0{,}95$)
Зима											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	70	8,41	0,09	1	8,39—8,43	70	8,42	0,10	1	8,39—8,45
Район Махачкалы		82	8,43	0,07	1	8,41—8,45	70	8,43	0,06	1	8,42—8,44
Взморье р. Самура		26	8,46	0,10	1	8,42—8,50	26	8,47	0,10	1	8,43—8,51
Район Форт-Шевченко	1967—1985	44	8,41	0,08	1	8,38—8,44	43	8,43	0,06	1	8,41—8,45
Район м. Бекдаш		28	8,47	0,08	1	8,44—8,50	21	8,44	0,08	1	8,40—8,48
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	216	8,31	0,23	3	8,28—8,34	205	8,32	0,18	2	8,29—8,35
Сумгаит		143	8,42	0,13	2	8,40—8,44	142	8,39	0,13	2	8,37—8,41
Нефтяные Камни		68	8,41	0,10	1	8,38—8,44	72	8,36	0,07	1	8,34—8,38
Туркменский залив		25	8,48	0,09	1	8,44—8,52	25	8,47	0,11	1	8,42—8,52
Район п-ова Челекен		13	8,54	0,04	0,5	8,52—8,56	13	8,52	0,04	0,5	8,50—8,54
Красноводский залив		38	8,44	0,10	1	8,41—8,47	38	8,43	0,10	1	8,40—8,46
Ленкорань	1967—1985	39	8,49	0,02	2	8,48—8,50	38	8,46	0,02	2	8,45—8,47
Взморье р. Куры		29	8,44	0,09	1	8,41—8,47	29	8,41	0,09	1	8,37—8,45
Весна											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	164	8,43	0,14	2	8,41—8,45	164	8,41	0,11	1	8,39—8,43
Район Махачкалы		148	8,40	0,09	1	8,38—8,42	124	8,39	0,07	1	8,38—8,40
Взморье р. Самура		49	8,38	0,28	3	8,29—8,47	49	8,42	0,08	1	8,40—8,44
Район Форт-Шевченко	1967—1985	49	8.43	0,07	1	8,41—8,45	49	8,41	0,08	1	8,39—8,43
Район м. Бекдаш		25	8,43	0,08	1	8,40—8,46	13	8,42	0,07	0,7	8,38—8,46
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	364	8,27	0,17	2	8,25—8,29	331	8,29	0,16	2	8,27—8,31
Сумгаит		310	8,34	0,14	2	8,32—8,36	299	8,32	0,13	2	8,30—8,34
Нефтяные Камни		76	8,43	0,11	1	8,40—8,46	148	8,37	0,12	1	8,35—8,39
Туркменский залив		37	8,41	0,17	2	8,35—8,47	38	8,32	0,20	2	8,25—8,39
Район п-ова Челекен		12	8,43	0,11	1	8,36—8,50	12	8,42	0,12	1	8,35—8,49
Красноводский залив		20	8,40	0,11	1	8,35—8,45	21	8,24	0,62	7	7,95—8,53
Ленкорань		37	8,42	0,13	1	8,38—8,46	34	8,40	0,14	2	8,35—8,45
Взморье р. Куры		23	8,46	0,11	1	8,41—8,51	25	8,43	0,09	1	8,39—8,47
Лето											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	188	8,42	0,13	2	8,40—8,44	188	8,39	0,14	2	8,37—8,41
Район Махачкалы		132	8,42	0,12	1	8,40—8,44	108	8,41	0,14	2	8,38—8,44
Взморье р. Самура		46	8,44	0,09	1	8,41—8,47	46	8,41	0,12	1	8,37—8,45
Район Форт-Шевченко	1967—1985	54	8,35	0,12	1	8,32—8,38	55	8,29	0,11	1	8,26—8,32
Район м. Бекдаш		30	8,45	0,14	2	8,40—8,50	25	8,44	0,12	1	8,39—8,49
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	267	8,22	0,17	2	8,20—8,24	244	8,23	0,16	2	8,21—8,25
Сумгаит		191	8,36	0,12	2	8,34—8,38	189	8,33	0,12	1	8,31—8,35
Нефтяные Камни		184	8,36	0,15	1	8,33—8,39	106	8,64	0,14	2	8,61—8,67
Туркменский залив		46	8,30	0,06	1	8,28—8,32	52	8,28	0,06	1	8,26—8,30
Район п-ова Челекен		19	8,32	0,10	1	8,27—8,37	19	8,31	0,10	1	8,26—8,36
Красноводский залив		30	8,30	0,10	1	8,26—8,34	30	8,30	0,10	1	8,26—8,34
Ленкорань		32	8,32	0,11	1	8,28—8,36	32	8,12	1,03	13	7,73—8,51
Взморье р. Куры		53	8,37	0,19	2	8,31—8,43	53	8,32	0,18	2	8,27—8,37

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
Осень											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	207	8,51	0,13	2	8,49—8,53	207	8,49	0,15	2	8,47—8,51
Район Махачкалы		167	8,46	0,13	2	8,44—8,48	138	8,42	0,14	2	8,39—8,45
Взморье р. Самура		58	8,47	0,08	1	8,46—8,48	58	8,46	0,09	1	8,44—8,48
Район Форт-Шевченко	1967—1985	47	8,42	0,16	2	8,37—8,47	47	8,41	0,16	2	8,36—8,46
Район м. Бекдаш		36	8,37	0,07	1	8,35—8,39	34	8,35	0,04	0,5	8,34—8,36
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	272	8,22	0,19	2	8,20—8,24	254	8,22	0,18	2	8,20—8,24
Сумгаит		226	8,39	0,12	2	8,37—8,41	224	8,36	0,12	1	8,34—8,38
Нефтяные Камни		110	8,45	0,13	1	8,42—8,48	112	8,41	0,16	1	8,38—8,44
Туркменский залив		36	8,42	0,07	1	8,40—8,44	36	8,42	0,06	1	8,40—8,44
Район п-ова Челекен		21	8,50	0,12	1	8,44—8,56	20	8,47	0,12	1	8,41—8,53
Красноводский залив		38	8,20	0,74	1	7,94—8,46	38	8,20	0,74	9	7,94—8,46
Ленкорань		24	8,44	0,11	1	8,39—8,49	24	8,41	0,09	1	8,37—8,45
Взморье р. Куры		31	8,38	0,08	1	8,35—8,41	31	8,39	0,09	1	8,36—8,42

Статистический анализ данных наблюдений pH на разрезе Дивичи — Кендерли показал, что наибольшей изменчивостью характеризуются значения pH (σ достигает 0,30) на мелководных станциях разреза, в районе западного побережья. В то же время на ст. 6 в зимнее время σ pH глубинных слоев не превышало 0,08 (табл. 6.3).

В Среднем Каспии в зимнее время на разрезе Дивичи — Кендерли в течение 1964—1985 гг. происходило увеличение pH во всей водной толще по сравнению с предшествующим периодом исследований (1958—1963 гг.). Наибольшее увеличение pH отмечалось на поверхностном и придонных горизонтах, что также косвенно подтверждает усиление процессов вентиляции придонных слоев воды (табл. 6.4).

В динамичной зоне водообмена между Средним и Южным Каспием в деятельном слое моря обнаруживается некоторое повышение pH по сравнению со Средним Каспием. При этом зимой в распределении значений pH отмечается последовательное их повышение с запада на восток в районе Апшеронского порога. Различия pH между поверхностным и придонным горизонтом на некоторых станциях разреза о. Жилой — м. Куули достигали 0,20. Наибольшие значения σ характерны для pH придонных слоев в этом районе моря. В ряде случаев они достигали 0,13—0,17 (см. табл. 6.3). Обращает на себя внимание значительное понижение pH в зимнее время в водах Бакинской бухты и Сумгаита, что, по-видимому, связано с интенсивным загрязнением этих районов (см. табл. 6.2).

В течение 1964—1985 гг. зимой в районе Апшеронского порога произошло увеличение pH во всей водной толще по сравнению с данными предшествующего периода исследования (см. табл. 6.4).

В мелководных прибрежных районах Южного Каспия зимой повышенные значения pH отмечались в Туркменском заливе, в районах п-ова Челекен и Ленкорани, где они достигали значений 8,50 и выше (см. табл. 6.2).

На разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский в распределении pH также обнаруживалась тенденция к увеличению с запада на восток. Однако здесь пространственные градиенты оказываются не столь существенными, как это было отмечено для Среднего Каспия и динамичных зон водообмена. В то же время в этом районе были обнаружены значительные вертикальные градиенты pH. Различия значений pH между деятельным слоем моря и придонными горизонтами, где имеют место интенсивные процессы разложения, достигали 0,30—0,35.

В зимний период была отчетливо выражена закономерность динамики значений pH в зависимости от изменения уровня моря на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский: в период понижения уровня моря они возрастали (особенно существенно это проявилось на ст. 6 в слое 100—400 м, где эти различия достигали 0,20—0,25), в период повышения уровня уменьшались довольно равномерно по всей вертикали (табл. 6.5). Зимой в течение 1964—1985 гг. во всей водной толще Южного Каспия произошло значительное повышение pH по сравнению с данными, полученными в зимние месяцы предшествующего периода исследований (1958—1963 гг.). Наибольшие значения ΔpH были обнаружены на придонных горизонтах моря (см. табл. 6.4).

Распределение pH в весенний период

По данным средних многолетних наблюдений за 1961—1983 гг., весной в Северном Каспии повышенные значения pH были отмечены в районе предустьевого взморья Волги и в его западной части они достигали 8,60. По мере продвижения на юг, с увеличением солености и понижением температуры, значения pH постепенно уменьшаются до 8,34. Явное сгущение изолиний отмечается во фронтальной зоне западной части Северного Каспия. При этом наибольший горизонтальный гра-

Таблица 6.3

Основные статистические характеристики pH в открытой части Среднего и Южного Каспия зимой 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Разрез Дивичи — Кендерли															
0	16	8,36	0,15	2	8,28—8,44	13	8,36	0,09	1	8,31—8,41	16	8,43	0,12	1	8,37—8,49
10	16	8,31	0,29	3	8,15—8,47	13	8,36	0,07	1	8,32—8,40	16	8,44	0,11	1	8,38—8,50
20	16	8,35	0,14	2	8,28—8,42	13	8,34	0,06	1	8,30—8,38	16	8,43	0,09	1	8,38—8,48
30	16	8,36	0,22	3	8,24—8,48	13	8,33	0,05	1	8,30—8,36	14	8,42	0,10	1	8,36—8,48
50	15	8,31	0,19	2	8,21—8,41	13	8,37	0,06	1	8,27—8,35	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	13	8,30	0,05	1	8,27—8,33	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	13	8,20	0,07	1	8,16—8,24	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	8,18	0,08	1	8,13—8,23	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули															
0	12	8,46	0,09	1	8,40—8,52	13	8,48	0,10	1	8,42—8,54	13	8,56	0,10	1	8,50—8,62
10	12	8,42	0,07	1	8,38—8,46	13	8,49	0,10	1	8,43—8,55	13	8,52	0,13	1	8,44—8,60
20	12	8,44	0,07	1	8,40—8,48	13	8,48	0,08	1	8,43—8,53	—	—	—	—	—
30	12	8,39	0,07	1	8,35—8,43	13	8,49	0,10	1	8,43—8,55	—	—	—	—	—
50	12	8,36	0,11	1	8,29—8,43	13	8,46	0,10	1	8,40—8,52	—	—	—	—	—
75	12	8,36	0,11	1	8,29—8,43	11	8,44	0,11	1	8,37—8,51	—	—	—	—	—
100	12	8,35	0,17	2	8,24—8,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	10	8,31	0,15	2	8,21—8,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский															
0	15	8,46	0,09	1	8,41—8,51	15	8,46	0,12	1	8,39—8,53	14	8,55	0,08	1	8,50—8,60
10	15	8,44	0,11	1	8,38—8,50	15	8,48	0,12	1	8,41—8,55	14	8,55	0,03	1	8,50—8,60
20	14	8,41	0,13	1	8,34—8,48	15	8,45	0,10	1	8,40—8,50	14	8,54	0,09	1	8,49—8,59
30	14	8,40	0,11	1	8,34—8,46	15	8,45	0,10	1	8,40—8,50	13	8,51	0,14	2	8,43—8,58
50	14	8,39	0,11	1	8,33—8,45	15	8,42	0,12	1	8,35—8,49	—	—	—	—	—
75	14	8,35	0,09	1	8,30—8,40	14	8,36	0,14	2	8,28—8,44	—	—	—	—	—
100	14	8,33	0,09	1	8,28—8,38	14	8,27	0,19	2	8,16—8,38	—	—	—	—	—
150	14	8,29	0,08	1	8,24—8,34	14	8,22	0,18	2	8,12—8,32	—	—	—	—	—
200	13	8,21	0,11	1	8,14—8,28	14	8,19	0,19	2	8,08—8,30	—	—	—	—	—
300	7	8,18	0,12	1	8,08—8,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	8,11	0,13	2	8,03—8,19	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	10	8,12	0,11	1	8,05—8,19	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	7	8,14	0,11	1	8,05—8,23	—	—	—	—	—

Таблица 6.4

Изменение средних сезонных значений pH в водах Среднего и Южного Каспия за отдельные периоды исследования

Горизонт, м	Зима			Весна			Лето			Осень		
	1958—1963 гг.	1964—1985 гг.	Δ	1958—1963 гг.	1964—1985 гг.	Δ	1958—1963 гг.	1964—1985 гг.	Δ	1958—1963 гг.	1964—1985 гг.	Δ
Разрез Дивичи — Кендерли												
0	8,30	8,39	0,09	8,26	8,42	0,16	8,36	8,39	0,03	8,34	8,46	0,12
10	8,32	8,38	0,06	8,27	8,41	0,14	8,34	8,37	0,03	8,30	8,44	0,14
20	8,32	8,35	0,03	8,28	8,40	0,12	8,21	8,36	0,15	8,27	8,43	0,16
30	—	8,34	—	—	8,38	—	—	8,33	—	—	—	—
50	8,27	8,31	0,04	8,26	8,36	0,10	8,20	8,30	0,10	8,26	8,36	0,10
100	8,22	8,27	0,05	8,20	8,33	0,13	8,19	8,23	0,04	8,23	8,31	0,08
200	8,17	8,22	0,05	8,16	8,29	0,13	8,14	8,23	0,09	8,21	8,24	0,03
400	8,08	8,15	0,07	8,13	8,21	0,08	8,13	8,18	0,05	8,20	8,16	—0,04
500	8,08	8,16	0,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	8,05	8,12	0,07	8,12	8,21	0,09	8,12	8,17	0,05	8,21	8,14	—0,07
Разрез о. Жилой — м. Куули												
0	8,33	8,46	0,13	8,36	8,39	0,03	8,33	8,43	0,10	8,39	8,46	0,07
10	8,34	8,45	0,11	8,35	8,40	0,05	8,33	8,41	0,08	8,40	8,40	0,00
20	8,33	8,43	0,10	8,36	8,39	0,03	8,28	8,40	0,12	8,37	8,40	0,03
50	8,32	8,40	0,08	8,32	8,34	0,02	8,24	8,33	0,09	8,28	8,33	0,05
75	—	8,36	—	—	8,32	—	—	8,31	—	—	8,29	—
100	8,29	8,33	0,04	8,21	8,28	0,07	8,16	8,26	0,10	8,18	8,25	0,07
150	—	8,27	—	—	8,25	—	—	8,23	—	—	8,20	—
200	—	8,23	—	—	—	—	—	8,16	—	—	(8,26)	—

Горизонт, м	Зима			Весна			Лето			Осень		
	1958–1963 гг.	1964–1985 гг.	Δ	1958–1963 гг.	1964–1985 гг.	Δ	1958–1963 гг.	1964–1985 гг.	Δ	1958–1963 гг.	1964–1985 гг.	Δ
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский												
0	8,38	8,47	0,09	8,34	8,42	0,08	8,35	8,42	0,07	8,37	8,49	0,12
10	8,34	8,46	0,12	8,32	8,42	0,10	8,33	8,41	0,08	8,37	8,49	0,12
20	8,34	8,45	0,11	8,33	8,42	0,09	8,33	8,40	0,07	8,36	8,45	0,09
30	—	8,44	—	—	8,39	—	—	8,39	—	—	8,46	—
50	8,34	8,40	0,06	8,32	8,39	0,07	8,30	8,36	0,06	8,29	8,38	0,09
75	—	8,37	—	8,28	8,36	0,08	8,22	8,26	0,04	8,26	8,34	0,08
100	8,23	8,32	0,09	8,22	8,30	0,08	8,17	8,26	0,09	8,22	8,32	0,10
150	—	8,26	—	8,17	8,23	0,06	—	—	—	—	—	—
200	8,07	8,19	0,12	8,14	8,19	0,05	8,05	8,17	0,12	8,07	8,18	0,11
300	—	8,16	—	8,05	8,14	0,09	7,98	8,13	0,15	8,02	(8,11)	0,09
400	7,95	8,13	0,18	7,99	8,12	0,13	7,98	8,09	0,11	8,00	8,12	0,12
500	—	8,13	—	7,95	8,11	0,16	—	—	—	7,97	8,08	0,11
600	7,93	8,09	0,16	8,00	8,04	0,04	7,96	8,05	0,09	7,94	8,09	0,15
800	7,99	8,11	0,12	7,98	8,00	0,02	7,93	8,01	0,08	7,91	8,10	0,19

Примечание. Δ — разность между значениями в 1964—1985 и 1958—1963 гг.

Таблица 6.5

Изменение значений pH на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Зима										
0	8,46	8,48	0,02	8,41	—0,07	8,43	8,52	0,09	8,40	—0,12
10	8,52	8,51	—0,01	8,39	—0,12	8,45	8,54	0,09	8,39	—0,15
20	8,49	8,51	0,02	8,39	—0,12	8,43	8,52	0,09	8,38	—0,14
30	8,49	8,52	0,03	8,35	—0,17	8,44	8,49	0,05	8,36	—0,13
50	8,38	8,51	0,13	8,34	—0,17	8,43	8,42	—0,01	8,35	—0,07
75	8,36	8,46	0,10	8,32	—0,14	8,32	8,40	0,08	8,32	—0,08
100	8,32	8,43	0,11	8,29	—0,14	8,15	8,38	0,23	8,26	—0,12
150	8,21	8,35	0,14	8,22	—0,23	8,11	8,35	0,24	8,20	—0,15
200	8,12	8,25	0,13	8,17	—0,08	8,07	8,31	0,24	8,17	—0,14
300	8,08	8,20	0,12	8,17	—0,03	—	—	—	8,14	—
400	8,07	8,15	0,08	8,15	0	8,01	8,22	0,21	8,12	—0,10
600	8,08	8,14	0,06	8,08	—0,06	8,00	8,19	0,19	8,08	—0,11
800	—	8,13	—	8,07	—0,06	—	8,21	—	8,08	—0,13
Лето										
0	8,42	8,51	0,09	8,39	—0,12	8,39	8,42	0,03	8,41	—0,01
10	8,43	8,44	0,01	8,37	—0,07	8,42	8,44	0,02	8,49	0,05
20	8,44	8,47	0,03	8,37	—0,10	8,44	8,44	0	8,39	—0,05
30	8,41	8,44	0,03	8,35	—0,11	8,42	8,45	0,03	8,36	—0,09
50	8,31	8,45	0,14	8,35	—0,10	8,37	8,38	0,01	8,32	—0,06
100	8,30	8,35	0,05	8,23	—0,12	8,24	8,36	0,12	8,23	—0,13
200	—	8,22	—	8,08	—0,14	8,13	8,21	0,08	8,15	—0,06
300	8,17	8,20	0,03	8,06	—0,14	—	—	—	—	—
400	8,15	8,17	0,02	8,02	—0,15	8,05	8,19	0,14	8,06	—0,13
600	8,06	8,18	0,12	8,00	—0,18	8,00	8,11	0,11	8,03	—0,08
800	8,05	8,15	0,10	8,00	—0,15	7,96	8,14	0,18	8,02	—0,12

Примечание. Здесь и в табл. 6.7 и 6.10 Δ — разность между значениями в 1970—1977 и 1962—1969 гг.; Δ_1 — разность между значениями в 1978—1985 и 1970—1977 гг.

диент имеет место в районе расположения разреза IIIа, где особенно проявляется влияние волжского стока. В восточной части Северного Каспия весной распределение pH довольно однородное и различия не превышают 0,02, что согласуется с незначительной изменчивостью температуры и солености в районе Уральской бороздины, в отличие от характера их распределения на меридиональных разрезах центральной части Северного Каспия и Бузачинского порога (рис. 6.4 *а*).

Весной в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием по сравнению с зимой происходит снижение pH в поверхностном слое моря, и сезонные различия на мелководных станциях достигают 0,15—0,20. Вертикальное распределение pH в этот сезон на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак довольно однородное (см. табл. 6.1). В водах прибрежных районов, примыкающих к зоне водообмена, значения pH весной остались практически на уровне зимних. Лишь южнее, в районе

Таблица 6.6

Основные статистические характеристики pH в открытой части Среднего и Южного Каспия весной за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Разрез Дивичи — Кендерли															
0	15	8,42	0,12	1	8,35—8,49	12	8,44	0,10	1	8,38—8,50	14	8,42	0,08	1	8,37—8,47
10	15	8,40	0,10	1	8,35—8,45	11	8,46	0,09	1	8,40—8,52	14	8,42	0,09	1	8,37—8,47
20	15	8,40	0,11	1	8,34—8,46	11	8,42	0,12	1	8,34—8,50	13	8,40	0,12	1	8,33—8,47
30	14	8,41	0,12	1	8,34—8,48	11	8,39	0,13	1	8,31—8,47	13	8,40	0,12	1	8,33—8,47
50	13	8,36	0,14	2	8,28—8,44	11	8,39	0,16	2	8,29—8,49	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	11	8,35	0,16	2	8,25—8,45	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	11	8,31	0,13	2	8,23—8,39	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	10	8,25	0,10	1	8,17—8,33	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	7	8,26	0,13	2	8,15—8,35	—	—	—	—	—
Разрез о. Жилой — м. Куули															
0	15	8,44	0,10	1	8,39—8,49	15	8,46	0,08	1	8,42—8,50	15	8,44	0,12	1	8,37—8,51
10	15	8,45	0,10	1	8,40—8,50	15	8,45	0,10	1	8,40—8,50	15	8,44	0,11	1	8,38—8,50
20	15	8,44	0,10	1	8,39—8,49	15	8,44	0,08	1	8,40—8,48	—	—	—	—	—
30	15	8,45	0,10	1	8,37—8,53	15	8,41	0,08	1	8,37—8,45	—	—	—	—	—
50	15	8,38	0,08	1	8,34—8,42	15	8,40	0,09	1	8,35—8,45	—	—	—	—	—
75	15	8,34	0,10	1	8,29—8,39	15	8,38	0,10	1	8,33—8,43	—	—	—	—	—
100	15	8,34	0,10	1	8,29—8,39	15	8,38	0,10	1	8,33—8,43	—	—	—	—	—
150	15	8,29	0,11	1	8,23—8,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский															
0	15	8,46	0,09	1	8,41—8,51	14	8,47	0,09	1	8,42—8,52	15	8,47	0,09	1	8,42—8,52
10	15	8,46	0,10	1	8,41—8,51	14	8,47	0,09	1	8,42—8,52	15	8,47	0,09	1	8,42—8,52
20	15	8,46	0,10	1	8,41—8,51	14	8,47	0,10	1	8,41—8,53	15	8,47	0,12	1	8,40—8,54
30	15	8,43	0,06	1	8,40—8,46	14	8,45	0,09	1	8,40—8,50	15	8,43	0,10	1	8,38—8,48
50	15	8,43	0,08	1	8,39—8,47	14	8,41	0,10	1	8,35—8,47	—	—	—	—	—
75	15	8,40	0,08	1	8,36—8,44	14	8,35	0,10	1	8,29—8,41	—	—	—	—	—
100	15	8,36	0,10	1	8,31—8,41	14	8,29	0,11	1	8,23—8,35	—	—	—	—	—
150	15	8,28	0,10	1	8,23—8,33	14	8,25	0,12	1	8,18—8,32	—	—	—	—	—
200	15	8,21	0,13	1	8,14—8,28	14	8,23	0,14	2	8,15—8,31	—	—	—	—	—
250	14	8,21	0,13	2	8,14—8,28	14	8,20	0,13	2	8,13—8,27	—	—	—	—	—
300	13	8,18	0,11	1	8,12—8,24	14	8,18	0,16	2	8,09—8,27	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	8,13	0,13	2	8,05—8,21	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	12	8,10	0,13	2	8,02—8,18	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	11	8,08	0,12	1	8,00—8,16	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	8	8,05	0,14	2	7,94—8,16	—	—	—	—	—

Таблица 6.7

Изменение значений pH в Среднем и Южном Каспии весной в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
Разрез Дивичи — Кендерли										
0	8,43	8,40	—0,03	8,39	—0,01	8,43	8,48	0,05	8,46	—0,02
10	8,44	8,39	—0,05	8,41	0,02	8,41	8,46	0,05	8,43	—0,03
20	8,42	8,38	—0,04	8,41	0,03	8,40	8,48	0,08	8,43	—0,05
30	8,32	8,34	0,02	8,38	0,04	8,39	8,48	0,09	8,41	—0,07
50	8,32	8,33	0,01	8,37	0,04	8,31	8,41	0,10	8,40	—0,01
75	—	—	—	—	—	8,30	8,44	0,14	8,38	—0,06
100	8,29	8,29	0	8,31	0,02	8,29	8,33	0,10	8,34	—0,05
150	—	—	—	—	—	8,24	8,41	0,17	8,32	—0,09
200	8,16	8,25	0,09	8,25	0	8,22	8,31	0,09	8,32	0,01
250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	8,15	8,24	0,09	8,19	—0,05	—	—	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	8,44	8,44	0	8,39	—0,05	8,43	8,48	0,05	8,36	—0,12
10	8,43	8,46	0,03	8,41	—0,05	8,43	8,49	0,06	8,38	—0,11
20	8,42	8,47	0,05	8,41	—0,06	8,43	8,50	0,07	8,36	—0,14
30	8,38	8,43	0,05	8,41	—0,02	8,39	8,51	0,12	8,34	—0,17
50	8,34	8,44	0,10	8,35	—0,03	8,34	8,47	0,13	8,31	—0,16
75	8,32	8,40	0,08	8,33	—0,07	8,27	8,39	0,12	8,29	—0,10
100	8,28	8,33	0,05	8,27	—0,06	8,20	8,34	0,14	8,25	—0,09
150	8,24	8,24	0	8,22	—0,02	8,15	8,32	0,17	8,15	—0,12
200	8,19	8,22	0,03	8,18	—0,04	8,13	8,30	0,17	8,11	—0,15
250	8,15	8,19	0,04	8,14	—0,05	8,13	8,26	0,13	8,11	—0,15
300	8,14	8,19	0,05	8,12	—0,07	8,08	8,28	0,20	8,08	—0,20
400	8,05	8,13	0,08	8,09	—0,04	8,04	8,20	0,16	8,03	—0,17
500	8,02	8,11	0,09	8,05	—0,06	8,02	8,19	0,17	8,01	—0,18
600	8,01	8,06	0,05	8,02	—0,04	8,01	8,13	0,12	7,97	—0,16
800	8,00	8,06	0,06	7,94	—0,12	7,96	8,17	0,21	7,91	—0,26

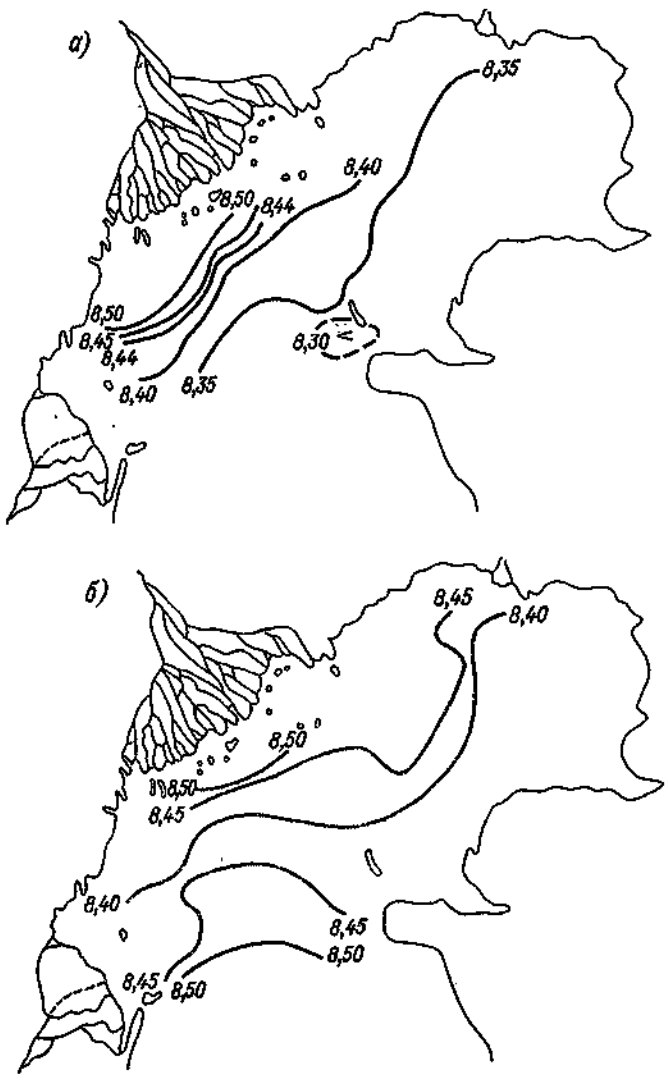


Рис. 6.4. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение pH в Северном Каспии весной (*а*) и осенью (*б*).

устьевого взморья р. Самура, произошло некоторое понижение pH на поверхностных и придонных горизонтах, что обусловлено увеличением содержания ОВ в речной воде (см. табл. 6.2).

В то же время активные фотосинтетические процессы, протекающие весной в Среднем Каспии, обеспечивают увеличение pH от поверхности до дна по сравнению с зимой (см. табл. 6.4).

Анализ распределения pH в поверхностном слое моря на разрезе Дивичи — Кендерли показал, что, в отличие от зимнего периода, весной наименьшие значения pH были на поверхности в районе мелководий западного и восточного побережья. В то же время явно выраженной закономерности в поверхностном распределении pH выявить не удалось. На мелководных станциях разреза, как правило, имеет место однородное распределение pH от поверхности до дна. Различия в значениях pH по вертикали в глубоководных районах Среднего Каспия весной составили 0,2. Статистические характеристики свидетельствуют о том, что изменчивость значений pH на разрезе Дивичи — Кендерли весной довольно значительная, σ превышает 0,1 и в отдельных случаях достигает 0,16 (табл. 6.6).

Весной на разрезе Дивичи — Кендерли (ст. 6) в период понижения уровня моря значения pH возрастали на всех горизонтах и особенно в придонных слоях моря, в период повышения уровня моря они, хотя и незначительно, но снижались равномерно во всей водной толще (табл. 6.7).

Средние многолетние значения pH, полученные весной в течение 1964—1985 гг. на разрезе Дивичи — Кендерли характеризуются ростом по сравнению с аналогичными данными за 1958—1963 гг. При этом максимальные различия pH отмечаются в деятельном слое моря (см. табл. 6.4).

В районе Апшеронского порога весной в это же время года прослеживается тенденция к увеличению pH в восточном направлении. Как и в Среднем Каспии, здесь отмечается последовательное снижение pH на всех станциях от поверхности ко дну моря. Максимальные различия по вертикали составляют 0,10—0,15 и обнаруживаются на наиболее глубоководных станциях разреза о. Жилой — м. Куули.

В отличие от Среднего Каспия, по сравнению с зимой значения pH весной в районе Апшеронского порога понижались во всей водной толще. Это также наблюдалось и в Южном Каспии.

В открытой части Южного Каспия на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский в поверхностном слое моря весной отмечается, как правило, однородное распределение pH (различия в значениях pH оказываются в пределах точности метода определения).

На мелководных станциях этого разреза, в районах западного и восточного побережья, различия в значениях pH по вертикали, как правило, не превышают 0,10. На глубоководных станциях весной они колеблются в пределах 0,3—0,4.

В весеннее время года во всех районах западного и восточного мелководья Южного Каспия значения pH понизились по сравнению с зимой. Наиболее существенно это проявилось в районах п-ова Челекен и Красноводского залива, где сезонные различия (от зимы к весне) в значениях pH достигали 0,20—0,30 (см. табл. 6.2).

Направленность изменений pH на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский (станции 4 и 6) в зависимости от положения уровня моря повторила картину распределения pH в зимний период: понижение уровня способствовало росту pH на 0,10—0,20, при повышении уровня значения pH снижались в тех же пределах.

По сравнению с периодом наблюдений 1958—1963 гг. значения pH в 1964—1985 гг. весной возросли на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский во всей водной толще. В слое 400—500 м увеличение pH достигло 0,13—0,16.

Распределение pH в летний период

В западной и центральной частях Северного Каспия в летнее время (1961—1983 гг.) отчетливо прослеживается уменьшение pH с севера на юг. Максимум значений (8,60—8,75) обнаруживается в районах, подверженных наибольшему влиянию стока Волги. Горизонтальный градиент pH особенно увеличивается в конце лета (рис. 6.5). Подобное пространственное распределение pH обусловлено резким снижением температуры и повышением солености вод в данном районе в направлении с севера на юг; горизонтальные разли-

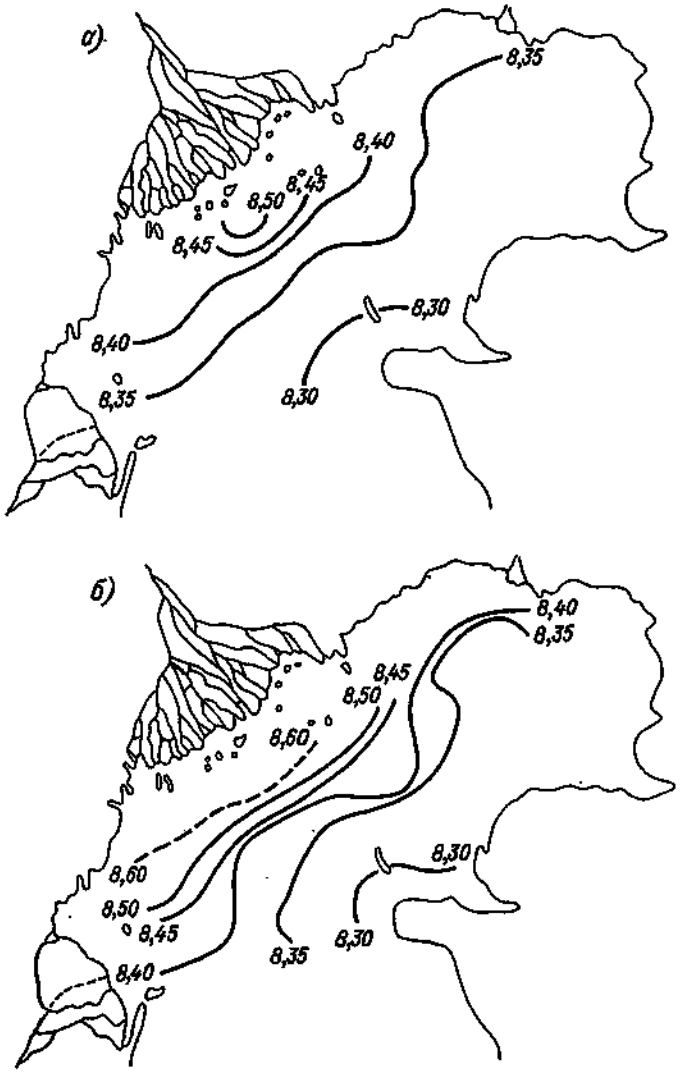


Рис. 6.5. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение pH в Северном Каспии в июне—июле (*а*) и августе—сентябре (*б*).

чия по температуре в летнее время достигают 6—7 °С, солености — 10—11 ‰.

Восточная часть Северного Каспия характеризуется более однородным распределением pH, что, по-видимому, также обусловлено однородностью распределения температуры и солености в данном районе. Лишь в районе предустьевого взморья Урала в августе — сентябре отмечается повышение pH по сравнению с районом Уральской бороздины, что обусловлено процессами фотосинтеза, активно протекающими в это время в зонах смешения вод.

В зоне водообмена между Северным и Средним Каспием отчетливо прослеживается уменьшение pH с запада на восток в слое 0—10 м (см. табл. 6.1). Летний период характеризуется также тем, что pH в слое 0—10 м возрастает по сравнению со значениями, наблюдавшимися весной, в то же время на придонных горизонтах летом значения pH на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак снижаются. По-видимому, увеличение pH в деятельном слое моря обусловлено активизацией в летнее время процесса фотосинтеза, а снижение pH у дна — усилением процесса деструкции ОВ.

Летом в районах устьевых взморий Терека и Самура показатели pH по сравнению с весной практически не изменились. Некоторое понижение pH было отмечено в районе восточного побережья (Форт-Шевченко) (см. табл. 6.2).

В открытой части Среднего Каспия, на разрезе Дивичи — Кендерли, в летнее время было обнаружено уменьшение pH во всей водной толще. Сравнение результатов летних наблюдений за pH в течение двух периодов показало, что в 1964—1985 гг. значения возросли во всей водной толще Среднего Каспия и максимальное увеличение ($\Delta pH = 0{,}10 \ldots 0{,}15$) произошло в слое 30—50 м (см. табл. 6.4).

На Апшеронском пороге в летнее время концентрации pH остались на уровне весенних значений. Так же как в Среднем и Южном Каспии, здесь, в районе водообмена, распределение pH характеризуется отсутствием горизонтального градиента и наличием весьма существенных различий по вертикали, которые на наиболее глубоководных станциях достигают иногда 0,30.

По сравнению с данными летних наблюдений за 1958—1963 гг. значения pH в течение 1964—1985 гг. возросли на разрезе о. Жилой — м. Куули довольно равномерно во всей водной толще (см. табл. 6.4).

В водах Бакинской бухты летом, впрочем, как и в остальные сезоны, показатель pH оказывается значительно ниже по сравнению с pH вод других прибрежных районов Южного Каспия. Это объясняется тем, что воды Бакинской бухты наиболее загрязнены органическими соединениями и окислительные процессы в них протекают довольно интенсивно (см. табл. 6.2).

Почти везде в прибрежных районах Южного Каспия в летнее время отмечались более низкие значения pH по сравнению с весной. В районах Ленкорани и взморья р. Куры различия в pH между этими сезонами достигали 0,10—0,30 (см. табл. 6.2).

В то же время в открытой части Южного Каспия эти сезонные различия практически отсутствовали. Максимальная изменчивость pH летом была обнаружена на глубоководной ст. 6 (разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский), где, начиная с горизонта 200 м и до дна, σ составило 0,13—0,15 (табл. 6.8).

По данным летних наблюдений за 1964—1985 гг., в открытой части Южного Каспия, как и в Среднем Каспии, происходило повышение pH по сравнению с 1958—1963 гг. Максимум был отмечен на горизонте 300 м и составил 0,15 (см. табл. 6.4). С понижением уровня моря летом в этом районе во всей водной толще значения pH возрастали, в период повышения уровня — снижались теми же темпами (см. табл. 6.5).

Распределение pH в осенний период

В осеннее время года в западной части Северного Каспия и в районе Бузачинского порога средние многолетние (1961—1983 гг.) значения pH изменяются в довольно узком диапазоне — от 8,40 до 8,48. При этом наиболее высокие значения имеют место в районах мелководий предустьевого взморья Волги и южной части Северного Каспия, подверженной воздействию среднекаспийских вод (рис. 6.4 *б*). На средних станциях меридиональных разрезов (II, III, IIIа) отмечается понижение pH. По-видимому, в зоне смешения пресных и морских

Таблица 6.8

Основные статистические характеристики pH в открытой части Южного Каспия летом за 1960—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский															
0	14	8,43	0,09	1	8,38—8,48	13	8,40	0,09	1	8,35—8,45	11	8,43	0,10	1	8,37—8,49
10	14	8,42	0,10	1	8,36—8,48	13	8,40	0,09	1	8,35—8,45	10	8,42	0,08	1	8,37—8,47
20	14	8,39	0,14	2	8,31—8,47	13	8,41	0,09	1	8,36—8,46	9	8,44	0,07	1	8,39—8,49
30	14	8,36	0,07	1	8,32—8,40	13	8,40	0,10	1	8,34—8,46	9	8,43	0,09	1	8,37—8,49
50	14	8,35	0,08	1	8,30—8,40	13	8,35	0,10	1	8,29—8,41	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	13	8,27	0,13	1	8,19—8,35	—	—	—	—	—
200	13	8,16	0,11	1	8,09—8,23	13	8,13	0,15	2	8,04—8,22	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	8,09	0,15	2	8,00—8,18	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	11	8,05	0,12	1	7,97—8,13	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	8	8,02	0,13	2	7,92—8,12	—	—	—	—	—

вод в осенний период усиливаются процессы, обусловленные деструкцией ОВ.

Для предустьевого взморья Урала и района Уральской бороздины осенью характерно практически однородное распределение pH по акватории, что в свою очередь обусловлено однородностью распределения температур и солености в этом районе Северного Каспия (диапазон изменения солености не превышал 1,5 ‰, температуры — 1 °С).

В зоне водообмена между Северным и Средним Каспием, на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак, происходило довольно значительное понижение pH на всех горизонтах по сравнению с летом. При этом в поверхностном слое моря отмечалось довольно однородное распределение pH по всему разрезу с некоторым повышением на ст. 1, которая в наибольшей степени подвержена влиянию западного переноса вод из Северного Каспия. Здесь же было обнаружено и максимальное различие pH по вертикали, достигающее 0,1. На всех остальных станциях разреза, несмотря на значительные глубины, вертикальное распределение pH было однородным (см. табл. 6.1).

В районах устьевого взморья Терека и Самура осенью произошло незначительное увеличение pH на 0,1 и 0,05 соответственно. В мелководных районах восточного побережья отмечалось следующее изменение значений pH: в районе Форт-Шевченко их повышение на 0,12, в районе м. Бекдаш — понижение на 0,09 (см. табл. 6.2).

Осенний период характеризуется ростом pH в деятельном слое Среднего Каспия (0—100 м). Статистический анализ показывает, что изменчивость значений pH в наибольшей степени проявляется также в этом слое, о чем свидетельствуют повышенные значения σ (табл. 6.9). По данным средних многолетних наблюдений за 1964—1985 гг., в пространственном распределении значений pH прослеживается тенденция к их росту с запада на восток. Максимальные вертикальные различия в значениях pH в районе глубоководных станций составляют 0,30.

Результаты многолетних осенних наблюдений за pH в течение 1964—1985 гг. на разрезе Дивичи — Кендерли свидетельствуют о том, что по сравнению с данными, полученными за предшествующий период исследований, произошло увеличение pH в слое 0—200 м. При этом максимум ΔpH был отмечен в слое 0—20 м, где он достиг 0,16. На придонных горизонтах ΔpH было отрицательным (см. табл. 6.4).

Осенью на станциях 4 и 6 разреза Дивичи — Кендерли во время понижения уровня моря значения pH уменьшались во всей водной толще. При этом максимальное снижение (0,15) наблюдалось в слое 30—100 м (ст. 4). С повышением уровня Каспия значения pH возросли на всех горизонтах (табл. 6.10).

В районе Апшеронского порога, по данным осенних наблюдений за 1964—1985 гг., распределение pH в поверхностном слое было однородным (изменение pH было в пределах точности его определения). Вертикальное распределение pH характеризовалось равномерным снижением его значений от поверхности ко дну. На глубоководных станциях разреза о. Жилой — м. Куули вертикальные различия pH составляли 0,20—0,25. В многолетнем аспекте отмечается, что в зоне водообмена между Средним и Южным Каспием имеет место лишь незначительное увеличение pH в течение 1964—1985 гг. (см. табл. 6.4).

В открытой части Южного Каспия в поверхностном слое моря различия в значениях pH не превышают 0,02. В то же время изменения pH по вертикали на глубоководных станциях осенью достигают 0,40—0,50. На мелководных и глубоководных станциях разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский практически на всех горизонтах значения σ, характеризующие изменчивость pH, превышают 0,1 (максимальное значение σ было получено на ст. 6 для горизонта 10 м — 0,26) (см. табл. 6.9).

По данным средних многолетних наблюдений, полученных в осенний сезон 1964—1985 гг., средние значения pH возросли во всей водной толще Южного Каспия, но особенно они увеличились на придонных горизонтах (см. табл. 6.4).

На ст. 4 разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский в осенний период довольно четко прослеживается направленность изменений pH в зависимости от положения уровня моря: в период понижения уровня pH возрастало, особенно в придонных слоях, с повышением уровня — уменьшалось (см. табл. 6.10).

Таблица 6.9

Основные статистические характеристики pH в открытой части Среднего и Южного Каспия осенью за 1964—1980 гг.

Горизонт, м	Ст. 3					Ст. 6					Ст. 9				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
						Разрез Дивичи — Кендерли									
0	12	8,47	0,12	1	8,40—8,54	10	8,44	0,13	1	8,35—8,53	13	8,48	0,12	1	8,41—8,55
10	12	8,44	0,11	1	8,37—8,51	10	8,43	0,13	1	8,24—8,52	13	8,45	0,12	1	8,38—8,52
20	12	8,42	0,12	1	8,35—8,49	10	8,41	0,11	1	8,34—8,48	13	8,45	0,11	1	8,38—8,52
30	11	8,39	0,12	1	8,31—8,47	10	8,39	0,10	1	8,32—8,46	11	8,41	0,12	1	8,33—8,49
50	11	8,33	0,16	2	8,23—8,43	10	8,37	0,12	1	8,29—8,45	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	10	8,34	0,12	1	8,26—8,42	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	10	8,31	0,09	1	8,25—8,37	—	—	—	—	—
200	—	—	—	—	—	10	8,24	0,07	1	8,19—8,29	—	—	—	—	—
300	—	—	—	—	—	9	8,18	0,06	1	8,14—8,22	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	7	8,14	0,08	1	8,08—8,20	—	—	—	—	—
						Разрез о. Жилой — м. Куули									
0	15	8,49	0,11	1	8,43—8,55	18	8,50	0,11	1	8,45—8,55	18	8,47	0,12	1	8,41—8,53
10	15	8,44	0,13	1	8,37—8,51	18	8,51	0,08	1	8,47—8,55	18	8,47	0,10	1	8,42—8,52
20	15	8,39	0,15	2	8,31—8,47	18	8,49	0,08	1	8,45—8,53	—	—	—	—	—
30	15	8,28	0,28	3	8,13—8,43	17	8,46	0,11	1	8,40—8,52	—	—	—	—	—
50	15	8,25	0,22	3	8,13—8,37	17	8,37	0,13	1	8,30—8,44	—	—	—	—	—
100	13	8,27	0,09	1	8,22—8,32	17	8,32	0,15	2	8,24—8,40	—	—	—	—	—
150	13	8,22	0,08	1	8,17—8,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский									
0	14	8,50	0,10	1	8,44—8,56	15	8,52	0,12	1	8,45—8,59	15	8,50	0,10	1	8,45—8,55
10	14	8,49	0,12	1	8,42—8,56	15	8,58	0,26	3	8,44—8,72	15	8,50	0,09	1	8,45—8,55
20	14	8,46	0,18	2	8,36—8,56	14	8,15	0,09	1	8,10—8,20	14	8,48	0,09	1	8,43—8,53
30	14	8,47	0,10	1	8,41—8,53	14	8,47	0,09	1	8,42—8,52	10	8,49	0,07	1	8,44—8,54
50	—	—	—	—	—	14	8,36	0,13	1	8,29—8,43	—	—	—	—	—
100	14	8,27	0,16	2	8,18—8,36	13	8,25	0,14	2	8,17—8,33	—	—	—	—	—
200	14	8,20	0,15	2	8,11—8,29	12	8,13	0,14	2	8,04—8,22	—	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	13	8,12	0,14	2	8,02—8,22	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	10	8,11	0,11	1	8,04—8,18	—	—	—	—	—

Таблица 6.10

Изменение значений pH в Среднем и Южном Каспии осенью в характерные многолетние периоды

Горизонт, м	Ст. 4					Ст. 6				
	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1	1962—1969 гг.	1970—1977 гг.	Δ	1978—1985 гг.	Δ_1
					Разрез Дивичи — Кендерли					
0	8,44	8,42	—0,02	8,49	0,07	8,47	8,46	—0,01	8,51	0,05
10	8,32	8,38	0,06	8,47	0,09	8,39	8,35	—0,04	8,47	0,12
20	8,45	8,36	—0,09	8,44	0,08	8,40	8,34	—0,06	8,45	0,11
30	8,49	8,33	—0,16	8,43	0,10	8,39	8,30	—0,09	8,44	0,14
50	8,44	8,29	—0,15	8,41	0,12	8,35	8,31	—0,04	8,39	0,08
75	8,41	8,28	—0,13	8,38	0,10	8,34	8,27	—0,07	8,37	0,10
100	8,38	8,25	—0,13	8,35	0,10	8,29	8,25	—0,04	8,31	0,06
200	8,20	8,20	0	8,27	0,07	8,29	8,19	—0,10	8,24	0,05
					Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский					
0	8,49	8,52	0,03	8,48	—0,04	8,52	8,53	0,01	8,48	—0,05
10	8,48	8,51	0,03	8,48	—0,03	8,52	8,51	—0,01	8,48	—0,03
20	8,47	8,54	0,07	8,46	—0,08	8,53	8,50	—0,03	8,46	—0,04
30	8,46	8,51	0,05	8,44	—0,07	8,47	8,49	0,02	8,43	—0,06
50	8,36	8,41	0,05	8,41	0	8,36	8,34	—0,02	8,39	0,05
75	—	—	—	8,35	—	8,19	—	—	8,34	—
100	8,25	8,31	0,06	8,34	0,03	8,19	8,27	0,08	8,32	0,05
150	—	—	—	8,25	—	—	—	—	8,27	—
200	8,13	8,29	0,16	8,22	—0,07	8,08	8,20	0,12	8,18	—0,02
250	—	—	—	8,15	—	—	—	—	8,18	—
300	—	—	—	8,10	—	—	—	—	8,13	—
400	8,07	8,25	0,18	8,09	—0,16	8,08	8,19	0,11	8,08	—0,11
500	—	—	—	8,07	—	—	—	—	8,07	—
600	8,03	8,24	0,21	8,07	—0,17	8,11	8,14	0,03	8,05	—0,09
800	—	—	—	8,05	—	—	—	—	8,02	—

6.2. Сезонные и многолетние 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, и в то же время изменение щелочности зависит от углекислотного равновесия. Вне районов опреснения материковыми водами щелочность меняется в основном с изменением солености вод; в опресняемых районах — под влиянием вод суши [100, 116]. В устьевых районах, где происходит смешение различных по своему происхождению вод, одним из лучших показателей этого процесса является щелочность. В ряде случаев данные по щелочности служат также для определения свойств морской воды.

Щелочность подвержена тем же изменениям в суточном ходе, которые характерны для элементов газового режима, pH и кислорода, и в связи с этим щелочность иногда рассматривается и как показатель фотосинтетических процессов, протекающих в море.

Средние годовые значения щелочности в Северном Каспии за период 1961—1983 гг. изменялись в пределах 2499—3280 ммоль/л. Средний годовой максимум щелочности наблюдался в 1962 г., когда весьма существенно возросла соленость воды, а показатели кислорода и pH снизились. В последующие годы произошло резкое снижение средних годовых значений щелочности, которое совпало, в свою очередь, с улучшением газового режима морских вод.

Средние многолетние значения щелочности увеличиваются в Северном Каспии на юго-восток от предустьевого взморья Волги и Урала до границы со Средним Каспием аналогично солености. Наиболее высокая щелочность наблюдается в Каспийском море в водах соленостью 10—13‰. Расчет линейного тренда, использованный при анализе тенденции многолетней изменчивости щелочности в водах Северного Каспия в течение 1961—1985 гг.,

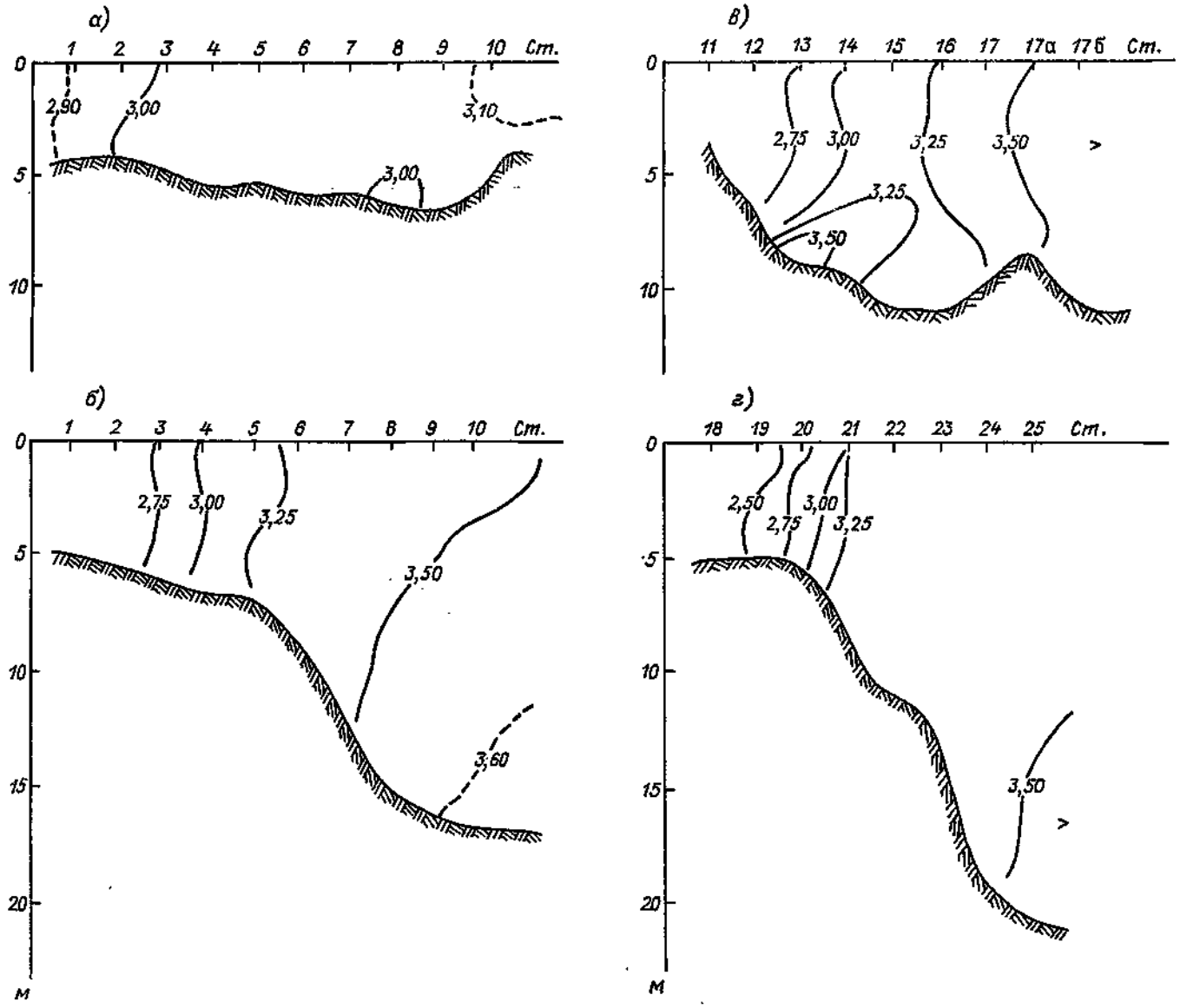


Рис. 6.6. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение щелочности (ммоль/л) в Северном Каспии на разрезе I (*а*), IIIа (*б*), II (*в*) и III (*г*).

показал, что ее средние значения возросли на 0,176 ммоль/л.

Вертикальное распределение щелочности в Северном Каспии также соответствует распределению солености. Так, на глубоководных станциях в западной части моря отмечается увеличение щелочности с глубиной, совпадающее с вертикальным распределением солености вод в этих районах моря (рис. 6.6 *б, г*). В мелководной зоне обычно отсутствует вертикальная стратификация вод по солености, а в связи с этим — и по щелочности (рис. 6.6 *а, в*). Так, в восточной части моря распределение щелочности в толще вод однородное, некоторые ее изменения по вертикали весьма незначительны и кратковременны.

Распределение щелочности в зимний период

Колебания щелочности в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием в зимний период в поверхностном и придонном слоях довольно значительны. При этом минимальная щелочность наблюдается в районе западного побережья, куда поступают уже трансформированные речные воды. Горизонтальные различия в значениях щелочности в направлении с запада на восток на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак в поверхностном слое составляют 0,590 ммоль/л, в придонном — 0,540 ммоль/л. Изменения щелочности с глубиной обусловлены в основном характером вертикального распределения солености. В зимний период в этом районе различия солености по вертикали невелики. Поэтому в слое 0—10 м наблюдается практически однородное распределение щелочности с незначительным увеличением ко дну. Максимальное различие щелочности по вертикали имеет место в районе западного побережья и составляет около 0,18 ммоль/л. Наибольшей изменчивостью щелочности характеризуются периферийные станции разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак (табл. 6.11).

Вертикальное распределение щелочности зимой в районе устьевых взморий Терека и Самура и восточных мелководий также однородное. При этом в устьевых районах показатели щелочности ниже, чем в районах восточных мелководий (Форт-Шевченко и м. Бекдаш), где эти различия превышают 0,4 ммоль/л. Изменчивость щелочности в районе устьевых взморий возрастает в 2—3 раза по сравнению с показателями изменчивости в прибрежных районах моря на востоке (табл. 6.12).

Таблица 6.11

Основные статистические характеристики щелочности на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак в разные сезоны за 1969—1983 гг.

Номер станции разреза	Поверхность					Горизонт 10 м					Дно				
	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Зима															
1	4	3,153	0,62	19,6	2,433—3,873	—	—	—	—	—	2	3,331	0,32	9,5	2,691—3,971
2	5	3,579	0,15	4,1	3,429—3,729	3	3,540	0,20	5,7	3,260—3,820	3	3,591	0,15	4,3	3,378—3,804
3	5	3,695	0,05	1,3	3,645—3,745	3	3,668	0,07	1,9	3,568—3,768	3	3,728	0,10	2,6	3,586—3,870
4	5	3,735	0,09	2,4	3,645—3,825	3	3,756	0,12	3,2	3,586—3,926	3	3,829	0,21	5,4	3,531—4,127
5	4	3,700	0,09	2,4	3,600—3,800	4	3,700	0,09	2,4	3,526—3,804	2	3,826	0,43	11,2	2,966—4,686
6	5	3,741	0,18	4,8	3,561—3,921	5	3,741	0,18	4,8	3,561—3,921	3	3,869	0,38	9,7	3,330—4,408
7	5	3,738	0,30	8,0	3,438—4,038	5	—	—	8,0	3,438—4,038	3	3,788	0,49	12,9	3,093—4,483
Весна															
1	6	3,512	0,45	13,0	3,110—3,914	—	—	—	—	—	4	3,588	0,47	13,3	3,045—4,131
2	4	3,609	0,18	5,1	3,401—3,817	2	3,457	0,13	3,8	3,197—3,717	3	3,556	0,11	3,0	3,400—3,712
3	6	3,807	0,34	6,0	3,503—4,111	5	3,820	0,37	9,7	3,450—4,190	5	3,787	0,41	10,9	3,377—4,197
4	5	3,657	0,18	4,9	3,477—3,837	3	3,688	0,12	3,2	3,518—3,858	4	3,719	0,08	2,3	3,627—3,811
5	6	3,834	0,30	7,9	3,566—4,102	5	3,832	0,35	9,1	3,482—4,182	5	3,871	0,32	8,2	3,551—4,191
6	5	3,650	0,22	6,2	3,430—3,870	4	3,676	0,14	3,7	3,514—3,838	4	3,722	0,11	2,9	3,595—3,849
7	6	3,816	0,33	8,8	3,521—4,111	—	—	—	—	—	5	3,837	0,35	9,1	3,487—4,187
Лето															
1	9	3,288	0,22	6,6	3,133—3,443	—	—	—	—	—	7	3,302	0,30	9,0	3,057—3,547
2	8	3,340	0,35	10,4	3,076—3,604	6	3,327	0,26	7,9	3,095—3,559	6	3,314	0,23	6,9	3,109—3,519
3	10	3,519	0,23	6,5	3,366—3,672	7	3,458	0,23	6,8	3,270—3,646	8	3,361	0,38	11,2	3,074—3,648
4	8	3,574	0,19	5,3	3,431—3,717	6	3,464	0,23	6,5	3,259—3,669	6	3,568	0,14	4,1	3,443—3,693
5	10	3,455	0,40	11,7	3,188—3,722	6	3,515	0,53	15,0	3,042—3,988	8	3,647	0,13	3,4	3,549—3,745
6	8	3,450	0,18	5,2	3,314—3,586	3	3,431	0,16	4,8	3,204—3,658	6	3,567	0,19	5,2	3,397—3,737
7	9	3,537	0,27	7,5	3,346—3,728	—	—	—	—	—	8	3,464	0,17	4,8	3,336—3,592
Осень															
1	6	3,322	0,30	9,0	3,054—3,590	—	—	—	—	—	5	3,198	0,12	3,7	3,078—3,318
2	6	3,389	0,16	4,6	3,246—3,532	3	3,418	0,18	5,2	3,163—3,673	5	3,393	0,10	2,8	3,293—3,493
3	6	3,464	0,12	3,6	3,357—3,571	5	3,459	0,13	3,6	3,329—3,589	5	3,456	0,13	3,7	3,326—3,586
4	6	3,449	0,12	3,6	3,342—3,556	5	3,533	0,17	4,8	3,363—3,703	5	3,460	0,10	2,9	3,360—3,560
5	6	3,438	0,21	6,1	3,251—3,625	5	3,394	0,16	4,7	3,234—3,554	5	3,379	0,12	3,6	3,259—3,499
6	6	3,535	0,13	3,6	3,419—3,651	4	3,563	0,21	6,0	3,320—3,805	5	3,507	0,15	4,3	3,357—3,657
7	6	3,473	0,12	3,4	3,366—3,580	—	—	—	—	—	5	3,565	0,10	2,7	3,465—3,665

Таблица 6.12

Основные статистические характеристики щелочности в прибрежных районах Среднего и Южного Каспия в различные сезоны года

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0{,}95$)
Зима											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	70	3,211	0,23	7,2	3,156—3,266	70	3,282	0,23	7,1	3,227—3,337
Взморье р. Самура		26	3,387	0,29	8,6	3,271—3,503	26	3,459	0,32	9,2	3,331—3,587
Район Форт-Шевченко	1967—1985	15	3,680	0,18	4,9	3,584—3,776	15	3,705	0,19	5,1	3,603—3,807
Район м. Бекдаш		14	3,641	0,10	2,7	3,586—3,696	13	3,580	0,16	4,5	3,487—3,673
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	124	3,470	0,40	11,5	3,398—3,542	120	3,460	0,37	10,7	3,392—3,528
Сумгаит		86	3,460	0,20	5,8	3,427—3,513	86	3,470	0,20	5,8	3,427—3,513
Нефтяные Камни		44	3,600	0,18	5,0	3,546—3,654	42	3,570	0,16	4,5	3,521—3,619
Туркменский залив		25	3,590	0,11	3,1	3,545—3,635	25	3,580	0,10	2,8	3,539—3,621
Район п-ова Челекен		14	3,880	0,33	8,5	3,697—4,063	14	3,900	0,38	9,7	3,689—4,111
Красноводский залив		27	3,900	0,41	10,5	3,761—4,039	26	3,800	0,43	11,3	3,628—3,972
Ленкорань		31	3,390	0,35	10,3	3,264—3,516	29	3,360	0,35	10,4	3,228—3,492
Взморье р. Куры		72	3,333	0,34	10,2	3,253—3,413	72	3,330	0,34	10,2	3,250—3,410
Весна											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1985	164	3,185	0,34	10,7	3,132—3,238	164	3,258	0,36	11,0	3,202—3,314
Взморье р. Самура		49	3,391	0,22	6,5	3,335—3,447	49	3,512	0,20	5,7	3,455—3,569
Район Форт-Шевченко	1967—1985	32	3,960	0,27	6,8	3,865—4,055	32	3,940	0,29	7,4	3,838—4,042
Район м. Бекдаш		20	3,860	0,20	5,2	3,768—3,952	20	3,650	0,26	7,1	3,531—3,769
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	194	3,690	0,27	7,3	3,651—3,729	178	3,670	0,25	6,8	3,633—3,707
Сумгаит		189	3,470	0,33	9,5	3,422—3,518	179	3,480	0,32	9,2	3,432—3,528
Нефтяные Камни		46	3,560	0,35	9,8	3,456—3,664	42	3,580	0,35	9,8	3,472—3,688
Туркменский залив		49	3,820	0,36	9,4	3,717—3,923	50	3,800	0,37	9,7	3,695—3,905
Район п-ова Челекен		19	3,770	0,26	6,9	3,647—3,893	18	3,810	0,25	6,5	3,689—3,931
Красноводский залив		35	3,810	0,33	8,7	3,699—3,921	34	3,820	0,34	8,9	3,703—3,937
Ленкорань		36	3,700	0,24	6,5	3,620—3,780	34	3,720	0,26	7,0	3,631—3,809
Взморье р. Куры		71	3,480	0,31	8,9	3,406—3,554	71	3,510	0,31	8,8	3,437—3,583
Лето											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	188	3,299	0,31	9,4	3,254—3,344	188	3,384	0,33	9,7	3,336—3,432
Взморье р. Самура		58	3,390	0,41	12,1	3,282—3,498	58	3,437	0,40	11,6	3,332—3,542
Район Форт-Шевченко	1967—1985	37	3,640	0,19	5,2	3,578—3,702	36	3,660	0,11	3,0	3,623—3,697
Район м. Бекдаш		30	3,560	0,20	5,6	3,486—3,634	27	3,570	0,14	3,9	3,515—3,625
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	86	3,610	0,21	5,8	3,565—3,655	76	3,540	0,22	6,2	3,490—3,590
Сумгаит		54	3,380	0,24	7,1	3,315—3,445	54	3,470	0,26	7,4	3,399—3,541
Нефтяные Камни		43	3,710	0,40	10,8	3,588—3,832	45	3,650	0,41	11,2	3,528—3,772
Туркменский залив		66	3,480	0,27	7,7	3,414—3,546	68	3,500	0,26	7,4	3,437—3,563
Район п-ова Челекен		17	3,480	0,16	4,6	3,400—3,560	17	3,300	0,32	9,7	3,140—3,460
Красноводский залив		21	3,440	0,30	8,7	3,306—3,574	20	3,400	0,30	8,8	3,262—3,538
Ленкорань		18	3,370	0,20	5,9	3,273—3,567	18	3,370	0,22	6,5	3,263—3,477
Взморье р. Куры		62	3,480	0,35	10,1	3,391—3,569	71	3,490	0,34	9,7	3,409—3,571
Осень											
Средний Каспий											
Взморье р. Терека	1974—1984	207	3,114	0,37	11,9	3,063—3,165	207	3,187	0,38	11,9	3,134—3,240
Взморье р. Самура		46	3,481	0,23	6,6	3,413—3,549	46	5,569	0,21	5,9	3,507—3,631
Район Форт-Шевченко	1967—1985	27	3,650	0,19	5,2	3,577—3,723	26	3,650	0,16	4,4	3,586—3,714
Район м. Бекдаш		20	3,670	0,16	4,3	3,596—3,744	19	3,630	0,19	5,2	3,540—3,720

Район	Период наблюдений, годы	Поверхность					Дно				
		n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)	n	Среднее	σ	C_v %	ДИ ($\beta=0,95$)
Южный Каспий											
Бакинская бухта	1967—1985	120	3,530	0,20	5,7	3,494—3,566	115	3,520	0,21	6,0	3,481—3,559
Сумгаит		117	3,570	0,14	3,9	3,544—3,596	113	3,570	0,14	3,9	3,544—3,596
Нефтяные Камни		31	3,610	0,20	5,5	3,538—3,682	29	3,620	0,19	5,2	3,548—3,692
Туркменский залив		69	3,510	0,23	6,5	3,455—3,565	71	3,500	0,23	6,6	3,445—3,555
Район п-ова Челекен		19	3,570	0,07	2,0	3,537—3,603	19	3,550	0,11	3,1	3,498—3,602
Красноводский залив		17	3,700	0,20	5,4	3,600—3,800	15	3,700	0,23	6,2	3,577—3,823
Ленкорань		12	3,550	0,17	4,8	3,448—3,652	12	3,550	0,12	3,4	3,478—3,622

В Среднем и Южном Каспии исследования щелочности прекратились в 1978 г. Правда, и в предшествующие годы они проводились в основном в шельфовой зоне (до глубины 200 м) и по довольно разреженной сетке станций, в связи с чем результаты и выводы, полученные по распределению щелочности в глубоководных районах Среднего и Южного Каспия, оказываются весьма ориентировочными.

Наиболее детальные зимние съемки 1976 г. свидетельствуют о том, что значения щелочности у западного побережья изменялись от 3,34 ммоль/л на разрезе Дивичи — Кендерли до 3,56 ммоль/л на разрезе о. Жилой — м. Куули. В центральной части моря щелочность достигала максимальных значений — 3,77 ммоль/л. Вдоль восточного побережья значения щелочности были довольно однородными, составляя 3,66—3,68 ммоль/л [65].

Исследования, проводимые в течение 1959—1962 гг., показали, что в зимний период в Среднем Каспии в слое 150 м — дно наблюдается устойчивое равномерное повышение щелочности ко дну. В то же время в Южном Каспии только прослеживается тенденция к повышению щелочности в придонных слоях моря. В последующий период (1961—1978 гг.) измерения щелочности производились зимой в слое 0—200 м, и вертикальное распределение щелочности здесь было довольно однородным (табл. 6.13). Западные прибрежные районы Южного Каспия даже зимой характеризуются низкой щелочностью, что обусловлено их значительным загрязнением, в отличие от восточных мелководий (табл. 6.12).

Таблица 6.13

Изменение средних сезонных значений щелочности в водах Среднего и Южного Каспия за отдельные периоды исследования

Горизонт, м	Зима			Весна			Лето			Осень
	1959—1962 гг.	1961—1978 гг.	Δ	1959—1962 гг.	1961—1978 гг.	Δ	1959—1962 гг.	1961—1978 гг.	Δ	1961—1978 гг.
Разрез Дивичи — Кендерли										
0	4,010	3,648	—0,362	3,340	3,605	0,265	3,440	3,546	0,106	3,623
10	3,990	3,648	—0,342	3,340	3,823	0,483	3,470	3,462	—0,008	3,667
20	3,970	3,655	—0,315	3,340	3,622	0,282	3,590	3,539	—0,051	3,650
50	3,920	3,654	—0,266	3,350	3,684	0,334	3,610	3,611	0,001	3,614
75	3,880	3,672	—0,208	—	3,667	—	3,760	3,588	—0,172	3,120
100	3,880	3,664	—0,216	3,350	3,654	0,304	3,630	3,606	—0,024	3,688
150	3,980	3,720	—0,260	3,350	3,642	0,292	3,560	3,616	0,056	3,562
200	3,980	3,617	—0,363	3,340	3,657	0,317	3,690	3,660	—0,030	3,658
250	3,930	—	—	3,400	3,784	0,384	3,760	3,737	—0,023	—
300	4,140	—	—	3,360	3,690	0,330	—	3,772	—	3,984
400	4,140	3,715	—0,425	—	3,671	—	3,710	3,690	—0,020	3,727
500	4,130	—	—	3,320	3,788	—	3,760	—	—0,058	—
600	4,130	—	—	—	3,747	—	3,760	—	—	—
700	4,120	—	—	3,350	—	—	3,750	—	—	—
750	4,140	—	—	—	—	—	3,820	—	—	—
Разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский										
0	3,660	3,687	0,027	3,520	3,648	0,128	3,500	3,451	—0,049	3,569
10	3,630	3,710	0,080	3,520	3,648	0,128	3,490	3,317	—0,173	3,562
20	3,630	3,694	0,064	3,540	3,654	0,114	3,490	3,358	—0,132	3,525
50	3,650	3,700	0,050	3,550	3,670	0,120	3,600	3,484	—0,116	3,563
75	3,650	—	—	3,540	3,668	0,128	3,630	3,564	—0,066	—
100	3,630	—	—	3,540	3,637	0,097	3,700	3,530	—0,170	—
150	3,650	3,747	0,097	3,520	3,684	0,164	3,640	3,659	0,019	3,578
200	3,650	3,709	0,059	3,520	3,679	0,159	3,720	3,652	—0,068	3,594
300	3,640	—	—	3,540	3,589	0,049	3,700	3,722	0,022	—
400	3,650	—	—	3,540	3,654	0,114	3,730	3,681	—0,049	—
500	3,640	—	—	3,540	3,583	0,043	3,710	3,713	0,003	—
800	3,750	—	—	3,760	3,784	0,024	3,800	3,742	—0,058	—

Примечание. Δ — разность значений в 1961—1978 и 1959—1962 гг.

Распределение щелочности в весенний период

Весной в западной части Северного Каспия отмечается последовательное увеличение щелочности от района, находящегося под непосредственным влиянием стока Волги, в сторону Среднего Каспия от 2,353 до 3,576 ммоль/л. В восточной части Северного Каспия распределение щелочности было весьма однородное, а средняя щелочность в этом районе составляла около 3 ммоль/л (рис. 6.7 *а*). В другие сезоны распределение щелочности на акватории Северного Каспия почти не менялось.

В зоне водообмена между Северным и Средним Каспием весной щелочность возросла в поверхностном слое моря и на периферийных станциях разреза на придонных горизонтах. Максимальные различия в значениях щелочности, полученные весной, по сравнению с зимой имеют место на крайней западной станции разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак (в поверхностном и придонном слоях соответственно 0,359 и 0,257 ммоль/л). По-прежнему наблюдается увеличение щелочности в направлении с запада на восток, однако горизонтальный градиент щелочности в этом районе резко сократился. Как и зимой, наибольшей изменчивостью характеризуются значения щелочности, полученные на крайних мелководных станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак (см. табл. 6.11).

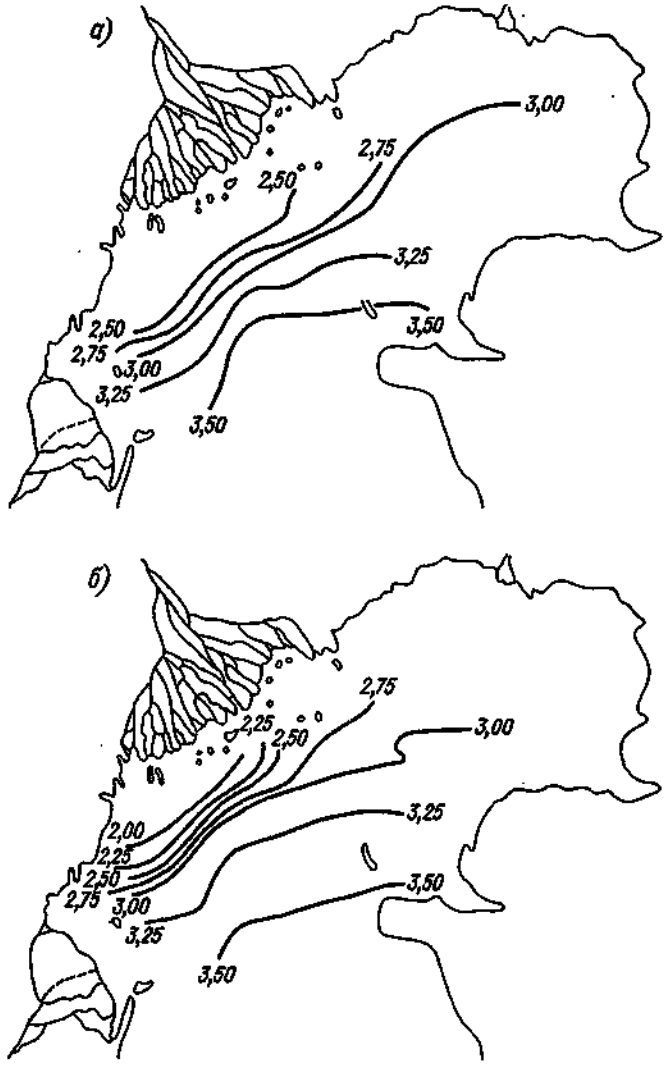


Рис. 6.7. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение щелочности (ммоль/л) в Северном Каспии весной (*а*) и осенью (*б*).

Щелочность на устьевых взморьях Терека и Самура весной практически осталась на уровне значений, характерных для зимы. В то же время в районе восточных мелководий она возросла по сравнению с зимой на 0,2—0,3 ммоль/л (см. табл. 6.12).

В открытой части Среднего Каспия весной распределение щелочности также почти не отличалось от зимнего. Оно отражало адвекцию менее соленых вод вдоль западного побережья Среднего Каспия. Весной вертикальное распределение щелочности на разрезе Дивичи — Кендерли характеризуется однородностью при незначительном увеличении на горизонте 10 м и у дна (см. табл. 6.13). Сравнение данных по щелочности в этом районе, полученных в разные периоды исследования, показало, что произошло устойчивое и весьма значительное повышение щелочности на всех горизонтах в течение 1961—1978 гг. При этом максимальные значения ΔAlk, отмеченные на горизонтах 10 и 500 м, достигали 0,45—0,50 ммоль/л (см. табл. 6.13).

Воды мелководных районов восточного и западного побережья Южного Каспия характеризуются ростом щелочности весной. При этом наибольшие ее значения отмечены в Туркменском и Красноводском заливах — около 3,8 ммоль/л, наименьшие — в загрязненных водах, прилегающих к Сумгаиту, и в районе, подверженном активному влиянию вод Куры — около 3,5 ммоль/л (см. табл. 6.12).

В открытой части Южного Каспия распределение щелочности весной практически не отличается от ее распределения в Среднем Каспии в это же время года. В многолетнем аспекте направленность изменений щелочности, по данным весенних наблюдений на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский, свидетельствует о росте ее значений во всей водной толще в течение 1961—1978 гг. Однако эти изменения оказываются менее значительными по сравнению с теми, которые произошли в Среднем Каспии (см. табл. 6.13).

Распределение щелочности в летний период

Летнее распределение щелочности в Северном Каспии отличается от весеннего периода последовательным ее снижением в начале и конце теплого периода в мелководных районах западной части моря, более подверженной влиянию волжского стока. Эти сезонные различия в начале летнего периода составили 0,25 ммоль/л, к концу они достигли 0,50 ммоль/л (рис. 6.8). В восточной части Северного Каспия в летнее время года влияние уральских вод практически не наблюдается, в связи с чем происходит некоторое повышение значений щелочности и однородное их распределение по всей акватории этого района.

Результаты наблюдений за щелочностью на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак свидетельствуют о значительном ее снижении в летнее время в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием во всей водной толще. Здесь сезонные различия средних значений составили 0,15—0,45 ммоль/л. Снижение щелочности в летнее время, по-видимому, связано с ослаблением процессов фотосинтеза по сравненню с весной. Наименьшие значения щелочности имеют место в западной части разреза в поверхностном слое. Как

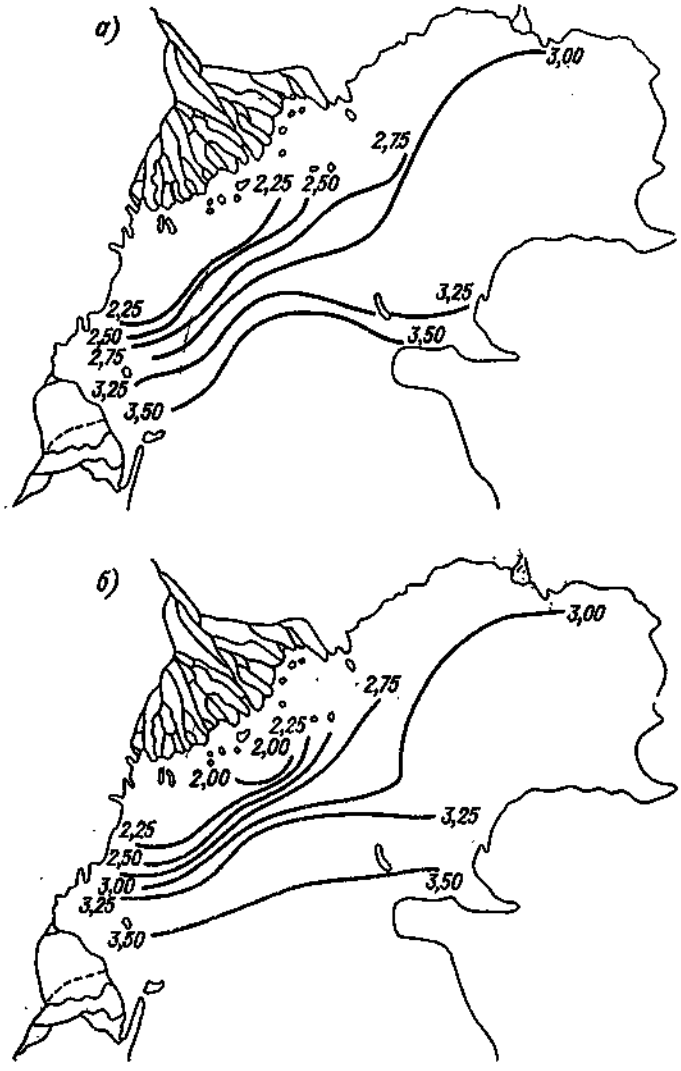


Рис. 6.8. Среднее многолетнее (1961—1983 гг.) распределение щелочности (ммоль/л) в Северном Каспии в июне—июле (*а*) и августе—сентябре (*б*).

и в предшествующие сезоны, летом отмечается устойчивое повышение щелочности с запада на восток, и горизонтальный градиент щелочности составляет в среднем 0,25 ммоль/л. Закономерность в вертикальном распределении щелочности в летний период установить не удалось: имело место либо однородное распределение щелочности во всей толще вод, либо уменьшение ее значений с глубиной, либо обратное распределение (см. табл. 6.13). В районе устьевого взморья Терека происходило незначительное повышение щелочности летом, в то время как другие западные прибрежные районы Среднего Каспия характеризовались пониженной щелочностью (см. табл. 6.12). У восточного побережья щелочность продолжала оставаться высокой и в зоне апвеллинга летом достигала 3,750 ммоль/л [65].

На всей акватории Среднего Каспия в летнее время от поверхности до дна также происходит понижение щелочности. Вертикальное распределение значений щелочности характеризуется некоторой тенденцией к росту с глубиной, что, в свою очередь, согласуется с распределением солености. Однако четкой картины вертикального распределения щелочности, которая была получена по данным наблюдений в течение 1959—1962 гг., в последующие годы исследования получить не удалось (см. табл. 6.13).

Существенно снизились значения щелочности летом в районах, примыкающих к восточному побережью Южного Каспия, и в районе Ленкорани (сезонные различия колеблются в пределах 0,25—0,40 ммоль/л) (см. табл. 6.12).

В открытой части Южного Каспия в летнее время лишь в слое 0—200 м происходит снижение щелочности по сравнению с весной. В нижележащих слоях глубоководной части моря значения щелочности возрастают и мало различаются по горизонтам. Сравнение значений щелочности по горизонтам в глубоководной части Каспийского моря показывает, что воды Южного Каспия характеризуются более низкой щелочностью по сравнению с водами Среднего Каспия.

Данные многолетних наблюдений, полученные в различные периоды исследования, свидетельствуют о снижении щелочности в водах Среднего и Южного Каспия в летний период в течение 1961—1978 гг., по сравнению с данными предшествующих исследований (1956—1962 гг.) (см. табл. 6.13).

Распределение щелочности в осенний период

Осенью в западной части Северного Каспия распределение щелочности было аналогично летнему. В районах предустьевого взморья Урала и Уральской бороздины произошло незначительное понижение щелочности в пределах 0,1 ммоль/л (рис. 6.7 *б*). Осеннее распределение щелочности в зоне водообмена между Северным и Средним Каспием в основном повторяет картину летнего распределения. В то же время горизонтальные и вертикальные градиенты щелочности на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак существенно уменьшаются, что свидетельствует о более однородном распределении щелочности в данном районе (см. табл. 6.11).

Осенью отмечается снижение щелочности в районе устьевого взморья Терека (сезонные различия ΔAlk составляют 0,2 ммоль/л); щелочность других прибрежных районов Среднего Каспия продолжает оставаться на уровне летних значений. В водах мелководных районов Южного Каспия (в Красноводском заливе, Сумгаите и Ленкорани) щелочность осенью возросла на 0,20—0,25 ммоль/л (см. табл. 6.12). В открытых районах Среднего и Южного Каспия в деятельном слое моря происходит увеличение щелочности в пределах 0,10—0,25 ммоль/л. На разрезе Дивичи — Кендерли были отмечены некоторые особенности в вертикальном распределении щелочности осенью:

— повышенине щелочности в слое 10—20 м относительно всего деятельного слоя моря, что, повидимому, объясняется интенсификацией процессов фотосинтеза в подповерхностных горизонтах моря;

— резкое сниженне щелочности в слое 50—75 м, где происходит накопление углекислоты;

— значительное увеличение щелочности ко дну, что соответствует распределению солености в глубоководном районе Среднего Каспия (см. табл. 6.13).

Заключение к гл. 6

Основными показателями карбонатной системы, одной из самых сложных равновесных систем в море, являются pH, общая щелочность и парциальное давление углекислоты.

Пространственно-временное распределение этих характеристик обусловлено особенностями гидролого-гидрохимического режима в различных районах Каспийского моря и прежде всего особенностями циркуляции вод и режима карбонатно-кальциевого равновесия, а также связано с продукционно-деструкционными процессами, протекающими в море в результате жизнедеятельности планктона.

Район предустьевого взморья Волги, как правило, характеризуется наиболее высокими значениями pH. В теплое время года повышение значений pH в этом районе связано с активно протекающим процессом фотосинтеза, так как изменения pH в основном находятся в зависимости от содержания углекислоты в водной среде.

В приглубых районах Северного Каспия, по мере приближения к средней части Каспийского моря, pH существенно уменьшается вследствие поступления из Среднего Каспия вод с повышенным содержанием углекислоты. Кроме того, в теплое время года в Северном Каспии, в районе свала глубин, где образуются нередко зоны дефицита кислорода, наблюдается также и резкое падение pH.

В глубоководных районах Среднего и Южного Каспия максимум значений pH отмечается в деятельном слое моря. Ко дну происходит постепенное понижение pH, обусловленное активными деструктивными процессами ОВ, которые сопровождаются выделением углекислоты.

Изучение системы снег — лед — подледная вода показало, что химический состав снега в Северном Каспии отличается от химического состава льда отсутствием гидрокарбонатного иона. В то же время pH льда характеризуется более низкими значениями по сравнению с подледной водой, где они, в свою очередь, изменяются в довольно широких пределах (7,03—8,99).

В сезонном ходе pH в водах Северного Каспия наблюдается его рост от весны к осени, что согласуется с сезонным ходом солености и температуры воды. В течение года наиболее низкие значения pH во всей водной толще Среднего Каспия наблюдались в зимний период; наиболее высокие — весной и осенью в деятельном слое моря, ниже которого динамика в сезонном ходе pH практически отсутствовала. По данным наблюдений за 1964—1985 гг., в деятельном слое Южного Каспия наиболее высокие значения pH отмечались в осенне-зимний период.

Анализ многолетней изменчивости показал, что в течение 1961—1983 гг. в водах Северного Каспия произошло некоторое снижение pH — на 0,2 (см. рис. 3.20). В то же время в Среднем и Южном Каспии по сравнению с данными предшествующего периода исследований (1958—1963 гг.) отмечался рост pH во все сезоны года от поверхности до дна, что также подтверждает усиление процесса вентиляции вод в глубоководных районах.

В отдельные сезоны в районах глубоководных станций Среднего и Южного Каспия проявляется отчетливая закономерность в распределении pH в зависимости от положения уровня моря: период понижения уровня характеризуется ростом значений pH, период повышения — их снижением.

В морской воде щелочность в основном определяется содержанием карбонатных ионов, поэтому ее динамика в значительной мере является отражением состояния карбонатно-кальциевого равновесия водной среды.

Пространственное распределение щелочности в Северном Каспии соответствует, как правило, распределению солености: минимальные значения наблюдаются в районе устьевого взморья Волги, максимальные — на границе со Средним Каспием.

Сезонный ход щелочности в Северном Каспии явно не выражен, более отчетливо он проявляется только в юго-западной его части, наиболее подверженной влиянию стока Волги. Минимальные значения щелочности в Северном Каспии и деятельном слое глубоководных районов Среднего и Южного Каспия отмечались, как правило, в летнее время.

Анализ многолетней изменчивости показал, что в течение 1961—1985 гг. средние годовые значения щелочности в Северном Каспии возросли на 0,18 ммоль/л (см. рис. 3.20).

Аналогичный анализ по щелочности в глубоководных районах Среднего и Южного Каспия провести не представляется возможным, в связи с тем что в середине 70-х годов наблюдения за щелочностью в этих районах были прекращены.

7. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗАЛ. КАРА-БОГАЗ-ГОЛ

Залив Кара-Богаз-Гол — самый большой залив Каспийского моря — расположен на восточном побережье Среднего Каспия на территории Туркменистана между параллелями 40° 31′ и 42° 29′ с. и меридианами 52° 43′ и 54° 46′ в. и играет важную роль в жизни моря, оказывая существенное влияние на его водный и солевой балансы. Залив представляет собой обширную мелководную лагуну неправильной овальной формы.

Залив Кара-Богаз-Гол образовался в процессе эволюции Хазарского и Хвалынского бассейнов и неоднократно подвергался обводнению и усыханию. Формирование современного залива в основных чертах завершилось в ранненовокаспийскую стадию, т. е. 4—5 тыс. лет назад, когда образовались современные косы, отделяющие его от моря. С тех пор лагунный режим залива не прерывался.

За последние 10—12 тыс. лет залив по крайней мере четырежды последовательно обводнялся и усыхал, что было вызвано вековыми колебаниями уровня Каспийского моря. Воды Каспия непрерывно поступали в залив, где при их почти полном испарении происходило постоянное концентрирование морской воды до рапы. При этом часть солей выпадала в осадок, образуя огромные массы солевых отложений. Таким образом, котловину за-

лива, дно которой в начальный период лежало примерно на 45 м ниже современного уровня Каспийского моря, постепенно заполнили лагунные отложения и к настоящему времени образовалась осадочная толща, сложенная из четырех пластов смешанных солей, состоящих из галита (NaCl), эпсомита ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), астраханита ($Na_2SO_4 \times \times MgSO_4 \cdot H_2O$) и глауберита ($Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$), пропитанных погребенными рассолами (так называемые рассольные горизонты) и отделенных друг от друга четырьмя слоями водонепроницаемых гипсокарбонатных отложений. Рассолы, пропитывающие соляные отложения, так же как и поверхностные рассолы, относятся к сульфатнохлоридному классу.

Формирование осадочных соляных пластов отвечает стадиям наибольшего осолонения и усыхания залива, тогда как гипсокарбонатные отложения образовались в периоды его относительного обводнения и опреснения [47].

Район залива относится к числу внутриматериковых пустынь с резко континентальным климатом, для которого характерно сухое и жаркое лето, умеренно холодная зима, незначительное количество осадков, интенсивное испарение с водной поверхности и частые ветры. Гидрологический и гидрохимический режимы залива подвержены значительной изменчивости вследствие непостоянства притока питающих его каспийских вод. Объем этого притока определяет концентрацию и степень метаморфизации рассолов, размеры водного зеркала, глубины и объем вод залива. Каждый кубический километр морской воды приносит в залив около 13 млн т различных солей. По подсчетам А. И. Дзенс-Литовского [47], примерно 50 % солей, поступающих в залив с водой Каспия, выделяется в осадок в виде галита (NaCl), астраханита ($Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot H_2O$) и эпсомита ($MgSO_4 \times \times 7H_2O$), а в растворе остаются наиболее растворимые соли — преимущественно хлористый магний, соли брома и др.

При стоке каспийских вод около 18 км³/год в 1897 г. площадь зал. Кара-Богаз-Гол составляла 18 800 км², объем вод 136 км³. В 1960-х — начале 1970-х годов при стоке 9—10 км³ площадь акватории залива колебалась около 10—11,5 тыс. км², а объем вод — 20—25 км³. К моменту отчленения залива от моря в 1980 г. его площадь составляла 10 300 км², объем вод около 2 км³. За 3,5 года без притока морских вод в результате двух основных процессов — испарения рассолов и захоронения их в донных солевых отложениях при седиментации солей, залив превратился в «сухое» соляное озеро. В сентябре 1984 г. сток в залив был возобновлен, и с 1987 г. при стоке около 1,6 км³/год площадь и объем его колеблются около значений 1500 км² и 1,0 км³ соответственно. Эти характеристики площади и объема залива относятся к концу испарительного сезона и являются минимальными в их сезонных колебаниях.

Залив Кара-Богаз-Гол является крупнейшим соляным месторождением, в котором встречается до 20 соляных минералов. В соляных отложениях залива накоплены десятки миллиардов разных солей, которые можно рассматривать в качестве ценного сырья для развития химической промышленности, сельского хозяйства, цветной металлургии, медицины и других отраслей народного хозяйства. В настоящее время из погребенных межкристальных рассолов залива, отличающихся от поверхностной рапы постоянством своего состава, на комбинате «Карабогазсульфат» в пос. Бекдаш добывают сульфат натрия, магнезиальные продукты, сульфат калия, бром, различные соли редких элементов — ценного сырья для получения различных химических продуктов, щелочных и щелочноземельных металлов, минеральных удобрений, кислот, щелочей, а также для обработки кожи, изготовления стекла, текстиля и бумаги.

7.1. Режим до прекращения стока каспийской воды

Залив Кара-Богаз-Гол служит современной моделью солеобразования. В современный период в формировании поверхностных рассолов и солевых отложений залива можно отметить несколько периодов. Квазистационарный период до начала 1930-х годов характеризовался медленным соленакоплением с выделением из рассолов в донные отложения гидрокарбонатов щелочноземельных элементов, гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и осенне-зимнего периодического минерала мирабилита ($Na_2SO_4 \times \times 10H_2O$). Через пролив в залив поступало в это время в среднем 20—25 км³ морской воды в год.

В связи с падением в 1930-е годы уровня Каспийского моря примерно на 2 м приток морской воды в залив в 1939 г. сократился до 6 км³ в год, что привело к уменьшению объема поверхностных рассолов и к увеличению их концентрации. Летом 1939 г. впервые была отмечена кристаллизация из рассолов хлористого натрия. С этого года в истории залива начался период, характеризовавшийся интенсивным осаждением солей и формированием верхнего соляного пласта.

Солевые отложения залива состояли из временных, сезонных минералов, которые периодически выделялись и спустя некоторое время снова растворялись при изменении концентрации или температуры рассолов, и из минералов, которые, однажды выделившись, больше в рассол не переходили, по крайней мере в основной массе, образуя стабильный верхний пласт солевых отложений.

Сезонные отложения образовывались осенью и зимой при охлаждении рассолов и летом при сильном концентрировании рассолов. Осенне-зимние сезонные минералы, широко распространенные в заливе, образовывали рыхлый слой зимней новосадки солей, состоящей из мирабилита ($Na_2SO_4 \times \times 10H_2O$) и эпсомита ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). К периодическим отложениям, которые выделялись весной и в начале лета, относятся также новообразования глауберита ($CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$). Важным свойством глауберитовых минералов лабильной соли ($CaSO_4 \times \times 2Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$), натрий-сингенита ($CaSO_4 \times \times Na_2SO_4 \cdot H_2O$) является их неустойчивость по отношению к разбавленным рассолам (менее 270 ‰), так и по отношению к рассолам, насыщенным галитом и эпсомитом (около 300 ‰).

Резкое уменьшение притока морской воды в залив повысило общую минерализацию рассолов. В результате снижения уровня рассолов в заливе, обильной садки солей и заполнения ими приглубых

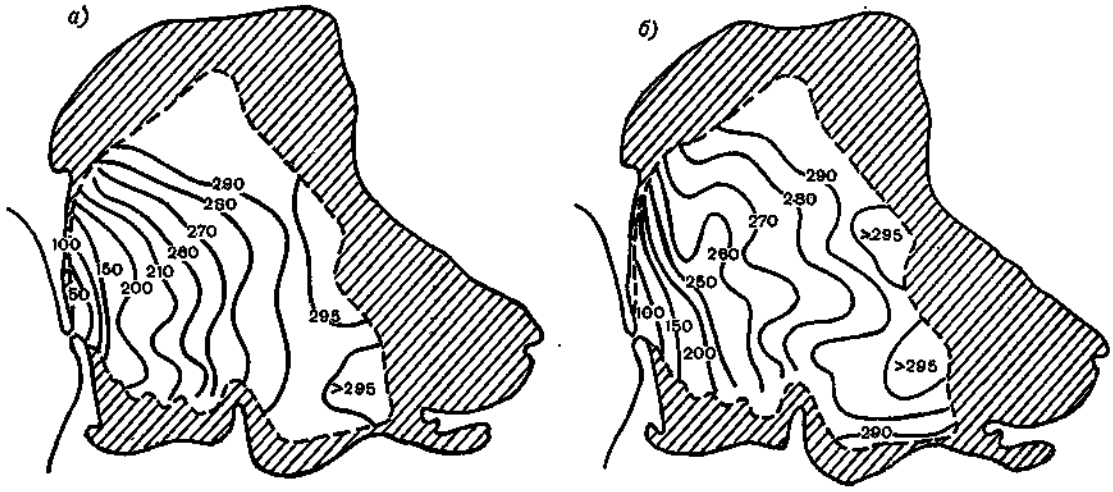


Рис. 7.1. Распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в поверхностном (*а*) и придонном (*б*) слоях.

Штриховкой показана соляная залежь без рассолов.

районов максимальная глубина в заливе уменьшилась с 12 м в 1920—1930-х годах до 4,5 м в начале 1950-х годов. Акватория залива сократилась, и в восточной и северо-восточной его частях образовались широкие прибрежные зоны солевых отложений без поверхностных рассолов.

Пласт постоянных солей в поверхностных солевых отложениях в основании состоял из галита и астраханита и небольшой примеси гипса.

В 1950—1960-е годы в связи с относительно постоянным объемом стока морской воды в залив (в среднем около 10 км³ в год) гидрохимический режим залива стабилизировался, произошла дифференциация рассолов (рис. 7.1). К этому времени акваторию залива можно было разделить на три зоны: смешения (или дельтовую), центральную и периферическую, прибрежную, различающиеся по составу, цвету, прозрачности рассолов и протекающим в них физико-химическим процессам [82]. Границы всех трех зон выделялись условно по изолиниям концентраций рассолов с учетом территориального распределения донных отложений, и положение этих границ могло несколько изменяться в течение года в зависимости от термических условий, велнчины притока морской воды, направления и силы ветра (рис. 7.2).

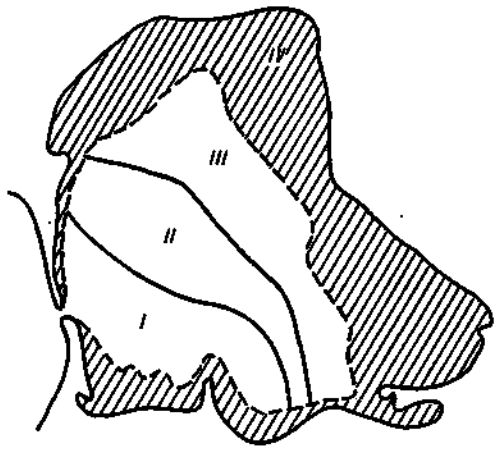


Рис. 7.2. Гидрохимические зоны залива.

I — зона смешения; II — центральная зона; III — прибрежная зона; IV — обнажившаяся из-под рапы прибрежная солевая залежь.

Зона смешения характеризовалась изменчивостью минерализации и состава раствора от близких к каспийской воде (13 ‰) до рассолов при 260 ‰ (табл. 7.1). Вносимые морской водой ионы Ca^{2+} и HCO_3^- при смешении с концентрированными рассолами, содержащими ионы Mg^{2+} и SO_4^{2-} осаждались с образованием углекислых солей $MgCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$ и гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Кальций кристаллизовался в этой зоне на 99 %, карбонаты и фосфорнокислые соли — на 90 %. Рассолы оставались недонасыщены в отношении ионов Cl^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}. При понижении температуры рассолов до 5 °С начинал осаждаться осенне-зимний периодический минерал мирабилит ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) мощностью слоя 30—40 см, весной в период прогрева вод он полностью растворялся. В 1950 г. впервые наблюдалась кристаллизация из рассолов глауберита ($CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$). Многолетний непрерывный мониторинг за гидрохимическим режимом вод залива позволил установить, что в 1950—1974 гг. наблюдалась его относительная стабилизация с незначительными межгодовыми изменениями. С 1974 г. вновь уменьшился приток морской воды в залив, повысилась концентрация рассолов и впервые в ноябре 1974 г. на мелководье было отмечено осаждение мирабилита с примесью галита.

Начиная с 1897 г. и до 1980 г. для зоны смешения наиболее характерным признаком оставалось периодическое выделение и обратное растворение мирабилита. Спектральным анализом в карбонатно-гипсовых илах этой зоны установлено присутствие элементов: B, Be, Li, Ca, Na, Rb, Sr. Рассолы зоны смешения имели молочно-серую окраску.

Центральная зона занимала относительно глубоководную часть залива и содержала 43,4 % общего объема рассолов залива. Западной границей зоны служила изолиния рассолов с суммой солей 260 ‰, восточная граница проведена по изолинии концентрации 290 ‰. Эта зона характеризовалась сравнительно однообразными условиями по площади и глубине. Значительные изменения рассолы претерпевали лишь на границе с зоной смешения в результате взаимодействия с более разбавленными рассолами. На границе с прибрежной зоной

Таблица 7.1

Химический состав рассолов (‰) зоны смешения ($\varphi = 41°06'$ с. ш.; $\lambda = 52°55'$ в. д.)

Дата отбора пробы	Глубина отбора проб, м	Температура рассолов, °С	Плотность, г/см³	Гипотетические соли						Сумма солей
				$MgCO_3$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
7 IV 1946	0,1	26,3	1,033	—	1	11	6	—	21	39
	0,5	29,0	1,231	1	—	78	37	—	144	260
	1,5	29,5	1,205	1	—	87	42	—	169	299
10 VIII 1947	0,1	18,1	1,011	—	—	—	—	—	10	10
	1,0	26,0	1,245	—	—	86	99	7	143	335
	4,0	28,0	1,263	—	—	86	99	8	150	343
5 XI 1949	0,1	10,5	1,158	1	—	51	36	4	90	182
	1,5	10,5	1,225	1	—	73	49	7	131	261
	3,0	10,6	1,225	—	—	—	—	—	—	—
9 IX 1950	0,1	18,7	1,015	—	—	72	43	6	135	256
	1,45	26,2	1,221	1	—	78	49	7	152	287
13 IV 1951	1,5	27,8	4,240	8	—	77	47	7	145	284
	3,0	25,4	1,251	1	—	78	48	7	152	286
27 IV 1952	0,1	20,0	1,022	—	1	9	4	—	20	34
	1,5	27,3	1,225	—	—	71	47	7	138	263
	3,0	28,5	1,248	—	—	78	49	7	158	292
24 V 1954	0,1	18,1	1,040	—	1	15	8	—	27	51
	1,35	23,1	1,215	1	—	70	52	7	120	250
	2,7	24,0	1,219	1	—	73	52	7	188	321
11 VI 1955	0,1	24,2	1,064	—	—	25	16	—	47	88
	1,3	24,8	1,260	1	—	85	65	8	138	297
	2,6	25,0	1,261	1	—	86	66	8	138	299
23 V 1956	0,1	13,0	1,034	—	1	12	9	—	23	45
	1,45	16,0	1,220	1	—	76	63	9	117	266
	2,9	17,0	1,230	1	—	77	63	9	122	272
19 VII 1957	1,3	27,2	1,247	1	—	81	67	9	122	280
	2,6	27,9	1,248	1	—	82	65	9	125	282
25 VI 1958	0,1	22,2	1,007	—	1	4	1	—	9	15
	1,25	28,1	1,239	1	—	79	65	9	122	276
	2,5	28,1	1,244	1	—	80	66	9	123	279
23 IX 1959	0,1	18,0	1,999	1	—	65	52	7	104	229
	1,40	19,0	1,246	1	—	78	63	8	125	275
	2,80	20,5	1,253	1	—	80	65	9	127	282
17 IX 1960	0,1	23,0	1,044	—	—	17	11	—	31	59
	1,3	25,7	1,222	1	—	70	58	7	118	254
	2,6	27,3	1,242	1	—	75	63	8	127	274
18 IV 1961	0,1	20,0	1,012	1	—	5	2	—	12	20
	1,4	27,0	1,215	1	—	67	58	7	117	250
	2,7	27,0	1,226	1	—	72	61	8	127	269
19 IX 1963	0,1	22,5	1,217	1	—	78	68	9	132	288
	2,7	24,0	1,240	—	—	78	68	9	133	288
IX 1971	0,25	—	1,025	1	2	8	19	—	3	33
	1,3	—	1,195	—	1	59	62	5	101	228
	2,5	—	1,198	1	1	61	61	7	100	231
18 VI 1972	1,5	—	1,221	1	—	61	51	7	134	254
	3,0	—	1,222	1	—	61	51	7	134	254
VIII 1973	0,1	—	1,006	—	2	6	5	—	5	18
	1,5	—	1,250	1	2	81	52	8	159	303
	3,0	—	1,250	1	2	81	61	8	149	302
VIII 1974	0,1	—	1,011	1	2	2	8	—	5	19
	1,5	—	1,213	1	1	67	45	7	136	257
	3,0	—	1,225	1	1	71	48	7	142	270
VIII 1975	0,1	21,5	1,012	—	2	2	4	1	4	13
	1,5	24,5	1,220	1	1	62	52	8	122	247
	3,0	25,0	1,263	1	1	80	59	8	143	292
VIII 1976	0,25	28,0	1,029	—	3	8	9	1	13	34
	1,5	29,0	1,252	2	1	76	73	8	117	277
	2,9	29,5	1,252	2	—	81	56	8	134	281

вследствие небольшой плотностной разницы и небольшого уклона дна к центру залива наблюдался медленный сток более концентрированных рассолов от прибрежной зоны к центру залива, где происходило их смешение. Состав рассолов центральной зоны был наиболее однороден по сравнению с другими зонами, в годичном цикле концентрации колебались в пределах 260—290 ‰. Наблюдались различия в концентрациях рассолов в придонном и поверхностном слоях примерно на 10—30 ‰ и в таких же пределах концентрация увеличивалась от границы с зоной смешения к границе с прибрежной зоной. Из рассолов кристаллизовались галит, астраханит, а при понижении температуры до 5 °С и ниже выпадал в осадок чистый мирабилит. Слой новосадки солей достигал примерно 20—25 см. При детальном обследовании новосадки солей в центральной зоне было установлено, что она состоит из крупных зерен галита, включающих мелкие кристаллы астраханита и гипса. При буре-

нии в этой зоне были вскрыты прослойки следующих солей: верхний слой — 2 см поваренной соли с астраханитом, прослойка гипса с карбонатами и глауберитом ($Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$) — 0,5 см, глауберит и натрий-сингенит ($Na_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$) — 5 см, слой гипсокарбонатного ила — 15 см. В этой зоне широко были распространены отложения глауберита и натрий-сингенита мощностью от 5 до 20 см, которые находились в виде белой крупенчатой массы, названной белым творожистым илом. Массовое осаждение белого ила происходило в весенне-летний период, а позднее натрий-сингенит разлагался с образованием гипсовой корки.

Прибрежная зона рассолов залива простиралась с северо-запада на юго-восток и переходила в открытый пласт соли. В самом заливе за условную границу была принята изолиния концентрации 290‰. Объем рассолов зоны составлял около 8 км^3 или 33,8 % общего объема рассолов. Для этой зоны было характерно проникновение более плотных межкристальных рассолов из береговых соляных отложений. Поэтому по концентрации и составу рапа прибрежной зоны являлась переходной от центральной зоны к межкристальным рассолам соляного пласта. Вертикальное расслоение почти отсутствовало. Содержание солей в летней рапе составляло 290—295‰. В тихую и жаркую погоду поверхность рассола покрывалась чешуей из кристаллов поваренной соли, что служит признаком перенасыщенности раствора. Летом при испарении кристаллизовались галит, астраханит и на границе соляных обнажений при осеннем похолодании мирабилит с примесью эпсомита. Рапа прибрежной зоны имела свинцово-розовый цвет, а во время осаждения эпсомита становилась изумрудно-зеленой.

Взаимодействие между основными компонентами рассолов в эти годы отражает диаграмма растворимости четверной водно-солевой системы из хлоридов и сульфатов натрия и магния (рис. 7.3). На горизонтальной проекции системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С точки состава рассолов до 1939 г. попали в поле кристаллизации галита, а при температуре 0 °С — в поле мирабилита. При этом годичный цикл изменения рассолов выражался лучом кристаллизации мирабилита ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), который зимой линейно смещался вниз, а в теплое время, когда начиналось растворение мирабилита, поднимался вверх. С момента резкого падения уровня моря (1939 г.) годичный цикл осложнялся, так как к садке мирабилита присоединился галит, при этом точка состава рассола стала смещаться вправо по лучу кристаллизации галита и к 1943 г. достигла линии совместной кристаллизации галита и астраханита (см. рис. 7.3). Из рассолов выпадал в осадок астраханит с примесью галита. При температуре 0 °С точки состава рассолов лежали в поле мирабилита. Все эти годы для рассолов залива было характерным выделение в осадок осенне-зимнего периодического минерала мирабилита.

Для того чтобы выяснить порядок кристаллизации солей при концентрировании рассолов зал. Кара-Богаз-Гол, было проведено изотермическое испарение при температуре 30 °С рассолов, отобранных в центре залива. Взаимодействия между основными компонентами в рассолах, насыщенных хлористым натрием, могут быть рассмотрены

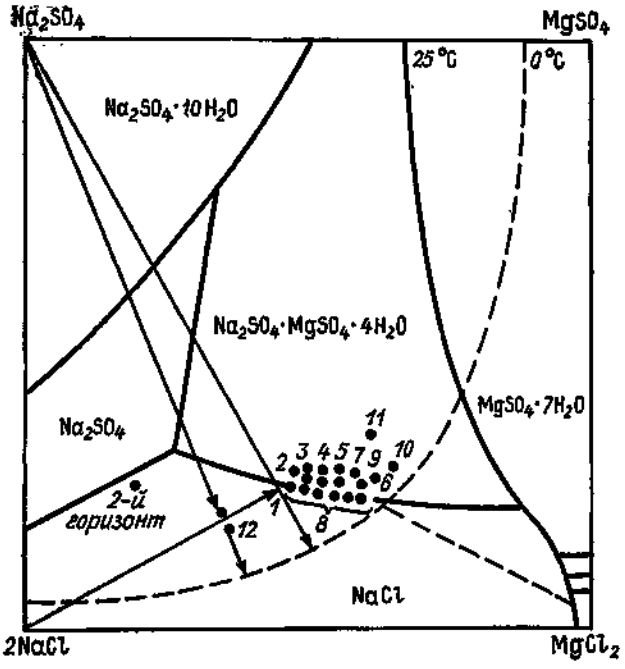


Рис. 7.3. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в 1938—1979 гг., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$.

1 — 1943 г.; *2* — 1950 г.; *3* — 1954 г.; *4* — 1955 г.; *5* — 1957 г.; *6* — 1958 — 1960 гг.; *7* — 1961 — 1963 гг.; *8* — 1965 — 1971 гг.; 1978—1979 гг.; *9* — 1975 г.; *10* — 1976 г.; *11* — 1977 г.; *12* — 1938 г.

в пятерной водно-солевой системе $(Na, K)_2Cl_2 + MgSO_4 \rightleftharpoons (Na, K)_2SO_4 + MgCl_2 + H_2O$. По мнению Вант-Гоффа, состав рассолов в этой системе может быть выражен с помощью треугольного сечения $MgCl_2 — 2KCl — Na_2SO_4$. При этом состав рассолов изображается тремя компонентами: Mg^{2+}, K^+, SO_4^{2-}, которые располагаются в вершинах треугольника, а содержание хлористого натрия соответствует постоянному насыщению.

На диаграмме (рис. 7.4) пунктирными линиями обозначены границы стабильных областей растворимости. Фигуративные точки с 1 по 18 характеризуют изотермическое испарение. В процессе сгущения рассола кристаллизовались галит, глауберит (т. 5). При достижении рассолами суммы солей, равной 313‰ (точки 7 и 8), в осадок выпадал астраханит. Накопление сульфата магния шло до концентрации 325‰ и в т. 9 состава осаждался эпсомит. При уменьшении содержания воды в рассоле кристаллизовался шестиводный сульфат магния. В т. 10 из рассолов кристаллизовался каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), а затем (точки 11—15) карналлит ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$). Начало садки бишофита ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) отмечено при достижении в рассоле суммы солей, равной 370‰ (точки 16—19). Садка гексагидрата ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$) наблюдалась до эвтоники (точки 18—19). Вблизи эвтоники кристаллы гексагидрата приобрели форму «табличек», так называемые кристаллы Мариньяка. Данный путь кристаллизации солей из рассолов залива отличается от ранее наблюдавшегося Вант-Гоффом при испарении рассолов морского типа: заметно увеличены поля кристаллизации астраханита, гексагидрата, карналлита за счет уменьшения поля каинита.

Проведенное исследование позволило установить не только порядок выделения солей, но и кри-

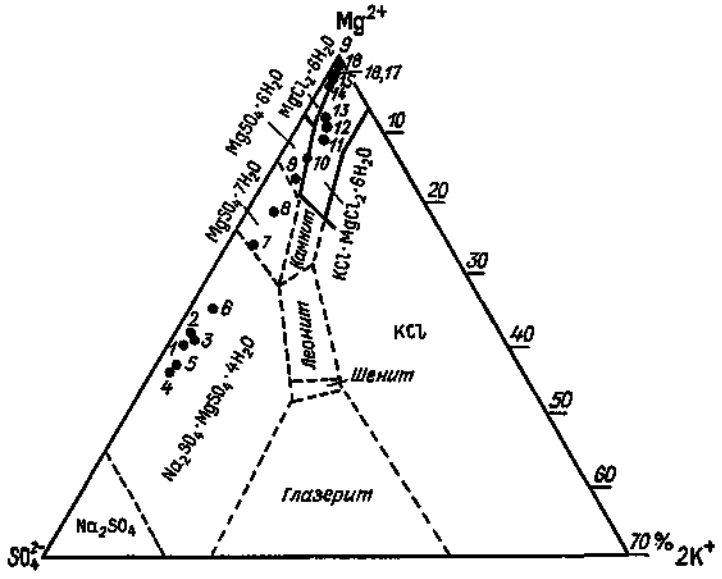


Рис. 7.4. Диаграмма растворимости пятерной водно-солевой системы $(Na, K)_2Cl_2 + MgSO_4 \rightleftarrows (Na,K)_2SO_4 + MgCl_2$.

Точками 1—18 даны составы рассолов, полученные в процессе испарения.

тические концентрации рассолов залива, при которых идет их кристаллизация.

По данным [101], распределение солевых отложений за 1956—1971 гг. имело следующий характер. В январе в предпроливной зоне осаждался гипс, в центральной зоне и части предпроливной зоны — мирабилит, в прибрежной зоне — эпсомит. В апреле в зоне смешения кристаллизовался гипс, в зоне смешения (с более высокими концентрациями) и в центральной зоне — глауберит, в оставшейся части центральной зоны и в прибрежной — галит и астраханит. В июле из-за увеличения притока морской воды возрастала зона осаждения гипса, несколько сужалась и смещалась к проливу зона кристаллизации глауберита и на всей остальной акватории отлагался галит и астраханит. К сентябрю зоны осаждения гипса и глауберита еще больше сужались и смещались, немного поворачиваясь против часовой стрелки.

В сентябре 1971 г. туркменскими геологами было проведено опробование отложений и придонной рапы залива по трем галсам, образующим треугольник [72]. По результатам анализов были определены области распространения различных типов отложений: по западному берегу акватории тянулась полоса карбонатно-гипсовых отложений, далее довольно широкая зона гипсово-глауберитовых отложений, потом, пересекая акваторию залива от м. Казах до п-ова Омчал, распространялась узкая область гипсовых отложений, затем снова гипсово-глауберитовая зона, которая простиралась, расширяясь с севера на юго-восток, и в северо-восточной части акватории находились сначала астраханит-глауберит-галитовая зона, а за ней в самом северо-восточном углу залива — область кристаллизации чистого галита. Авторы этой работы считают, что образование глауберита происходило по схеме $CaSO_4 \cdot 2H_2O + Na_2SO_4 \rightleftarrows \rightleftarrows CaSO_4 \cdot Na_2SO_4 + 2H_2O$ и это являлось своеобразным буферным процессом, сдерживающим осаждение легкорастворимых солей при относительно устойчивом водном балансе. Область же гипсовых отложений, возможно, обусловлена как снятием перенасыщений по гипсу, так и оседанием мелких взвешенных кристаллов гипса из рапы в результате затухания течений, идущих от пролива.

Начавшееся в 1974 г. уменьшение притока морской воды в залив привело к увеличению минерализации рассолов. Снижение уровня рапы в заливе и выпавшие в осадок соли уменьшили максимальную глубину залива до 3,5 м. В рассолах залива постепенно накапливались калийно-магниевые соли, бром, бор, редкие и рассеянные элементы. В таком состоянии рассолы залива находились вплоть до прекращения притока каспийской воды в залив в начале 1980 г.

7.2. Режим после перекрытия пролива

После перекрытия пролива в жизни залива начался период, который уже приходилось ему переживать, но на этот раз вызванный искусственно: усыхание залива и превращение его в сухое соляное озеро.

Для того чтобы проследить изменения в гидрохимическом режиме залива, рядом научных организаций были предприняты специальные исследовательские работы, во время которых ежеквартально с борта вертолета отбирались пробы рассолов и солей, измерялась температура рапы и глубины в заливе, определялись морфометрические характеристики усыхающего залива. Пробы рапы и солей обрабатывались по методикам ВНИИГа [90].

Первый облет с отбором проб был выполнен в октябре 1981 г. (рис. 7.5 *а*). Площадь рассолов залива к этому времени в результате испарения и осаждения солей сократилась с 10,3 до 6,4 тыс. км², где площадь зеркала чистой рапы (без прибрежной зоны с множеством соляных островов) занимала всего 3,8 тыс. км². Минерализация рассолов возросла до 300—330 ‰, и наиболее соленые воды наблюдались у западного и юго-западного берегов (см. рис. 7.5). Содержание $MgCl_2$ в рассолах колебалось от 250 ‰ на юго-западе до 180 ‰ на востоке. Содержание NaCl и $MgSO_4$ в рассолах упало и находилось в пределах: NaCl — от 17 ‰ на юго-западе до 40 ‰ на востоке, $MgSO_4$ — от 43 ‰ на западе до 60 ‰ на востоке (табл. 7.2).

Анализ минералогического состава солей показал, что на западе в новосадке содержались гексогидрат сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$), на юге — сульфат магния и карналлит ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), на юго-востоке — эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), карналлит и бишофит, на севере и северо-западе — эпсомит и бишофит. Повсеместно произошло осаждение галита (NaCl) (табл. 7.3).

Весной, в марте 1982 г., рассолы стали более разбавленными за счет атмосферных осадков и конденсации влаги из воздуха. Общая минерализация рассолов изменялась от 260 ‰ на юго-западе до 300 ‰ на юго-востоке (рис. 7.5 *б*). Содержание NaCl колебалось от 24 ‰ в западной и центральной частях залива до 110—160 ‰ в прибрежной зоне на севере, востоке и юго-востоке акватории; $MgCl_2$ — от 55 ‰ на северном побережье бассейна до 207 ‰ в его центральной части;

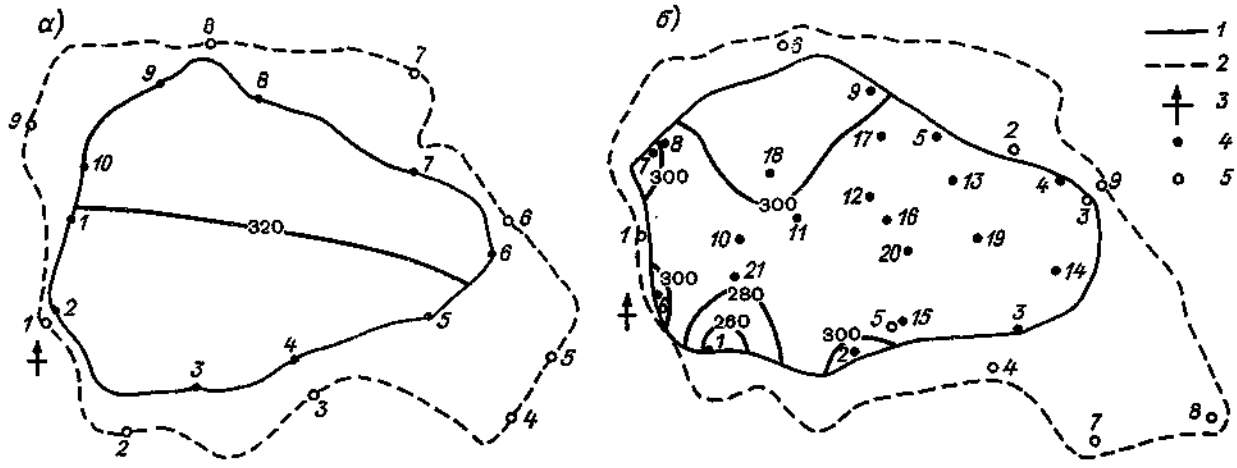


Рис. 7.5. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в октябре 1981 г. (*а*) и в марте 1982 г. (*б*).

1 — урез рапы; *2* — граница залитых солей; *3* — расположение ГМС Кара-Богаз-Гол; *4* — точки отбора проб рапы; *5* — точки отбора проб соли.

$MgSO_4$ — от 38‰ на юго-западе акватории и в ее центральной части до 70‰ на мелководьях севера. Содержание KCl в рассолах колебалось от 11 до 26‰ (табл. 7.4). Если рассмотреть точки состава рассолов по диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftarrows MgCl_2 + NaSO_4$ при температуре 25 °С, то можно отметить, что повсеместно эти точки лежат в поле кристаллизации галита, при понижении температуры рассолов до 0 °С в глубоководных местах осаждается эпсомит, на мелководье — галит и на северо-западе акватории — эпсомит с галитом (рис. 7.6).

В результате понижения уровня рассолов и интенсивного осаждения галита дно залива там, где в 70-е годы отмечались глубины до 3,5 м, поднялось и глубины в этой зоне залива весной 1982 г. составляли 0,25—0,50 м. В центральной и восточной частях бассейна, где основная масса хлористого натрия выпала в осадок еще в 40—50-х годах, такого существенного подъема дна не отмечалось и наибольшая глубина здесь достигала 1,75 м.

К лету 1982 г. (май — июнь) в результате выщелачивания донных отложений и их переотложения произошло выравнивание дна. В западной части бассейна глубины увеличились до 1,0 м, а на востоке — уменьшились до 1,25 м.

По линии коса Карасукут — м. Омчал наметился порог, где максимальные глубины рассолов колебались в пределах 0,50—0,75 м; местами порог выходил на поверхность в виде цепочки небольших островов. Этот порог разделил акваторию залива на две части — мелководную западную и более глубоководную восточную.

Вследствие испарения рассолов, выщелачивания соляного дна из-за увеличения растворимости при повышении температуры рапы концентрация рассолов увеличилась. Максимальная минерализация (385‰) наблюдалась на северо-западе акватории, минимальная (360‰) — в центральной части залива (рис. 7.7 *а*). В рассолах увеличилось содержание $MgCl_2$ до 240—250‰, $MgSO_4$ до 79—92‰, KCl до 22—28‰. Повсеместно выпал в осадок галит, и содержание NaCl уменьшилось до 7—29‰ (см. табл. 7.4). Поверхностные рассолы приобрели изумрудную окраску, и из них начал кристаллизоваться эпсомит. Рапа залива приблизилась к насыщению калийными солями (при содержании

Таблица 7.2

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в заливе в октябре 1981 г.

Номер пробы	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
1	1,2	3,1	34,6	198,2	0,1	71,3	8,5	7,3	1,7	3,7	0,3	43,1	240,8	16,2	18,5	324,3
2	0,9	3,4	36,4	198,5	0,1	72,0	7,8	7,2	1,3	4,1	0,3	45,2	242,0	14,9	18,5	326,3
3	1,1	3,5	35,7	202,6	0,1	74,0	6,6	6,7	1,5	4,2	0,3	44,5	250,2	12,6	17,0	330,3
4	1,0	3,2	38,4	198,0	0,1	71,9	10,2	6,6	1,4	3,8	0,3	47,9	239,7	19,5	16,8	329,4
5	0,9	2,6	41,9	191,6	0,1	66,2	15,4	11,7	1,3	3,1	0,3	52,3	214,2	29,4	29,8	330,4
6	0,9	2,4	43,1	178,4	0,1	64,4	13,4	8,1	1,3	2,8	0,3	53,8	206,4	25,6	20,6	310,8
7	1,1	2,0	48,2	167,7	0,1	59,1	11,6	14,8	1,5	2,4	0,3	60,2	180,5	22,1	37,6	304,6
8	0,4	2,5	46,3	169,4	0,1	58,6	11,2	15,9	0,6	3,0	0,3	57,8	180,9	21,4	40,4	304,4
9	0,8	2,2	41,9	177,5	0,1	61,0	12,0	14,1	1,1	2,6	0,3	52,3	194,6	22,9	35,8	309,6
10	0,9	2,3	45,0	175,6	0,1	60,8	12,9	14,4	1,3	2,8	0,3	56,1	190,3	24,6	36,6	312,0
11	0,9	2,8	38,7	192,5	0,1	67,8	13,0	9,2	1,3	3,4	0,3	48,2	223,6	24,8	23,4	325,0
12	1,0	2,1	45,7	169,8	0,1	58,1	11,8	16,5	1,4	2,5	0,3	57,0	179,4	22,5	42,0	305,1
13	0,9	2,6	40,3	191,7	0,1	66,7	13,9	11,0	1,3	3,1	0,3	50,3	217,7	26,5	28,0	327,2
14	0,9	2,7	37,8	194,8	0,1	68,7	11,3	9,5	1,3	3,2	0,3	47,1	228,3	21,5	24,1	325,8

Таблица 7.3

Химический состав солей (‰) в пробах, отобранных в октябре 1981 г.

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	Минеральный состав											Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	$MgSO_4$	$KCl \cdot MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
1	—	1,1	240,8	259,3	1,8	65,1	11,4	152,0	731,5	—	1,3	6,1	—	562,6	—	—	—	20,4	21,7	385,4	Гексагидрат, галит
2	0,5	1,4	246,0	239,3	0,4	71,6	7,4	133,7	700,3	0,7	1,7	1,4	—	582,7	—	—	54,5	—	14,1	339,8	Гексагидрат, галит, мало бишофита
3	2,2	3,0	183,3	239,9	1,2	89,7	63,4	37,9	620,6	3,1	3,6	4,0	—	429,3	—	450,6	—	12,0	—	96,4	Гексагидрат, карналлит
4	—	0,9	27,3	401,7	0,5	70,7	57,8	105,7	664,6	—	1,1	1,7	114,7	—	—	410,6	167,8	—	—	268,7	Эпсомит, карналлит, бишофит
5	—	1,0	210,0	271,2	1,7	60,6	5,8	156,8	707,1	—	1,2	5,8	528,3	—	—	—	49,8	—	11,1	398,5	Эпсомит, галит, бишофит
6	—	0,8	34,6	559,3	1,3	12,4	0,2	354,7	963,3	—	1,0	4,4	—	75,0	—	—	—	16,4	0,4	901,6	Галит, немного гексагидрата
7	—	—	0,7	602,1	0,3	3,7	4,8	80,7	992,3	—	—	1,0	—	—	—	—	—	14,5	9,2	967,6	Галит
8	—	1,0	136,1	374,1	0,4	41,0	5,3	227,1	785,0	—	1,2	1,4	346,7	—	—	—	39,2	—	10,1	577,2	Галит, эпсомит, бишофит
9	0,3	1,3	1,6	553,2	0,6	12,7	0,7	335,3	905,7	0,4	1,6	2,0	—	—	0,3	—	73,2	—	1,3	852,3	Галит, бишофит

Таблица 7.4

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1982 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Март																		
1	1,270	—	1,1	0,5	30,9	145,8	—	41,2	12,2	25,0	1,5	0,6	—	38,7	128,8	23,3	64,0	256,9
2	1,270	—	1,3	0,1	38,0	167,9	—	43,7	13,4	37,4	1,8	0,1	—	47,6	131,6	25,6	95,1	301,8
3	1,264	—	1,1	0,2	43,2	159,9	—	39,7	10,4	43,9	1,5	0,2	—	54,1	111,2	19,8	111,6	298,4
4	1,264	—	—	1,1	44,1	154,0	—	37,9	9,0	44,4	—	1,3	—	55,3	103,8	17,2	112,9	290,5
5	1,263	—	—	0,8	46,7	141,8	—	31,9	7,4	50,0	—	1,4	—	58,5	77,9	14,1	127,1	279,0
7	1,262	—	—	1,2	47,2	159,6	—	42,0	10,9	40,7	—	1,4	—	59,2	116,7	20,8	103,5	301,6
8	1,268	—	—	1,4	45,9	159,1	—	40,4	12,8	35,3	—	1,7	—	57,5	111,6	24,4	89,7	284,9
9	1,266	7,10	0,9	1,1	57,2	144,9	0,5	28,8	8,3	62,6	1,3	1,3	1,7	70,2	54,8	15,8	159,2	304,3
10	1,266	6,80	1,5	1,6	34,9	170,2	0,4	62,4	12,1	3,2	2,1	1,9	1,4	42,5	207,2	23,1	8,1	286,3
11	1,254	—	1,2	3,2	31,8	172,9	—	59,6	6,1	13,2	1,7	3,8	—	39,9	197,4	11,6	33,6	288,0
12	1,252	—	1,4	3,4	30,7	174,8	—	60,3	6,1	13,0	2,0	4,1	—	38,5	200,5	11,6	33,0	289,7
13	1,251	—	1,3	3,1	33,4	169,3	—	57,5	5,6	15,9	1,8	3,7	—	41,9	187,6	10,7	40,4	286,1
14	1,251	—	1,4	2,8	36,6	165,7	—	55,7	7,4	17,6	2,0	3,4	—	45,9	177,0	14,1	44,8	287,2
15	1,276	6,50	2,2	1,6	31,4	173,5	0,3	57,0	11,8	16,2	3,1	1,9	1,0	41,9	185,2	22,5	41,1	296,7
16	1,276	6,80	1,9	1,9	32,1	177,3	0,5	61,9	12,0	7,8	2,7	2,3	1,7	38,7	207,2	22,9	19,9	295,4
17	1,268	7,00	1,4	1,4	40,7	159,0	0,4	50,6	10,9	21,8	2,0	1,7	1,4	49,8	155,1	20,8	55,4	286,2

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические силы							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
18	1,273	6,65	2,0	1,9	33,2	185,0	0,3	56,7	12,8	23,0	2,8	2,3	1,0	40,7	185,2	24,4	58,5	314,9
19	1,276	6,65	2,3	1,9	31,3	178,4	0,4	60,5	11,1	11,7	3,2	2,3	1,4	38,0	201,7	21,2	29,8	297,6
20	1,271	6,50	1,8	1,8	32,9	172,5	0,1	58,1	11,9	12,8	2,5	2,2	0,3	41,0	190,7	22,7	32,5	291,9
21	1,268	6,50	1,9	1,9	33,6	172,5	0,1	59,9	12,5	9,6	2,7	2,3	0,3	41,9	196,6	23,8	24,4	292,0
Вода пролива м. Казах	1,109	7,70	Не обн.	0,7	26,7	60,5	0,6	10,7	1,1	30,7	—	0,8	2,0	31,7	16,4	2,1	78,0	131,0
м. Омчал	1,215	7,46	»	0,1	10,5	153,5	0,9	6,3	1,0	91,1	—	0,1	3,1	10,4	16,4	1,9	231,5	263,4
6	—	—	0,6	1,1	107,9	170,1	0,5	72,9	10,2	18,2	0,8	1,3	1,7	133,7	178,2	19,5	46,3	381,5
	—	—	Не обн.	0,9	70,4	135,1	Не обн.	22,4	2,2	78,0	—	1,1	—	88,2	17,2	4,2	198,3	309,0
Июнь																		
1	1,292	—	2,3	2,2	67,7	210,2	—	82,3	11,4	8,8	3,2	2,6	—	84,8	250,2	21,7	22,4	384,9
2	1,320	—	2,0	4,1	66,1	197,8	—	79,8	13,1	4,3	2,8	4,9	—	82,8	240,8	25,0	10,9	367,2
3	1,312	—	1,8	3,7	69,8	188,4	—	75,6	12,7	7,8	2,5	4,4	—	87,5	221,3	24,2	19,9	359,8
4	1,313	—	1,8	3,8	69,5	192,9	—	80,9	12,5	0,9	2,5	4,6	—	87,1	242,0	23,8	2,3	362,3
6	1,319	—	1,7	4,1	65,9	198,9	—	78,9	14,5	5,6	2,4	4,9	—	82,6	237,7	27,7	14,3	369,6
7	1,319	—	2,0	3,9	64,0	196,8	—	75,5	14,1	7,2	2,8	4,7	—	80,2	232,2	26,9	18,3	365,1
8	1,317	—	2,0	3,9	73,0	181,1	—	76,9	12,7	2,6	2,8	4,7	—	91,5	222,4	24,2	6,6	352,2
9	1,317	—	2,0	3,9	70,9	189,1	—	76,0	12,4	8,7	2,8	4,7	—	88,9	220,9	23,6	22,1	363,0
11	1,323	—	1,9	3,9	64,9	202,2	—	78,5	13,0	9,1	2,7	4,7	—	81,3	236,9	24,8	23,1	373,5
12	1,317	—	1,9	3,8	63,0	200,4	—	78,1	11,8	8,6	2,7	4,6	—	79,0	236,9	22,5	21,9	367,6
13	1,322	—	2,1	4,0	64,5	201,7	—	77,3	12,6	11,3	3,0	4,8	—	80,8	232,2	24,0	28,7	373,5
14	1,318	—	1,7	3,5	67,6	193,0	—	75,5	14,4	8,9	2,4	4,2	—	84,7	223,2	27,5	22,6	364,6
15	1,316	—	1,4	3,4	74,4	184,8	—	74,6	13,2	9,0	2,0	4,1	—	93,2	213,2	25,2	22,9	360,8
17	1,319	—	1,7	3,6	67,0	191,8	—	75,2	13,7	9,0	2,4	4,3	—	84,0	222,4	26,1	22,8	362,0
18	1,311	—	1,8	3,4	67,9	186,3	—	73,4	11,6	10,4	2,5	4,1	—	85,1	214,6	22,1	26,4	354,8
Октябрь																		
1	1,329	5,70	2,1	3,0	29,8	221,9	Не обн.	84,3	2,0	0,3	3,0	3,6	—	37,3	294,9	3,8	0,8	343,4
2	1,322	5,65	2,0	3,1	31,3	214,4	»	82,1	3,2	76,1	2,8	3,7	—	39,2	126,5	6,1	193,4	371,7
3	1,324	5,70	1,7	3,1	34,0	212,0	»	81,4	3,2	0,4	2,4	3,7	—	42,6	280,0	6,1	1,0	335,8
4	1,305	6,00	1,9	2,8	40,5	209,0	»	80,0	6,8	2,3	2,7	3,4	—	50,8	267,5	13,0	5,9	343,3
5	1,310	5,90	2,1	2,6	36,2	200,3	»	77,8	4,0	0,3	2,9	3,1	—	45,3	263,6	7,6	0,8	323,3
6	1,275	6,65	2,2	2,0	30,0	191,0	»	73,4	2,3	0,5	3,1	2,4	—	37,6	252,6	4,4	1,3	301,4
7	1,319	5,95	1,5	3,1	32,7	201,8	»	77,2	4,4	0,3	2,1	3,7	—	41,0	265,1	8,4	0,7	321,0
8	1,329	5,60	1,8	3,4	31,5	220,8	»	84,5	1,9	0,1	2,5	4,1	—	39,5	294,1	3,6	0,2	344,0
9	1,325	5,65	1,8	3,3	30,9	221,0	»	84,4	1,7	0,1	2,5	4,0	—	38,7	294,5	3,2	0,3	343,2
10	1,325	5,60	2,0	3,2	29,9	224,1	»	85,4	1,4	0,1	2,8	3,8	—	37,5	299,1	2,7	0,2	346,1
11	1,331	5,60	2,8	2,6	29,8	219,5	»	82,9	2,0	1,6	3,9	3,1	—	37,3	289,0	3,8	4,1	341,2
12	1,313	5,85	2,4	2,4	30,9	202,2	»	77,8	2,8	0	3,4	2,9	—	38,7	268,2	5,3	0	318,5
14	1,303	6,15	2,0	2,2	36,0	201,1	»	77,5	5,0	0,4	2,8	2,6	—	45,1	263,2	9,5	1,0	324,2
15	1,332	5,75	2,3	2,7	24,7	225,9	»	83,2	5,1	0,7	3,2	3,2	—	31,0	295,7	9,7	1,8	344,6
16	1,323	5,72	2,2	2,5	24,5	220,6	»	82,4	1,4	0,8	3,1	3,0	—	30,7	292,9	2,7	2,0	334,4
17	1,325	5,63	1,9	2,5	25,2	222,1	»	83,4	1,5	0	2,7	3,0	—	31,6	296,4	2,9	0	336,6
Скв. 1	1,236	6,95	Не обн.	1,2	59,1	123,3	0,2	20,1	2,2	69,0	—	1,4	0,7	73,4	20,0	4,2	175,4	275,1
Скв. 7	1,260	6,95	0,3	0,6	59,7	127,9	Не обн.	23,5	2,5	65,9	0,4	0,7	—	74,8	32,1	4,8	167,6	280,4
Скв. 4	1,246	6,95	0,2	0,6	56,2	134,0	»	25,5	2,8	64,3	0,3	0,7	—	70,4	43,5	5,3	163,4	283,6

Примечание. Не обн. — не обнаружено; скв. — скважина.

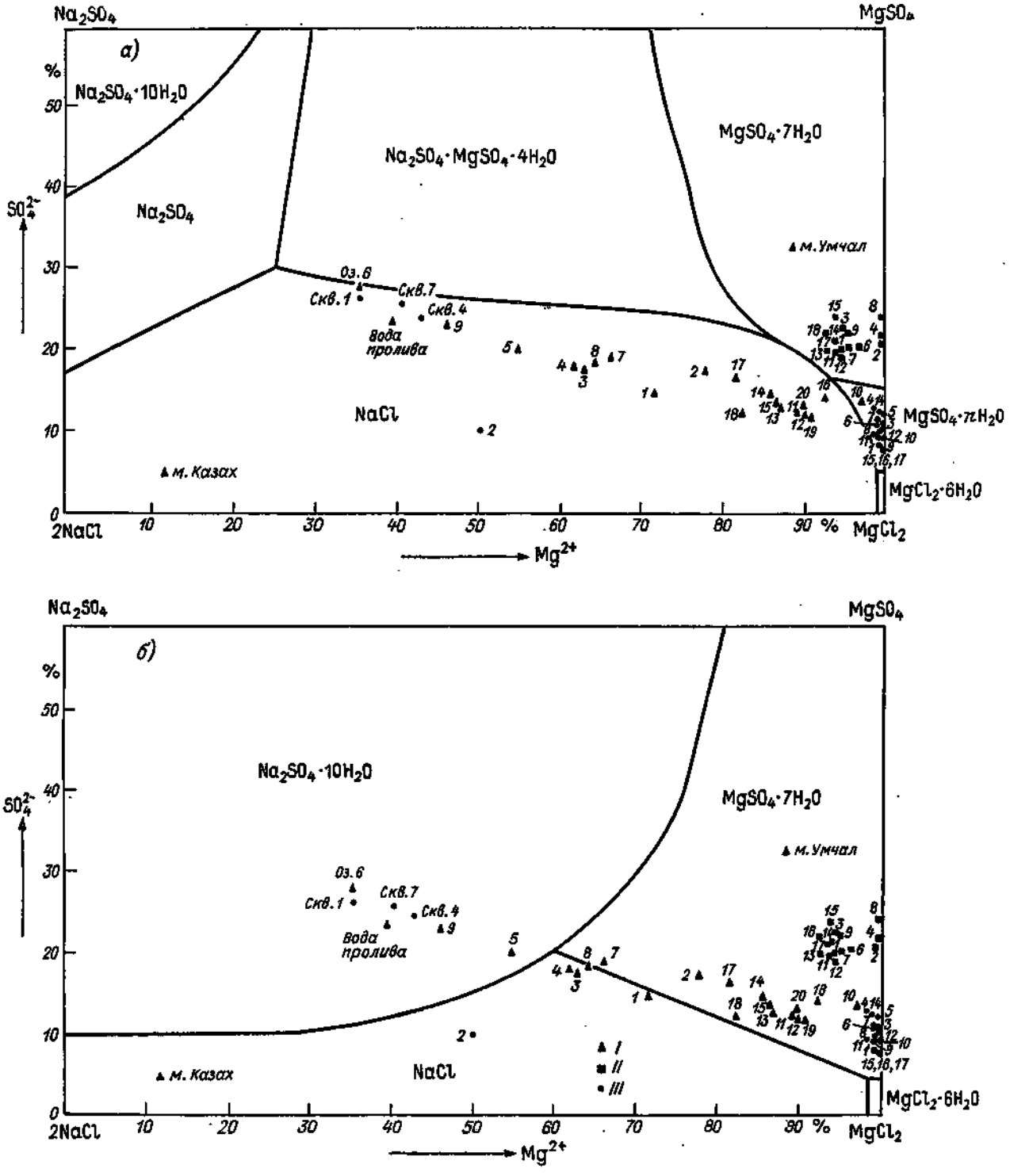


Рис. 7.6. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в марте (*I*), июле (*II*) и октябре (*III*) 1982 г. на диаграмме растворимости водно-солевой системы при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

в рассолах KCl более 29 ‰ наблюдается выделение в осадок карналлита).

Летнее испарение рассолов привело к значительному сокращению их объема. Наметившееся разделение бассейна на западную, более мелководную, зону с глубинами около 0,5 м и восточную с глубинами до 1,25 м стало более четким в октябре. Сократилась протяженность порога, с севера и юга цепочки островов превратились в полуострова. Количество мелких островов по всей протяженности порога увеличилось. На обсохшей поверхности пласта появились соляные столбики высотой 0,2—0,4 м, состоящие из галита с примесью $MgCl_2$ до 40 ‰ (табл. 7.5).

Рассолы к октябрю 1982 г. достигли насыщения по KCl и впервые выпала в осадок двойная соль — карналлит, что привело к уменьшению содержания KCl в рассолах по всей акватории залива до 3—13 ‰. Рассолы приобрели желтоватую окраску, характерную для периода осаждения карналлита. В результате интенсивного осаждения гексагидрата сульфата магния, карналлита и галита общая минерализация рапы уменьшилась до 300 ‰ в центре восточной части (рис. 7.7 *б*),

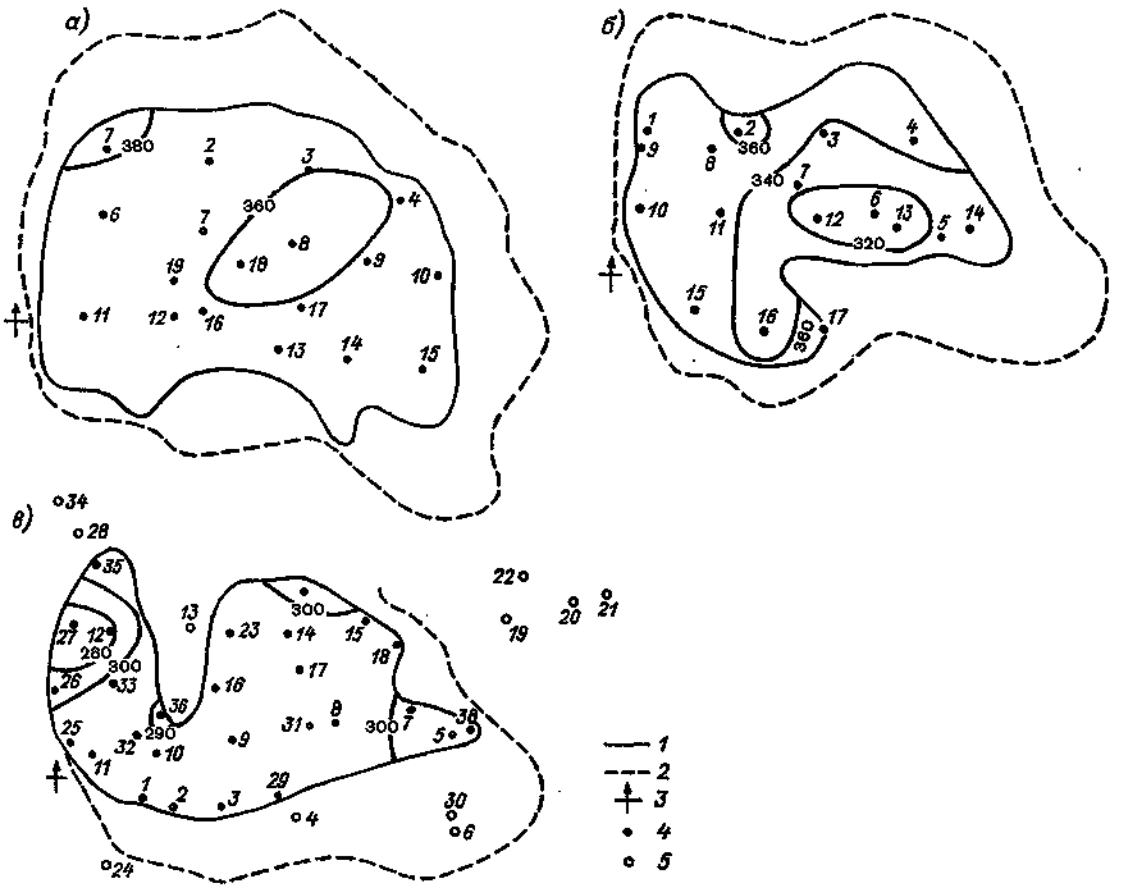


Рис. 7.7. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в мае—июле (*а*) и в октябре 1982 г. (*б*) и в марте 1983 г. (*в*).

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

Таблица 7.5

Химический состав соляных столбиков, ‰

Место отбора проб	Гипотетические соли					Сумма солей
	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Основание соляных столбиков	1,4	0,4	32,1	0,4	851,0	885,3
Середина	1,8	2,6	36,0	—	825,1	865,5
Вершина	1,6	0,5	39,9	—	834,7	876,1
Ниже вершины на 5 см	1,8	—	39,2	—	833,0	874,0

в остальных районах преобладали концентрации 320—345 ‰. В рассолах возросло содержание только $MgCl_2$ — до 250—295 ‰. Содержание $MgSO_4$ упало до 30 ‰ на юге залива и 50 ‰ на востоке, NaCl — до 0—4 ‰, кроме одной точки на севере акватории, где содержание NaCl составляло 190 ‰ (табл. 7.4).

По диаграмме растворимости четвертой водно-солевой системы при температуре 25 °С в западной части залива осаждался $MgSO_4 \cdot nH_2O$, в восточной — $MgSO_4 \cdot 6H_2O$. При температуре 0 °С точки состава рассолов расположены в поле эпсомита (см. рис. 7.6).

Годичные циклы состава рассолов незамкнуты, они постепенно смещаются в сторону увеличения содержания $MgCl_2$ и других солей в результате систематического повышения общей минерализации рассолов залива.

Если в 1981 г. рассолы были насыщены сульфатом натрия, то в 1982 г. в составе рассола преобладал сульфат магния. Для рассолов стало характерным выделение из них эпсомита как периодического осенне-зимнего минерала, полностью вытеснившего мирабилит.

Между рассолами и обнаружившимся соляным пластом не было четкой и постоянной границы. Вследствие сгонно-нагонных явлений граница водного зеркала постоянно менялась. Во время сильных нагонов рассолы не успевали полностью стекать обратно. В пониженных участках соляного пласта образовывались лагуны застойных рассолов, которые упаривались до состояния кристаллизации бишофита.

В марте 1983 г. максимальные глубины в заливе колебались в пределах 0,2—0,5 м. Концентрация рассолов по акватории изменялась от 290 до 320 ‰ (рис. 7.7 *в*). Наиболее разбавленные рассолы находились на севере и северо-востоке акватории. Содержание NaCl возросло до 15—25 ‰ в западной части акватории и до 30—60 ‰ в восточной. Возросло также и содержание KCl — до 10—29‰. Количество $MgCl_2$ уменьшилось до 130—215 ‰, причем минимальное содержание $MgCl_2$ отмечалось на востоке вблизи уреза рапы. Несколько увеличилось содержание $MgSO_4$ в рассолах — до 37 ‰ в районе перемычки и до 66 ‰ на северо-востоке акватории (табл. 7.6). Анализ новосадки солей показал наличие в ней галита и эпсомита практически во всех точках отбора проб.

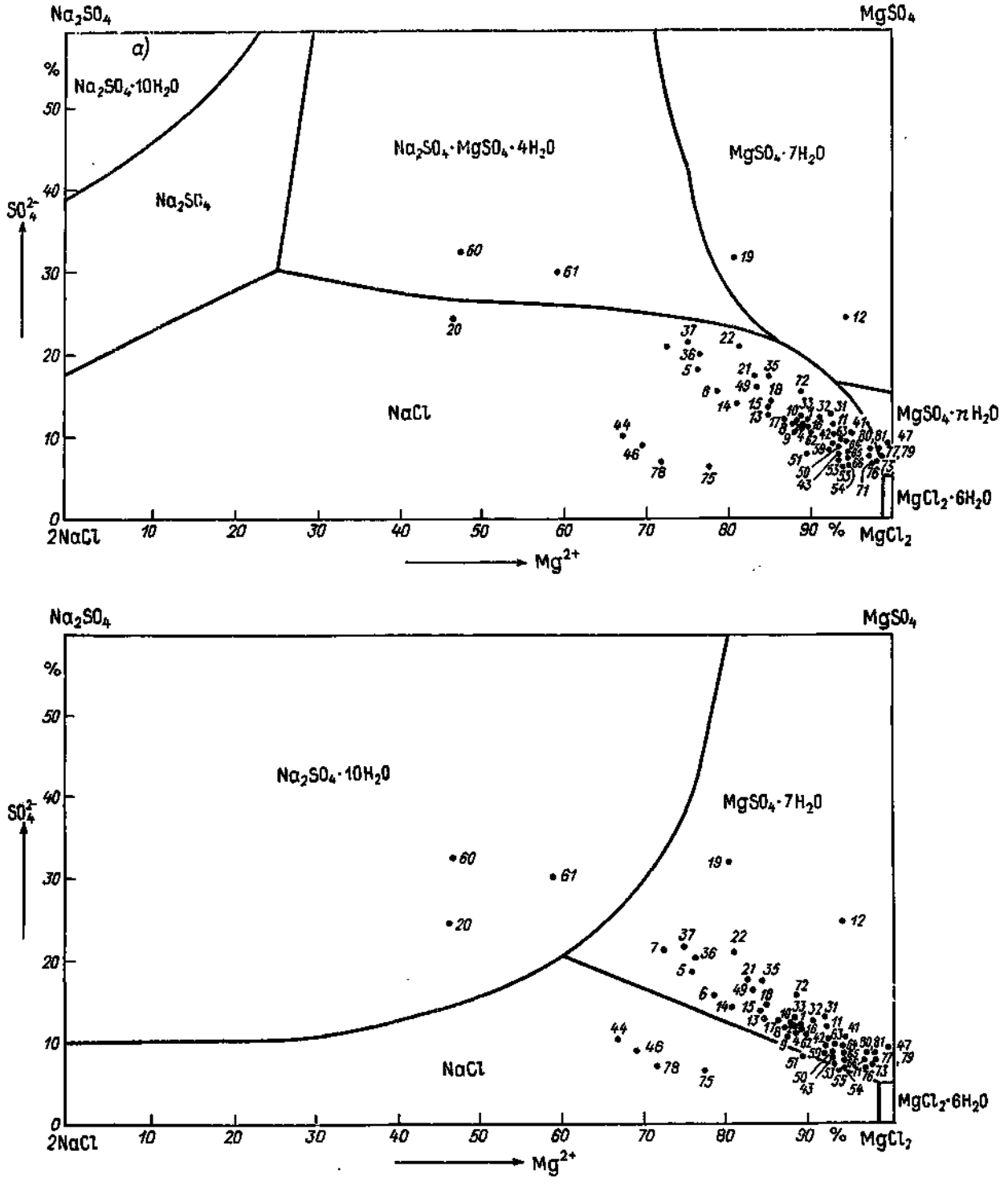


Рис. 7.8. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в 1983 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

Расположение точек состава рассолов на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons MgCl_2 + Na_2SO_4$ говорит о кристаллизации галита при температуре 25 °С по всей акватории, кроме северо-востока западной части залива, где садится эпсомит, а при понижении температуры до 0 °С отмечается повсеместное осаждение эпсомита (рис. 7.8). Таким образом, эти рассолы создают базу для образования астраханита ($Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$). Астраханит получается в результате перекристаллизации и дегидратации осадков эпсомита и ранее выпавшей глауберовой соли ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) в соответствии с уравнением $MgSO_4 \cdot 7H_2O + Na_2SO_4 \cdot 10H_2O = Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \times 4H_2O + 13H_2O$. Этот процесс протекает крайне медленно. При концентрации рапы вместо астраханита сначала кристаллизуются в метастабильных формах его исходные компоненты и NaCl. При этом NaCl лишь медленно и постепенно переходит в раствор, а сернокислые соли Na и Mg, дегидратируясь, соединяются в астраханитовые молекулы. Астраханит может образовываться также и в виде первичного метастабильного минерала из поверхностных концентрированных рассолов.

К июлю 1983 г. общая минерализация рассолов вновь возросла до 330—365 ‰ (рис. 7.9 *а*).

Таблица 7.6

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1983 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы							Гипотетические соли						Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Март																
1	1,295	6,70	1,8	4,7	190,1	31,9	64,8	7,0	15,0	2,5	5,6	40,0	215,8	13,3	38,1	315,3
2	1,297	6,75	2,3	4,4	185,5	30,8	63,0	7,6	14,9	3,2	5,3	38,6	209,1	14,5	37,8	308,5
3	1,294	6,73	2,3	1,9	190,5	32,7	64,8	6,2	15,5	3,2	2,3	41,0	216,2	11,8	39,4	313,9
4	1,296	6,66	2,3	4,7	191,9	31,8	64,6	6,7	17,1	3,2	5,6	39,9	214,2	12,8	43,4	319,1
5	1,269	7,10	1,7	1,5	156,5	45,9	49,3	5,7	28,7	2,4	1,8	57,5	143,7	10,9	73,0	289,3
6	1,281	6,95	1,5	1,6	170,5	41,1	53,9	5,0	27,1	2,1	1,9	51,5	166,8	9,5	68,9	300,7
7	1,270	7,15	1,6	1,6	152,9	53,1	47,4	5,9	33,1	2,2	1,9	66,5	129,6	11,3	84,1	295,6
8	1,284	6,70	1,9	1,7	186,0	31,3	61,8	7,2	16,5	2,7	2,0	39,2	206,8	13,7	42,0	306,4
9	1,281	6,62	2,0	2,4	187,7	29,3	62,6	7,0	15,7	2,8	2,9	36,7	211,1	13,3	39,9	306,7
10	1,282	6,65	1,9	2,8	183,5	31,1	62,0	5,7	16,0	2,7	3,4	39,0	206,4	10,9	40,6	303,0
11	1,280	6,75	2,0	4,3	186,7	31,4	64,6	12,3	10,0	2,8	5,2	39,4	215,0	23,5	25,4	311,3
12	1,271	6,70	1,9	4,2	124,4	49,8	49,3	14,2	5,9	2,7	5,0	62,4	137,5	27,1	15,0	249,7
13	1,272	6,50	1,9	4,0	180,2	34,1	58,6	9,7	19,7	2,7	4,8	42,7	189,5	18,5	50,0	308,2
14	1,265	6,50	1,6	3,6	177,6	36,9	55,6	10,2	24,1	2,2	4,3	46,2	176,2	19,5	61,2	309,6
15	1,276	6,35	1,6	3,7	179,2	34,7	58,0	10,9	19,2	2,2	4,4	43,5	187,6	20,8	48,8	307,3
16	1,270	6,25	1,9	4,3	187,8	31,3	63,8	8,8	14,1	2,7	5,2	39,2	212,2	16,8	35,9	312,0
17	1,268	6,35	1,9	3,9	179,1	32,5	59,4	9,3	16,9	2,7	4,7	40,7	194,2	17,7	43,0	303,0
18	1,276	6,35	1,6	3,8	179,7	36,6	58,4	13,2	18,5	2,2	4,6	45,9	186,8	25,2	47,1	311,8
19	1,277	6,25	2,8	5,7	77,8	44,5	30,9	7,7	13,0	3,9	6,8	55,8	68,1	14,7	33,1	182,4
20	1,279	6,65	1,8	3,7	150,0	62,6	56,1	9,8	18,2	2,5	4,4	78,5	151,9	18,7	46,2	302,2
21	1,274	6,65	1,6	3,5	173,1	44,5	53,6	14,1	26,4	2,2	4,2	55,8	160,6	26,9	67,1	316,8
22	1,263	6,79	1,3	2,1	160,0	49,5	49,9	11,1	11,0	1,8	2,5	62,0	142,9	21,2	54,5	284,9
35	1,271	6,50	1,6	1,9	167,6	42,5	54,8	15,2	18,4	2,2	2,3	53,3	168,4	29,0	46,8	302,0
36	1,258	6,77	1,8	1,5	152,4	49,6	48,7	7,5	28,0	2,5	1,8	62,2	137,5	14,3	71,2	289,5
37	1,261	6,64	1,3	1,3	150,0	52,3	47,3	9,3	28,9	1,8	1,6	65,5	130,4	17,7	73,4	290,4
31	1,278	6,29	2,5	1,6	181,4	32,9	62,9	12,4	9,6	3,5	1,9	41,2	208,7	23,6	24,4	303,3
32	1,275	6,35	1,9	1,3	183,8	32,3	62,5	11,0	12,1	2,7	1,6	40,5	208,3	21,0	30,8	304,9
33	1,269	6,40	2,2	1,8	181,6	31,6	59,9	12,0	15,0	3,1	2,2	39,6	198,1	22,9	38,2	304,1
Июль																
41	1,329	5,15	2,0	4,9	215,7	32,6	78,8	1,7	9,0	2,8	5,9	40,9	269,0	3,2	22,9	344,7
42	1,331	4,80	1,8	4,6	223,3	29,6	78,5	1,8	12,5	2,5	5,5	37,1	271,8	3,4	31,8	352,1
43	1,344	5,23	2,0	4,5	241,3	27,0	84,7	0,6	12,1	2,8	5,4	33,8	298,4	1,1	30,7	372,2
44	1,310	5,64	1,4	4,7	205,7	31,7	53,6	1,8	49,0	2,0	5,6	39,7	172,7	3,4	124,5	347,9
45	1,324	5,54	2,5	5,1	217,6	28,4	77,7	1,8	10,6	3,5	6,1	35,6	268,2	3,4	26,9	343,7
46	1,320	5,78	2,0	5,0	213,6	28,5	56,9	1,8	46,9	2,8	6,0	35,7	187,6	3,4	119,2	354,7
47	1,334	5,46	1,9	5,1	221,0	26,6	77,5	1,6	11,9	2,7	6,1	33,3	270,2	3,1	30,2	345,6
49	1,251	6,07	1,7	4,9	189,2	41,0	55,5	1,9	39,5	2,4	5,9	51,4	170,0	3,6	100,4	333,7
50	1,331	5,50	1,8	4,7	225,4	28,7	80,6	1,3	9,8	2,5	5,6	36,0	280,8	2,5	24,9	352,3
51	1,335	5,56	2,0	4,8	230,4	27,6	78,4	1,0	17,2	2,8	5,8	34,6	272,6	1,9	43,7	361,4
53	1,344	5,20	1,8	4,7	240,1	23,9	84,1	0,7	10,8	2,5	5,6	30,0	299,2	1,3	27,5	366,1
54	1,331	5,36	1,4	4,9	236,3	22,9	83,1	0,9	9,6	2,0	5,9	28,7	296,4	1,7	24,4	359,1
55	1,335	5,20	1,2	4,8	237,7	22,7	83,1	0,7	10,2	1,7	5,8	28,4	297,2	1,3	26,0	360,4
59	1,316	5,54	1,4	5,3	222,2	26,6	77,8	1,1	12,2	2,0	6,4	33,3	271,8	2,1	31,0	346,6
60	1,279	6,55	0,3	2,1	125,5	79,1	29,1	6,3	61,4	0,4	2,5	99,1	33,7	12,0	156,1	303,8

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы							Гипотетические соли						Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
61	1,279	6,50	0,4	2,0	136,3	77,3	38,8	6,4	49,5	0,6	2,4	96,9	72,8	12,2	125,8	310,7
62	1,290	5,85	1,1	4,5	200,6	32,3	68,0	7,8	14,9	1,5	5,4	40,5	229,1	14,9	37,8	329,2
63	1,309	5,98	1,4	5,1	206,9	29,9	73,1	4,1	11,0	2,0	6,1	37,5	250,2	7,8	27,9	331,5
64	1,313	5,62	0,2	5,7	199,6	25,8	71,0	2,6	8,2	0,3	6,8	32,3	247,9	5,0	20,8	313,1
65	1,317	5,51	1,5	5,1	220,8	26,1	78,6	2,1	8,8	2,1	6,1	32,7	275,7	4,0	22,4	343,0
66	1,328	5,46	1,4	4,8	225,7	23,4	79,7	0,8	9,4	2,0	5,8	29,3	282,7	1,5	23,9	345,2
Октябрь																
78	1,325	5,31	1,4	4,8	228,8	23,8	61,7	1,0	45,5	2,0	5,8	29,8	211,9	1,9	115,6	367,0
71	1,308	5,55	1,7	5,0	215,8	24,0	78,4	2,7	4,9	2,4	6,0	30,1	276,5	5,1	12,4	332,5
72	1,268	5,95	1,1	2,9	168,8	40,4	58,7	9,2	14,3	1,5	3,5	50,6	186,0	17,5	36,3	295,4
73	1,336	5,15	1,8	5,4	235,0	23,3	86,2	0,9	3,4	2,5	6,5	29,2	307,1	1,7	8,7	356,0
74	1,306	5,70	1,8	5,1	208,7	25,3	77,3	2,6	2,9	2,5	6,1	31,7	271,0	5,0	7,4	323,7
75	1,320	5,34	1,7	5,3	227,0	21,5	73,5	1,4	21,0	2,4	6,4	26,9	259,6	2,7	53,4	351,4
76	1,331	5,04	1,9	5,0	234,5	23,2	85,6	1,0	4,2	2,7	6,0	29,1	305,1	1,9	10,6	355,4
77	1,326	5,26	1,9	5,1	224,9	23,4	83,1	1,2	2,5	2,7	6,1	29,3	295,3	2,3	6,4	342,1
79	1,320	5,42	2,0	5,1	222,7	23,5	81,9	1,5	3,4	2,8	6,1	29,5	290,2	2,9	8,6	340,1
80	1,317	5,62	1,1	5,1	217,6	24,7	79,1	2,4	4,7	1,5	6,1	31,0	279,6	4,6	11,9	334,7
81	1,319	5,63	2,1	5,0	215,0	25,9	79,1	2,5	4,4	3,0	6,0	32,5	276,5	4,8	11,2	334,0

Таблица 7.7

Химический состав солей (‰) в пробах, отобранных в октябре 1982 г.

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	Минеральный состав											Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	$MgSO_4$	$MgSO_4 \times 7H_2O$	KCl	$KCl \cdot MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	NaCl	
1	0,9	2,4	206,2	188,7	—	80,0	19,4	60,1	557,7	1,3	2,9	—	—	—	529,0	—	137,9	—	114,4	152,8	Основная масса эпсомит, немного карналлита, бишофит
2	—	2,1	1,3	556,1	0,2	2,2	0,5	357,3	919,7	—	2,5	0,7	—	1,0	—	1,0	—	6,3	—	908,2	Основная масса галит
3	—	1,6	11,6	508,0	0,2	8,8	1,6	317,7	849,5	—	1,9	0,7	—	—	28,5	3,1	—	—	47,6	807,6	Основная масса галит, мало эпсомита, бишофита
4	—	5,8	292,6	74,4	—	82,0	27,2	19,5	501,5	—	7,0	—	139,7	—	545,0	—	193,4	—	—	0,7	Эпсомит, карналлит, астраханит
5	—	3,6	317,8	129,0	—	78,9	45,7	60,3	635,3	—	4,3	—	421,8	—	193,9	—	324,6	—	—	5,2	Основная масса астраханит, карналлит, эпсомит
6	0,9	2,3	236,0	191,1	—	80,0	17,4	77,2	604,9	1,3	2,8	—	—	—	605,7	—	123,7	—	70,9	196,2	Основная масса эпсомит, мало карналлита, бишофита

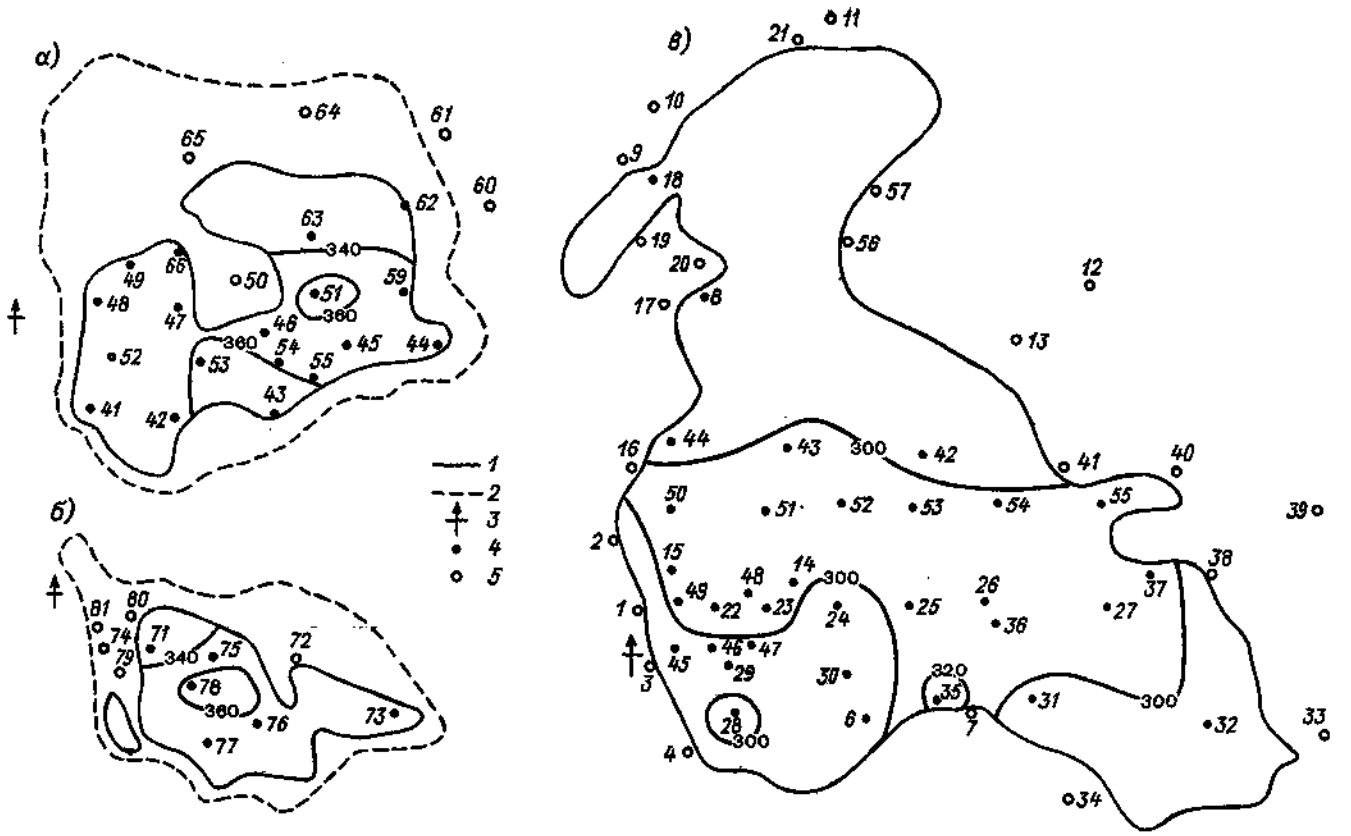


Рис. 7.9. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в июне—июле (*а*) и октябре 1983 г. (*б*) и в марте 1984 г. (*в*).

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

В рапе увеличилась концентрация NaCl до 100—125 ‰ на севере и до 24—38 ‰ на всей остальной акватории залива. Содержание KCl упало в результате кристаллизации карналлита до 1,3—3,4 ‰, $MgCl_2$, наоборот, растворялся и его содержание увеличилось до 170—300 ‰. Количество $MgSO_4$ в рассолах немного уменьшилось (до 28—51 ‰) по сравнению с мартом (см. табл. 7.6). По диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы при температуре 25 °С видно, что точки состава рапы находятся в поле кристаллизации галита и только на северо-западе залива образуется $MgSO_4 \cdot nH_2O$ (см. рис. 7.8).

В новосадке обнаружены соли галита, бишофита, карналлита и гексагидрата сернокислого магния (табл. 7.7).

Обследование залива в октябре 1983 г. показало, что в результате дальнейшего испарения рассолов и осаждения солей его акватория значительно сократилась в течение года (рис. 7.9*б*). Результаты химического анализа проб рассолов свидетельствуют о том, что поверхностные рассолы находились вблизи эвтоники. Сумма солей в рапе составляла в среднем 330—350 ‰ при общем размахе колебаний от 295 до 367 ‰. Содержание NaCl в рассолах уменьшилось до 6,5—12 ‰ и только на небольшом участке акватории достигало 50—115 ‰. Содержание KCl в рапе увеличилось до 2—18 ‰. Содержание $MgCl_2$ почти не изменилось — 186—300 ‰, как и $MgSO_4$ — 27—50 ‰ (см. табл. 7.6).

По диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы при температуре 25 °С точки состава поверхностных рассолов на юго-западе залива находились в поле кристаллизации $MgSO_4 \times \times nH_2O$, на остальной акватории осаждались галит и $MgSO_4 \cdot nH_2O$. При понижении температуры рассолов до 0 °С по всей акватории кристаллизовался эпсомит (см. рис. 7.8).

В новосадке солей в этот период преобладали эпсомит, бишофит, карналлит и галит (табл. 7.8).

К марту 1984 г., как всегда после зимы, за счет конденсации водяного пара из воздуха и атмосферных осадков площадь рассолов значительно увеличилась (рис. 7.9*в*). Причем на большей части акватории толщина слоя рапы оказалась менее 5 см, и только акватория площадью 3,3 тыс. км² была ограничена изобатой 0,1 м со средней глубиной 0,23 м и максимальной в отдельных понижениях до 0,35 м. Рассолы, находящиеся в этой относительно глубокой водной зоне, являются эвтоническими, образовавшимися в результате испарения, хотя и несколько разбавленными атмосферной влагой.

Совершенно иная природа рассолов, находящихся в северной части акватории. Эти рассолы образовались за счет гигроскопичности соляной залежи и растворения ее атмосферными осадками и, возможно, грунтовыми водами. Вследствие того что соляная залежь состоит в основном (на 85 %) из хлористого натрия, он преобладает и в составе рассола (150—240 ‰), а содержание сульфатов и хлоридов магния невелико: 10—60 и 10—50 ‰ соответственно. Такое образование рассолов в зимнее время года свойственно всем сухим соляным озерам. Примером может служить оз. Куули, находящееся южнее зал. Кара-Богаз-Гол.

Таблица 7.8

Химический состав солей (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1983 г.

Номер пробы	Ионы							Сумма солей	Минеральный состав										Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	KCl	$MgCl_2$	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$MgSO_4 \times 6H_2O$	$MgSO_4 \times 5H_2O$	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	NaCl	
Март																			
2	—	2,2	112,4	428,6	29,4	29,1	259,8	861,5	—	2,6	—	—	98,7	143,1	—	—	88,5	—	625,8	Галит, эпсолит, астраханит, карналлит
3	—	0,3	341,0	114,1	87,4	1,1	71,5	615,4	—	0,4	2,1	3,9	—	—	811,0	—	—	—	181,7	Гексагидрат, галит
4	—	1,9	288,4	123,8	76,4	5,0	71,4	566,9	—	2,3	—	6,8	—	740,0	—	—	15,1	—	182,0	Эпсомит, галит, карналлит
5	—	0,5	251,8	209,5	67,8	1,1	127,8	658,5	—	0,6	2,1	15,3	—	646,2	—	—	—	—	324,9	Эпсомит, галит
6	—	0,6	257,4	197,9	66,5	1,9	125,0	649,3	—	0,7	3,6	4,7	—	660,6	—	—	—	—	317,7	Эпсомит, галит
12	—	7,4	204,6	259,3	62,9	0,5	149,5	680,5	—	8,9	1,0	—	—	525,0	—	—	—	80,2	380,5	Эпсомит, галит, бишофит
15	—	0,5	171,7	322,0	45,5	1,2	204,6	745,5	—	0,6	2,3	7,4	—	440,6	—	—	—	—	520,0	Галит, эпсомит
16	—	0,6	383,1	52,9	84,0	0,4	58,9	579,9	—	0,7	0,8	—	180,0	717,7	—	—	—	—	86,6	Эпсомит, астраханит, галит
18	—	0,5	273,2	157,2	76,3	4,4	86,1	597,7	—	0,6	8,4	—	—	701,1	—	—	—	58,5	218,9	Эпсомит, галит, бишофит
19	—	0,7	235,1	226,9	61,4	3,7	141,6	669,4	—	0,8	7,1	7,0	—	603,2	—	—	—	—	359,9	Эпсомит, галит
20	—	0,5	263,6	180,8	71,4	7,3	104,3	627,9	—	0,6	—	—	—	676,3	—	—	22,2	22,2	265,1	Эпсомит, галит, карналлит, бишофит
21	—	3,6	—	513,1	16,8	3,8	300,2	837,5	—	4,3	—	—	—	—	—	—	11,5	126,1	763,0	Галит, бишофит, карналлит
22	—	3,0	—	564,3	11,4	0,4	345,3	924,4	—	3,6	0,8	—	—	—	—	—	—	90,2	877,7	Галит, бишофит
30	—	0,5	357,6	63,7	91,7	5,3	36,1	554,9	—	0,6	2,2	—	—	—	850,5	—	12,5	—	91,8	Гексагидрат, галит, карналлит
38	—	0,8	410,4	4,8	99,2	0,7	12,0	527,9	—	1,0	1,3	—	67,6	—	883,9	—	—	—	6,9	Гексагидрат, астраханит
Июль (новосадка)																			
41	—	5,9	249,8	139,5	103,3	28,8	—	527,3	—	7,1	—	—	—	640,9	—	—	87,5	260,9	—	Эпсомит, бишофит, карналлит
42	—	3,6	376,6	36,9	108,2	1,6	0,1	527,0	—	4,3	3,1	—	—	—	895,9	—	—	101,1	0,2	Гексагидрат, бишофит
43	—	9,3	223,8	200,2	115,1	36,0	1,8	586,2	—	1,2	—	—	—	—	—	490,3	109,6	392,0	4,5	Пентагидрат, бишофит, карналлит
44	—	3,1	266,0	141,0	100,8	41,9	4,8	557,6	—	3,7	—	—	—	—	632,8	—	12,74	180,7	12,2	Гексагидрат, бишофит, карналлит
46	—	1,9	310,1	105,2	100,1	17,5	17,2	552,0	—	2,3	—	—	—	—	737,6	—	53,3	146,5	43,7	Гексагидрат, бишофит, карналлит
45	—	4,7	291,5	108,2	93,9	14,8	25,2	538,3	—	5,6	—	—	—	748,0	—	—	45,0	127,6	64,0	Эпсомит, бишофит, галит, карналлит
47	—	3,0	262,6	156,3	92,7	30,5	35,0	580,1	—	3,6	—	—	—	—	624,6	—	92,8	145,9	89,0	Гексагидрат, бишофит, карналлит, галит
49	—	2,1	279,3	152,4	80,2	23,0	68,1	605,1	—	2,5	—	—	—	716,7	—	—	70,0	24,7	173,1	Эпсомит, галит, карналлит, бишофит
50	3,1	10,2	232,8	182,0	102,0	25,3	27,9	583,3	4,4	12,2	—	—	—	—	553,6	—	76,9	276,4	70,9	Гексагидрат, бишофит, карналлит, галит

Номер пробы	Ионы							Сумма солей	Минеральный состав										Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	KCl	$MgCl_2$	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$MgSO_4 \times 6H_2O$	$MgSO_4 \times 5H_2O$	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	Na_2SO_4	
51	5,7	14,4	245,7	169,7	102,4	21,5	31,2	590,6	8,0	17,3	—	—	—	—	584,4	—	65,4	244,7	79,3	Гексагидрат, бишофит, карналлит, галит
53	3,5	9,5	250,0	166,5	105,8	28,1	17,3	580,7	4,9	11,4	—	—	—	—	—	547,7	85,5	264,9	44,0	Пентагидрат, бишофит, карналлит, галит
54	3,2	8,5	239,5	163,3	96,8	18,8	32,0	562,1	4,5	10,2	—	—	—	—	569,6	—	57,2	235,5	81,4	Гексагидрат, бишофит, карналлит, галит
55	3,5	8,8	238,1	184,0	100,8	32,1	29,9	597,2	4,9	10,6	—	—	—	—	566,4	—	97,6	240,4	76,0	Гексагидрат, бишофит, карналлит, галит
59	—	3,3	216,0	173,4	86,8	27,5	36,9	543,9	—	4,0	—	—	—	554,3	—	—	83,6	201,4	93,8	Эпсомит, бишофит, карналлит, галит
60	2,4	7,0	138,6	130,0	50,5	14,2	51,5	394,1	3,4	8,4	—	—	—	355,7	—	—	43,2	77,0	130,6	Эпсомит, бишофит, карналлит, галит
61	—	3,9	524,3	17,4	74,9	1,6	121,2	743,3	—	4,6	3,1	—	806,8	156,4	—	—	—	—	26,2	Астраханит, эпсомит, галит
62	—	1,9	330,6	76,5	84,8	1,5	47,4	542,7	—	—	2,7	2,7	—	848,3	—	—	—	—	120,5	Эпсомит, галит
63	—	3,2	307,0	104,4	93,2	16,4	29,9	554,1	—	3,8	—	—	—	787,7	—	—	49,9	87,9	76,0	Эпсомит, бишофит, карналлит
64	—	2,4	130,3	142,6	71,0	33,2	2,0	381,5	—	2,9	—	—	—	334,4	—	—	100,9	239,5	5,1	Эпсомит, бишофит, карналлит, галит
65	—	2,1	242,0	152,4	90,3	30,0	27,1	543,9	—	2,5	—	—	—	621,0	—	—	91,2	172,1	68,9	Эпсомит, бишофит, карналлит
									Октябрь (новосадка)										
71	—	4,0	237,4	152,1	101,9	34,6	0,7	530,7	—	—	—	—	—	609,2	—	—	105,3	265,6	1,8	Эпсомит, бишофит, карналлит
72	—	3,7	164,1	295,6	55,0	1,5	166,8	686,7	—	4,4	2,9	—	—	421,2	—	—	—	106,0	424,0	Эпсомит, галит, бишофит
73	—	5,5	43,5	359,4	84,8	77,9	49,7	620,8	—	6,6	—	—	—	111,6	—	—	237,0	434,1	126,4	Бишофит, карналлит, галит
75	—	6,0	334,9	46,3	90,8	0,2	20,8	499,0	—	7,2	0,4	—	—	859,4	—	—	—	40,1	52,9	Эпсомит, бишофит
76	—	7,5	138,3	275,6	83,5	50,2	60,3	615,4	—	9,0	—	—	—	354,8	—	—	152,6	281,1	153,3	Эпсомит, бишофит, карналлит, галит
78	—	4,5	97,1	274,0	94,8	76,3	2,4	549,1	—	5,4	—	—	—	249,2	—	—	232,0	409,3	5,1	Бишофит, карналлит, эпсомит
80	—	5,0	0,5	373,3	92,2	117,9	0,5	589,4	—	6,0	—	—	—	1,2	—	—	358,5	498,7	1,3	Бишофит, карналлит
71	—	1,8	21,0	450,0	42,0	44,5	192,0	756,3	—	2,2	—	—	—	53,9	—	—	135,4	204,3	500,7	Галит, бишофит, карналлит
72	3,8	5,8	17,3	487,0	22,3	2,4	285,7	824,3	5,3	7,0	—	—	—	44,4	—	—	7,3	121,6	726,2	Галит, бишофит, эпсомит
73	4,6	9,3	100,4	328,8	71,5	55,7	100,5	670,8	6,5	11,2	—	—	—	257,6	—	—	169,4	229,5	255,5	Эпсомит, галит, бишофит, карналлит
74	—	2,3	223,0	283,2	68,6	41,3	137,4	755,8	—	2,8	—	—	—	—	—	488,6	125,7	4,9	349,3	Пентагидрат, галит, карналлит
75	—	2,3	14,6	,0	73,6	57,1	73,8	589,4	—	2,8	—	—	—	37,5	—	—	173,7	452,8	187,6	Бишофит, галит, карналлит, эпсомит
76	2,3	5,3	149,9	332,5	61,7	40,6	150,7	743,0	3,2	6,4	—	—	—	384,7	—	—	123,4	91,1	383,1	Эпсомит, галит, карналлит, бишофит

Номер пробы	Ионы							Сумма солей	Минеральный состав											Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	KCl	$MgCl_2$	$N_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$MgSO_4 \times 6H_2O$	$MgSO_4 \times 5H_2O$	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	NaCl	
77	1,8	3,4	9,8	477,9	29,5	10,3	255,5	788,2	2,5	4,1	—	—	—	25,2	—	—	31,3	190,9	649,5	Галит, бишофит, карналлит, эпсомит
78	6,2	9,4	66,6	373,5	62,0	38,6	142,6	698,9	8,7	11,3	—	—	—	171,0	—	—	117,4	254,3	362,4	Галит, бишофит, карналлит, эпсомит
79	—	4,1	36,4	370,3	69,0	77,1	83,3	640,2	—	4,9	—	—	—	93,4	—	—	234,4	321,4	211,7	Бишофит, карналлит, галит, эпсомит
80	—	1,1	2,7	378,3	78,5	63,2	61,4	864,4	—	1,3	—	—	—	7,0	—	—	192,2	507,8	156,1	Бишофит, карналлит, галит

Таблица 7.9

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1984 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Март																		
1	1,249	7,50	0,5	2,0	93,7	97,6	35,2	—	3,3	40,0	0,7	2,4	—	122,3	38,7	6,3	101,9	272,3
2	1,265	7,57	0,6	2,0	107,1	83,9	37,0	—	4,1	38,3	0,8	2,4	—	105,1	59,5	7,8	97,4	273,0
3	1,254	7,30	1,6	3,8	157,8	44,0	55,1	—	8,9	16,5	2,2	4,6	—	55,1	166,8	17,0	42,0	287,7
4	1,258	7,62	1,1	2,3	140,6	62,1	40,1	—	6,4	43,0	1,5	2,8	—	77,8	92,0	12,3	109,3	295,6
6	1,265	7,60	0,9	2,1	132,9	73,8	41,2	—	3,1	43,3	1,3	2,5	—	92,5	85,0	5,9	110,1	297,3
7	1,216	7,52	0,9	2,5	156,1	59,9	45,8	—	0,5	38,9	1,3	3,0	—	75,1	116,3	20,0	98,9	314,6
9	1,209	8,02	—	0,7	151,4	15,8	8,9	0,3	0,2	88,5	—	0,8	1,0	18,9	19,6	0,4	225,1	265,8
10	1,212	8,22	—	0,7	148,2	19,7	8,7	0,4	1,0	88,1	—	0,8	1,4	23,4	15,3	1,9	224,0	266,8
11	1,204	8,15	—	0,6	154,8	13,4	6,8	0,4	0,8	93,3	—	1,4	—	15,8	13,7	1,5	237,2	270,3
12	1,217	7,82	0,2	0,9	151,8	22,8	21,9	—	2,7	67,0	0,3	1,1	—	28,6	61,9	5,1	170,3	267,3
14	1,268	7,50	1,7	3,5	160,3	44,1	47,1	—	10,0	32,8	2,4	4,2	—	55,3	135,1	19,1	83,4	299,5
15	1,279	7,27	1,8	3,1	169,9	44,6	51,2	—	10,0	31,3	2,5	3,7	—	55,9	151,2	19,1	79,5	311,9
16	1,263	7,46	2,3	3,0	158,8	48,7	50,5	—	10,1	27,6	3,2	3,6	—	61,0	143,7	19,3	70,2	301,0
17	1,076	8,42	—	1,1	50,7	15,5	7,3	0,4	1,0	26,3	—	1,5	1,4	18,2	12,5	1,9	66,8	102,3

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
18	1,213	7,63	—	0,9	153,1	19,7	13,5	0,3	2,1	82,0	—	1,1	1,0	23,8	33,3	4,0	208,4	271,6
19	1,230	7,72	—	0,9	143,8	37,9	18,6	0,4	2,4	74,7	—	1,1	1,4	46,2	35,6	4,6	189,8	278,7
20	1,217	7,69	0,5	1,4	113,2	57,5	26,4	—	5,5	48,8	0,7	1,7	—	72,1	44,3	10,5	124,0	253,3
21	1,145	7,88	—	0,6	113,9	5,5	2,0	1,5	0,2	71,1	—	0,7	5,1	2,4	5,5	0,4	180,7	194,8
22	1,267	7,38	1,2	3,0	161,5	46,3	48,5	—	10,2	31,2	1,7	3,6	—	58,0	139,8	19,5	79,3	301,9
23	1,267	7,42	1,6	3,1	166,6	41,8	50,4	—	10,2	29,0	2,2	3,7	—	52,3	151,2	19,5	73,7	302,6
24	1,268	7,35	1,3	3,1	166,6	40,5	51,7	—	10,0	25,9	1,8	3,7	—	50,8	157,8	19,1	65,9	299,1
25	1,266	7,34	1,1	2,4	167,6	42,0	52,6	—	11,7	24,1	1,5	2,9	—	52,6	160,9	22,3	61,3	301,5
26	1,267	7,23	0,9	1,7	154,8	58,6	45,1	—	13,1	36,7	1,3	2,0	—	73,4	115,9	25,0	93,3	310,9
27	1,269	7,24	0,9	1,8	152,5	59,0	41,2	—	18,0	40,1	1,3	2,2	—	73,9	99,9	34,3	101,9	313,5
28	1,263	7,40	1,7	1,6	159,6	49,4	48,2	—	12,9	30,3	2,4	1,9	—	61,9	135,9	24,6	77,0	303,7
29	1,256	7,45	1,7	1,2	162,5	41,6	48,1	—	12,3	28,7	2,4	1,4	—	52,1	143,7	23,5	73,0	296,1
30	1,256	7,49	1,7	1,9	159,7	43,7	45,9	—	9,3	34,4	2,4	2,3	—	54,8	132,0	17,7	87,4	296,6
31	1,256	7,66	1,0	1,5	148,5	51,7	38,2	—	13,6	42,2	1,4	1,8	—	64,8	95,6	25,9	107,2	296,7
32	1,262	7,40	1,0	1,5	141,6	64,2	41,9	—	7,6	40,3	1,4	1,8	—	80,5	97,5	14,5	102,4	298,1
35	1,281	7,37	1,4	1,9	164,2	59,1	53,4	—	15,8	26,5	2,0	2,3	—	74,1	146,5	30,1	67,3	322,3
36	1,275	7,34	1,2	1,7	156,7	57,5	47,4	—	12,0	34,1	1,7	2,0	—	72,1	125,3	22,9	86,6	310,6
37	1,271	7,19	0,5	1,9	143,7	72,1	44,1	—	8,3	40,7	0,7	2,3	—	90,4	98,7	15,8	103,4	311,3
38	1,216	7,55	—	1,0	150,7	24,1	16,3	—	2,5	77,3	—	1,2	—	30,2	39,2	4,8	196,5	217,9
40	1,261	7,10	1,0	2,5	151,7	55,5	42,9	—	8,7	40,5	1,4	3,0	—	69,6	109,3	16,6	102,9	302,8
40а	1,269	7,08	1,1	2,4	151,9	58,6	45,2	—	9,2	37,4	1,5	2,9	—	73,4	115,5	17,5	95,0	305,8
41	1,250	7,42	0,6	1,5	136,4	60,7	25,4	—	4,3	68,0	0,8	1,8	—	76,1	37,2	8,2	172,8	296,9
42	1,257	7,30	1,0	2,3	144,8	55,8	37,7	—	8,2	46,2	1,4	2,8	—	69,9	88,9	15,6	117,4	296,0
43	1,262	7,36	1,3	2,2	148,8	56,9	37,6	—	9,9	48,5	1,8	2,6	—	71,3	87,3	18,9	123,3	305,2
44	1,251	7,37	1,0	2,4	149,6	47,6	38,5	—	8,1	43,9	1,4	2,9	—	59,5	100,2	15,4	111,6	291,0
56	1,201	8,01	—	0,7	153,4	8,1	5,4	—	3,6	91,3	—	0,8	—	10,2	12,5	6,9	232,1	262,5
57	1,194	8,28	—	0,5	156,5	1,3	2,4	—	0,5	97,4	—	0,6	—	1,6	7,8	1,0	247,6	258,6
Скв. 1	1,234	7,30	—	0,9	126,6	57,2	18,0	—	2,4	74,5	—	1,1	—	71,7	12,9	4,6	189,3	279,6
Скв. 2	1,239	7,30	—	0,1	138,7	48,1	18,7	—	2,6	76,1	—	0,1	—	60,3	25,5	5,0	193,4	284,3
Скв. 5	1,244	7,35	0,4	1,0	136,8	54,3	21,7	—	2,6	72,8	0,6	1,2	—	68,0	29,8	5,0	185,0	289,6
Скв. 7	1,246	7,36	0,3	0,9	134,7	55,2	20,1	—	2,8	74,8	0,4	1,1	—	69,2	22,7	5,3	190,1	288,8
Октябрь																		
101	1,074	7,87	—	0,9	41,2	16,8	9,2	0,2	4,5	14,8	—	1,1	0,7	20,4	19,2	8,6	37,6	87,6
102	1,225	8,02	0,6	1,0	154,1	21,1	19,2	0,1	4,2	71,9	0,8	1,2	0,3	26,2	52,9	8,0	182,8	272,2
103	1,146	8,30	0,2	1,2	95,1	20,2	13,0	0,2	3,1	45,3	0,3	1,4	0,7	24,7	30,2	5,9	115,1	178,3
104	1,121	8,42	0,2	1,1	80,8	13,3	10,4	0,1	2,2	38,3	0,3	1,3	0,3	16,4	26,6	4,2	97,3	146,2
105	1,249	7,60	0,6	2,0	149,1	40,5	30,2	0,1	7,4	55,6	0,8	2,4	0,3	50,5	76,0	14,1	141,4	285,5
116	1,274	6,92	0,4	1,3	142,9	65,4	43,7	—	6,7	38,4	0,6	1,6	—	82,0	104,2	12,8	97,6	298,8
120	1,279	6,82	0,8	2,1	167,5	47,6	54,0	—	7,6	26,3	1,1	2,5	—	59,7	161,3	14,5	66,8	305,9
121	1,274	6,91	0,2	1,5	146,2	65,3	46,4	—	5,4	35,9	0,3	1,8	—	81,8	115,5	10,3	91,2	300,9
123	1,271	6,90	0,6	2,3	158,6	50,9	50,2	—	5,9	30,2	0,8	2,8	—	63,8	143,3	11,3	76,7	298,7
124	1,277	6,85	0,8	2,3	174,2	41,4	57,1	—	7,0	22,2	1,1	2,8	—	51,9	179,4	13,3	56,5	305,0
125	1,273	7,06	0,4	1,2	137,7	70,5	42,0	—	5,9	41,0	0,6	1,4	—	88,4	92,8	11,3	104,2	298,7
127	1,257	7,39	—	0,8	130,5	64,5	26,4	—	2,7	64,3	—	1,0	—	80,8	38,8	5,1	163,5	289,2
129	1,272	6,75	0,8	1,9	158,6	52,1	52,2	—	6,4	26,7	1,1	2,3	—	65,3	150,0	12,2	67,8	298,7
130	1,263	7,07	0,2	1,4	137,6	63,5	35,9	—	5,0	49,6	0,3	1,7	—	79,6	76,0	9,5	126,1	293,2
134	1,267	7,40	0,4	1,3	143,7	60,0	41,8	—	4,1	41,4	0,6	1,6	—	75,2	102,2	7,8	105,3	292,7
135	1,295	6,56	0,6	1,8	190,0	35,6	62,6	—	4,3	20,5	0,8	2,2	—	44,6	207,5	8,2	52,1	315,4

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
139	1,280	7,55	0,6	1,9	133,8	75,9	36,2	0,1	7,4	51,4	0,8	2,3	0,3	94,9	64,2	14,1	130,7	307,3
140	1,256	7,69	0,9	0,7	150,6	45,5	32,9	0,1	7,5	53,8	1,3	0,8	0,3	56,8	81,8	14,3	136,7	292,0
141	1,235	7,90	0,6	1,8	150,7	31,8	25,4	0,1	7,5	61,6	0,8	2,2	0,3	39,6	65,8	14,3	156,5	279,5
142	1,261	7,26	0,8	2,4	173,1	27,1	43,6	0,1	7,4	39,8	1,1	2,9	0,3	33,7	141,0	14,1	101,2	294,3
143	1,171	8,14	0,4	1,4	187,0	46,6	21,8	0,1	6,6	99,2	0,6	1,7	0,3	58,1	37,6	12,6	252,2	363,1
								Декабрь										
157	1,132	8,30	0,5	0,8	69,6	37,5	19,3	0,1	5,3	24,1	0,7	1,0	0,3	46,7	37,2	10,1	61,2	157,2
158	1,215	7,86	0,2	1,3	111,6	57,7	29,8	0,2	8,4	39,3	0,3	1,6	0,7	71,7	58,3	16,0	99,9	248,5
159	1,174	7,80	0,3	0,8	118,6	61,9	32,5	0,2	8,7	40,2	0,4	1,0	0,7	76,9	65,4	16,6	102,2	263,2
160	1,257	7,50	0,7	1,3	142,7	55,6	34,6	0,1	4,5	77,6	1,0	1,6	0,3	69,4	38,9	8,6	197,3	317,1
161	1,256	7,25	1,0	1,4	160,5	37,9	41,2	—	8,8	40,5	1,4	1,7	—	47,5	121,0	16,8	102,9	219,3
162	1,211	7,74	0,3	1,1	113,4	54,5	27,8	0,2	5,9	44,0	0,4	1,3	0,7	67,7	54,0	11,3	111,8	247,2
163	1,256	7,65	0,5	1,2	140,7	56,3	37,3	0,1	8,8	43,1	0,7	1,4	0,3	70,3	88,9	16,8	109,6	288,0
164	1,256	7,48	0,7	1,5	150,5	47,8	38,2	—	9,1	44,0	1,0	1,8	—	59,9	99,9	17,4	111,8	291,8
165	1,259	7,30	0,5	2,0	164,7	33,7	44,5	—	8,9	34,6	0,7	2,4	—	42,2	138,6	17,0	88,0	288,9
166	1,258	7,29	1,0	1,9	163,0	37,4	42,6	—	10,7	38,3	1,4	2,3	—	46,9	126,5	20,4	97,4	294,9
167	1,258	7,32	0,8	1,9	162,1	38,1	44,5	—	10,7	34,2	1,1	2,3	—	47,7	133,9	20,4	86,9	292,3
168	1,257	6,96	0,7	2,3	168,9	32,0	51,5	—	11,3	22,4	1,0	2,8	—	40,1	166,8	21,5	56,9	289,1
169	1,257	6,79	0,6	2,4	176,0	26,5	54,1	—	11,7	18,9	0,8	2,9	—	33,2	182,9	22,3	48,1	290,2
170	1,249	7,45	0,3	1,8	152,8	45,9	39,2	—	12,0	40,8	0,4	2,2	—	57,5	106,1	22,9	103,7	292,8
171	1,255	7,34	0,8	1,9	148,2	47,7	45,1	—	11,6	28,2	1,1	2,3	—	59,8	126,5	22,1	71,7	283,5
172	1,254	7,14	0,7	2,2	160,8	35,0	47,3	—	11,9	26,0	1,0	2,6	—	43,9	147,6	22,7	66,1	283,9
173	1,250	7,03	0,5	2,0	156,0	37,3	47,3	—	12,0	23,5	0,7	2,4	—	46,7	146,1	22,9	59,8	278,6
174	1,245	7,04	0,5	2,0	156,2	36,0	43,2	—	9,8	32,2	0,7	2,4	—	45,1	131,2	18,7	81,8	279,9
175	1,245	7,07	0,8	2,4	152,4	39,7	43,0	—	10,8	31,8	1,1	2,9	—	49,8	125,7	20,6	80,8	280,9
181	1,255	7,15	0,7	2,0	159,2	35,9	47,2	—	12,3	25,2	1,0	2,4	—	45,0	146,5	23,5	64,1	282,5
182	1,253	7,00	0,9	2,2	163,7	30,2	46,5	—	11,5	27,4	1,3	2,6	—	37,8	149,2	21,9	69,6	282,4
183	1,246	7,03	0,5	2,1	154,9	35,2	43,9	—	11,7	28,5	0,7	2,5	—	44,1	134,7	22,3	72,5	276,8
184	1,270	7,05	—	1,0	105,2	98,1	34,7	—	4,8	47,0	—	1,2	—	122,9	38,0	9,2	119,5	290,8
187	1,254	7,16	0,7	2,0	162,0	34,7	48,3	—	11,7	24,8	1,0	2,4	—	43,5	151,9	22,3	63,1	284,2
188	1,254	6,79	0,7	1,9	175,0	21,6	54,3	—	12,6	15,1	1,0	2,3	—	27,1	188,4	24,0	38,4	281,2
189	1,245	7,07	1,0	2,7	162,3	29,8	45,1	—	12,6	28,5	1,4	3,2	—	37,3	143,7	24,0	72,4	282,0

В приглубой зоне, как и в предыдущие годы, можно выделить перемычку в виде порога с меньшими глубинами, разделяющую эту зону на западную и восточную части. Максимальные значения концентрации рапы (310—320 ‰) были обнаружены в восточной части (см. рис. 7.9 *в*). По содержанию солей в рапе выявляется такая последовательность: $MgCl_2$ — 90—150 ‰, NaCl—60—110 ‰, $MgSO_4$ — 50—90 ‰, KCl — 5—30 ‰. Наибольшие концентрации $MgSO_4$ и NaCl наблюдались в юго-восточном секторе акватории и в районе уреза рапы на юго-западе акватории, минимальное содержание этих солей — в западной части и над перемычкой. Для $MgCl_2$ распределение обратное (табл. 7.9).

Распределение точек состава рассола по диаграмме растворимости $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons MgCl_2 + Na_2SO_4$ при температуре 25 °С показывает, что астраханит осаждался на западе, юго-западе и юго-востоке акватории, астраханит с галитом — на востоке, чистый галит — в центре и на севере (рис. 7.10 *а*).

При понижении температуры рассолов до 0 °С на мелководьях будет кристаллизоваться мираби-

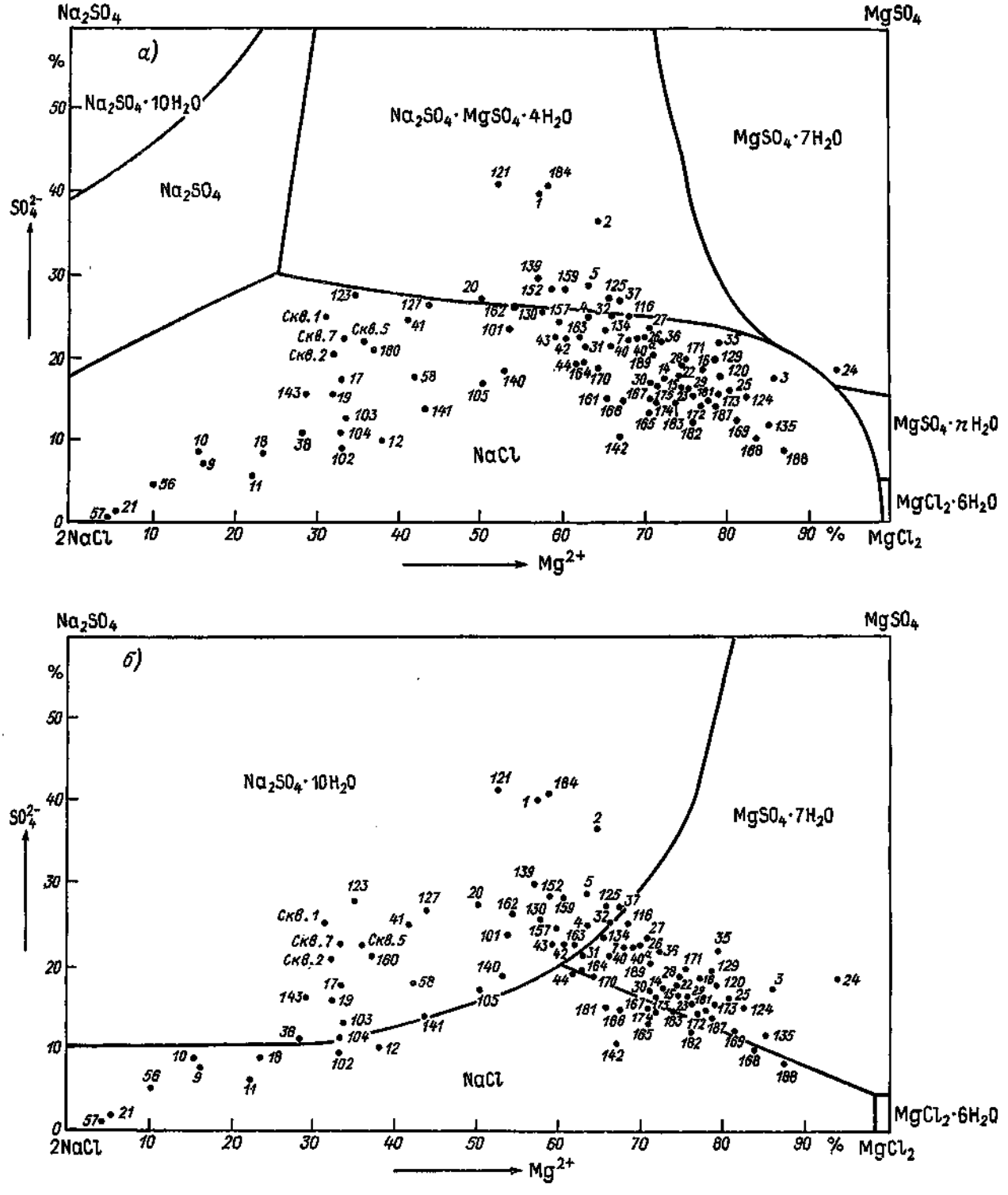


Рис. 7.10. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в 1984 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons NaSO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

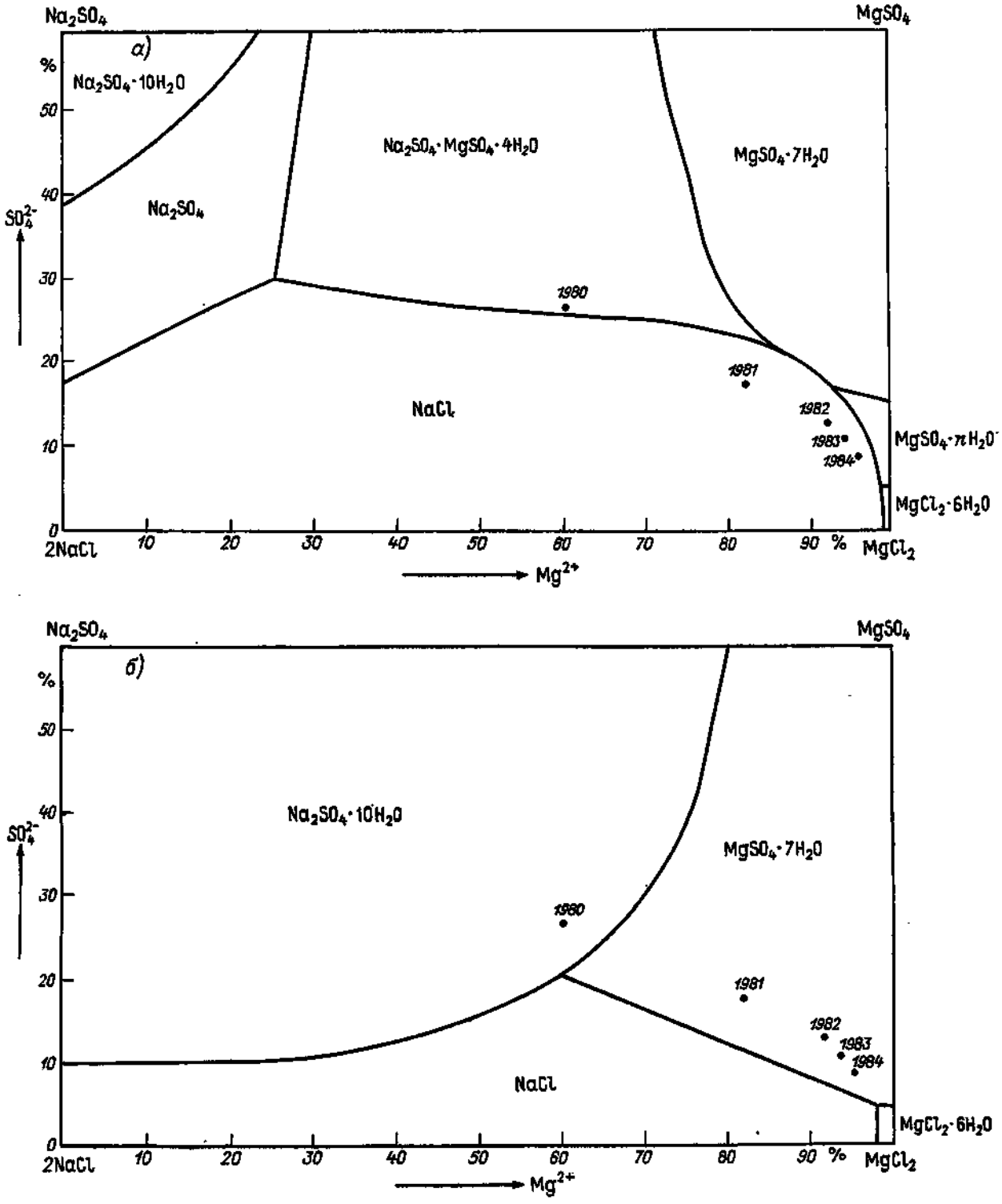


Рис. 7.11. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в 1980—1984 гг., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftarrows Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

лит, на мелководье северо-востока — галит, в глубокой части — эпсомит (рис. 7.10 *б*).

Летом в результате интенсивного испарения рассолы достигли насыщения хлористым магнием и в осадок, кроме карналлита, выпал бишофит. К концу августа 1984 г. единого зеркала рапы в заливе практически не осталось.

Изменение солевого состава при испарении поверхностных рассолов и взаимодействие между основными компонентами может отобразить диаграмма водно-солевой системы из хлоридов и сульфатов Na^+ и Mg^{2+}. На изотерме растворимости четверной водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftarrows MgCl_2 + Na_2SO_4 - H_2O$ при температуре 25 °С фигуративными точками показан путь изменения состава рассолов, отобранных в 1980—1984 гг. (рис. 7.11 *а*). Точка состава рассола 1980 г. находилась в поле астраханита ($Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$); в 1981 г. точка состава переместилась в поле NaCl, но вблизи линии совместной кристаллизации галита, астраханита и эпсомита ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Дальнейшая минерализация рапы переместила

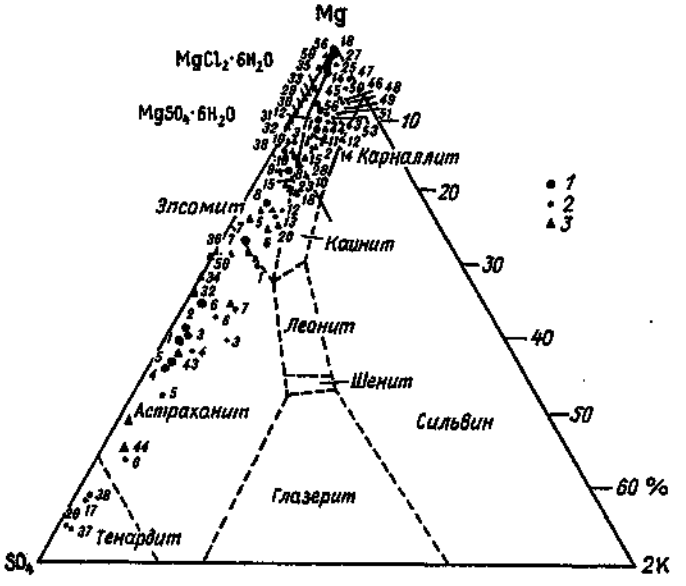


Рис. 7.12. Диаграмма растворимости водно-солевой системы $(Na, K)_2Cl_2 + MgSO_4 \rightleftharpoons (Na, K)_2SO_4 + MgCl_2$.

I — составы рассолов, полученных при изотермическом испарении рапы; *II* и *III* — составы рассолов, отобранных в заливе соответственно в 1982, 1983 гг.

точку состава рассолов 1982, 1983 и 1984 гг. в поле NaCl, но ближе к линии совместной кристаллизации галита и гексагидрата магния ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$). На изотерме 0 °С фигуративные точки состава рассолов находились в поле эпсомита (рис. 7.11 *б*).

При достижении рассолами насыщения калийно-магниевыми солями исследование физико-химических процессов, протекающих в солеродном бассейне, обычно проводится в пятерной системе $(Na, K)_2Cl_2 + MgSO_4 \rightleftharpoons (Na, K)_2SO_4 + MgCl_2$, где состав рассолов, насыщенных по отношению к NaCl, можно выразить посредством треугольного сечения $MgCl_2 - 2KCl - Na_2SO_4$. При этом состав рассолов изображается тремя компонентами Mg^{2+}, K^+ и SO_4^{2-}, которые располагаются в вершинах треугольника, а состояние хлористого натрия соответствует постоянному насыщению.

На диаграмме растворимости водно-солевой пятикомпонентной системы из хлоридов и сульфатов K^+, Na^+, Mg^{2+} фигуративными точками обозначены составы рассолов за 1982 и 1983 гг. (рис. 7.12), пунктирными линиями — границы стабильных областей растворимости по Вант-Гоффу.

В результате перекрытия прол. Кара-Богаз-Гол в заливе за счет испарения произошло сгущение поверхностных рассолов, характеризующихся метастабильным равновесием. Точки состава поверхностных рассолов постепенно перемещались в следующем порядке: от поля тенардита (Na_2SO_4) к полям астраханита, эпсомита, карналлита, гексагидрата сульфата магния, бишофита. Данный путь кристаллизации солей из рассолов залива отличался от классической теории Вант-Гоффа «о порядке кристаллизации солей при испарении рассолов морского типа» тем, что увеличены поля астраханита, карналлита, гексагидрата за счет отсутствующего поля каинита.

Наличие гексагидрата говорит о метастабильной эвтонической кристаллизации солей — эвтонике не кизеритной, а гексагидратной, которая является довольно устойчивой и только с течением времени должна пройти через ряд последовательных метастабильных равновесий, отвечающих гидратам $MgSO_4 \cdot nH_2O$, где n последовательно от 5 до 1. Состав рассола гексагидратной эвтоники при температуре 25 °С характеризуется более чем вдвое увеличенным количеством серно-магниевой соли по сравнению со стабильной кизеритной эвтоникой Вант-Гоффа.

Эвтонические точки морской воды, по Вант-Гоффу, содержали кизерит ($MgSO_4 \cdot H_2O$), который является той устойчивой формой кристаллизации гидратов сульфата магния, в которой он должен выделяться на последних стадиях сгущения морской воды при температуре 25 °С. Однако наши многочисленные наблюдения за ходом процесса испарения рассолов залива показывают, что до самых последних стадий сгущения из рассолов продолжает кристаллизоваться гексагидрат ($MgSO_4 \times \times 6H_2O$), а не кизерит ($MgSO_4 \cdot H_2O$).

Минералогический состав всех отобранных отложений в течение 1982—1984 гг., подтвержденный кристаллооптическим анализом, показал, что низшие гидраты сульфата магния не образовывались. Следует также отметить, что при сгущении поверхностных рассолов залива первичным калийно-магниевым минералом кристаллизовался карналлит, а не каинит, который, по мнению Вант-Гоффа, является первичным минералом. Не наблюдалось также образование каинита в результате диагенетических процессов, в соответствии с которыми карналлит переходит в каинит по реакции $KCl \times \times MgCl_2 \cdot 6H_2O + MgSO_4 \cdot 7(6)H_2O \rightarrow KCl \cdot MgSO_4 \times \times 3H_2O + 10(9)H_2O$. По нашим исследованиям, поверхностные рассолы зал. Кара-Богаз-Гол летом 1982 г. достигли насыщения хлористым калием и в осадок выпал карналлит; в это же время в осадках находился и гексагидрат сульфата магния. В осенне-зимний период 1983 г. карналлит частично растворился, а частично остался в осадке совместно с серно-магниевой солью. Минералогический состав отобранных в заливе осадков в течение 1982—1983 гг., кроме химического анализа, был подтвержден кристаллооптическим анализом. При этом переход карналлита в каинит не подтвердился.

К середине лета 1984 г. поверхностные рассолы зал. Кара-Богаз-Гол полностью высохли, в результате чего образовался верхний соляной пласт. Сохранились рассолы только в лунках и воронках. При аэровизуальной съемке были отмечены воронки по всей площади соляного бассейна. Наибольшее количество воронок наблюдалось в центральной его части. Некоторые из них достигали в диаметре 10—15 м и до 3—4 м глубины. Воронки имели крутые и отвесные стенки и неровное дно, обычно заплывающее разжиженными илами. Образование воронок происходило в результате вымывания солей восходящими потоками ненасыщенных погребенных растворов из подстилающих гипсокарбонатных и иловых отложений (рис. 7.13).

До перекрытия пролива в 1980 г. химический состав рассолов в воронках был близок к составу погребенных рассолов. Содержание $MgCl_2$ колебалось от 0 до 50 ‰.

Погребенные рассолы второго соляного пласта Кургузульской бухты (минеральное сырье ПО «Карабогазсульфат») по своему составу неоднородны. Рассолы к краевой части площади распространения второго соляного пласта характеризовались

Рис. 7.13. Районы карстовых воронок в заливе в период усыхания в 1984 г.

относительно низкой концентрацией солей. По содержанию сульфат-иона рассолы более богаты в краевой части Кургузульской бухты залива, в некоторых скважинах выход мирабилита составлял 160—180 кг/м³, а ближе к центральной части залива понижался до 50—70 кг/м³. Содержание иона магния при продвижении к центру залива возрастало от 0 до 70 ‰.

В результате 30-летнего промышленного использования месторождения в районе Кургузульской бухты возникли в больших масштабах карстовые образования. Понижение пьезометрического уровня 2-го горизонта при откачке создает значительные гидравлические градиенты, вызывающие подток рассолов с северной и центральной частей залива. Второй соляной пласт отличается высокой фильтрационной способностью, хотя и сильно меняющейся по площади, что обусловлено различием в пористости, размерах пор и каверн, которые иногда достигают 5 см. В центральных частях Кургузульской бухты коэффициент фильтрации достигает 1500—2000 м/сут, а в краевых — 200—600 м/сут. Сильно изменяется также и водопроводимость пласта.

Через воронки («гидрогеологические окна») осуществляется связь двух соляных горизонтов: поверхностных рассолов и погребенных рассолов 2-го соляного пласта, находившихся до перекрытия пролива в равновесном состоянии. Исчезновение поверхностных рассолов через 4 года после прекращения подачи морской воды вызвало изменение в солевом составе погребенных рассолов 2-го соляного пласта (табл. 7.10).

Химический анализ рассолов из скважин 188 и 189, пробуренных в 1984 г. в центральной части бассейна до 2-го соляного пласта, показал значительное увеличение содержания $MgCl_2$ (до 120 %) в погребенных рассолах. Содержание $MgCl_2$ в межкристальных рассолах поверхностного соляного пласта колебалось от 120 до 150 ‰.

Подток более концентрированных рассолов центральной части бассейна оказывает отрицательное

Таблица 7.10

Химический состав рассолов (‰) 2-го горизонта в пробах, отобранных в 1984 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Рассолы из скважин до перекрытия пролива																		
7	1,242	6,0	0,1	0,4	144,3	48,3	19,5	0,3	3,1	77,7	0,2	0,4	0,9	59,7	29,10	5,9	197,6	293,8
10	1,253	6,5	0,2	0,3	131,2	30,6	11,2	0,3	2,9	76,7	0,2	0,4	0,9	37,6	13,8	5,5	195,0	253,4
5	1,248	6,1	0,2	0,6	136,0	54,9	25,5	0,3	3,1	64,6	0,3	0,7	0,9	68,2	45,0	5,9	164,2	285,2
9	1,213	6,3	0,2	0,2	132,8	29,7	9,9	0,2	3,4	79,6	0,2	0,2	—	36,7	9,4	6,6	202,3	256,0
Рассолы из воронок на обсохшей территории залива																		
10	1,267	6,0	—	1,0	132,8	68,7	20,4	0,3	5,0	77,5	—	1,3	0,9	85,2	11,8	9,6	196,9	305,7
м. Казах	1,215	7,5	—	0,1	153,5	10,5	6,3	0,9	1,0	91,1	—	1,1	3,1	10,4	16,4	1,9	231,5	263,4
м. Омчал	1,218	7,54	0,6	1,1	170,1	107,9	72,9	0,5	10,2	18,2	0,8	1,3	1,7	133,7	178,2	19,5	46,3	381,5
Рассолы из скважин в Кургузульской бухте																		
Скв. 1	1,234	7,3	—	0,9	126,6	57,2	18,0	—	2,4	74,5	—	1,1	—	71,7	12,9	4,6	189,3	279,6
Скв. 2	1,239	7,3	—	0,1	138,7	48,1	18,7	—	2,6	76,1	—	0,1	—	60,3	25,5	5,8	193,4	284,3
Скв. 5	1,244	7,35	0,4	1,0	136,8	54,3	21,7	—	2,6	72,8	0,6	1,2	—	68,0	29,8	5,0	185,0	289,6
Скв; 7	1,246	7,36	0,3	0,9	134,7	55,2	21,1	—	2,8	74,8	0,4	1,1	—	69,2	22,7	5,3	190,1	288,8
Рассолы из скважин в центре залива																		
Скв. 175	1,267	7,14	—	1,4	110,0	89,8	32,4	—	4,8	50,7	—	1,7	—	112,5	36,8	9,2	128,9	289,1
Скв. 188	1,258	6,77	0,2	1,7	149,0	51,5	44,8	—	5,5	34,0	0,3	2,0	—	64,5	123,0	10,5	86,4	286,7
Скв. 189	1,256	6,73	0,4	1,3	147,3	53,5	44,6	—	6,9	33,6	0,6	1,6	—	67,0	119,8	13,2	85,4	287,6
Рассолы из воронок в центре залива																		
167	1,259	7,22	0,8	2,3	162,9	35,7	48,5	—	11,8	25,6	1,1	2,8	—	44,7	151,5	22,5	65,0	287,6
168	1,260	6,79	0,6	2,4	176,0	26,5	54,1	—	11,7	18,9	0,8	2,9	—	33,2	182,9	22,3	48,10	290,2
173	1,249	7,03	0,6	2,0	156,3	38,3	45,3	—	11,9	28,1	0,8	2,4	—	48,0	137,1	22,7	71,5	282,5
174	1,253	6,89	0,2	2,2	143,7	52,0	41,4	—	6,2	37,2	0,3	2,6	—	65,2	108,5	11,8	94,5	282,9
183	1,245	6,94	0,6	2,2	156,8	31,3	44,8	—	11,6	26,2	0,8	2,6	—	39,2	142,2	22,1	66,6	273,5
187	1,252	7,12	0,7	1,9	161,4	32,1	45,6	—	12,3	27,8	1,0	2,3	—	40,2	144,1	23,5	70,7	281,8

Примечание. Скв. — скважина.

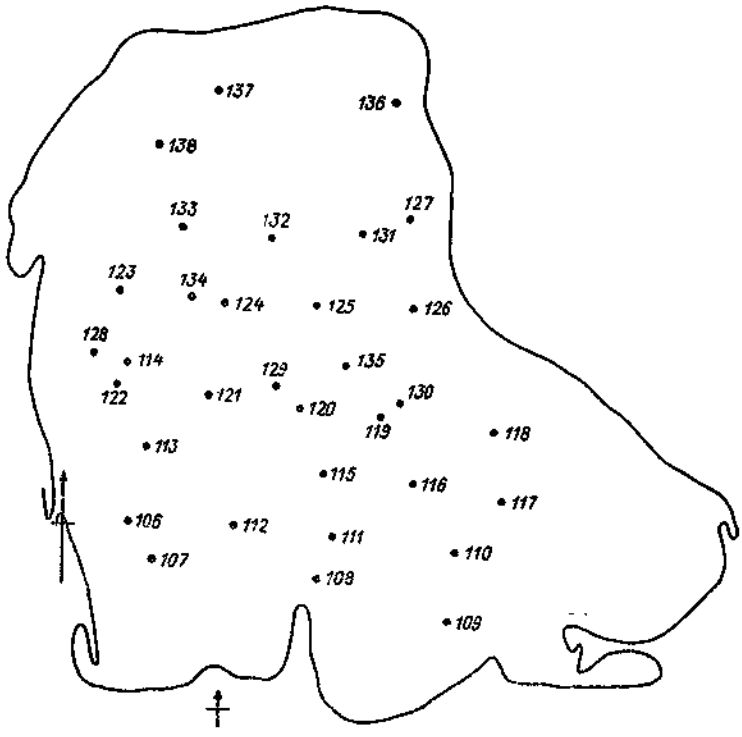


Рис. 7.14. Схема отбора проб солей в заливе в октябре 1984 г.

1 — расположение ГМС Кара-Богаз-Гол.

влияние на гидрогеологические и гидрогеохимические условия месторождения.

Высокое содержание $MgCl_2$ сказалось и на краевой части бассейна, в Кургузульской бухте, т. е. на промысле ПО «Карабогазсульфат». В настоящий момент в промышленных погребенных рассолах 2-го соляного пласта продолжает расти содержание магния и снижаться содержание иона SO_4^{2-}, что влечет за собой изменение в технологической схеме получения сульфата натрия, увеличение себестоимости продукта и ухудшение его качества.

Минералогический состав проб солевых отложений, полученных во время полевых работ в октябре 1984 г. (рис. 7.14), выявил следующее распределение солей по поверхности соляного пласта (табл. 7.11).

Галит составляет большую часть (800 ‰ и выше) в составе солей и наибольшее распространение получил на севере, северо-востоке, востоке и юго-востоке залива, как бы обрамляя бывшую относительно глубоководную акваторию. Астраханит (100—140 ‰) в основном сосредоточен в центральной части бассейна на месте бывшей перемычки между западной и восточной частью залива, где его кристаллизация началась еще в 50-е годы. Содержание астраханита в отдельных пробах достигало 300 ‰. Эпсомит в количестве до 120—350 ‰ расположен примерно также, хотя есть небольшие области с повышенным содержанием эпсомита на северо-западе и северо-востоке (до 200 ‰). Гипс в незначительных количествах (10—20 ‰) находится в солевых отложениях, примыкающих к восточному и юго-восточному берегу, и только в одном месте, между косой Янгысу и м. Омчал, содержание гипса около 100 ‰; $MgSO_4 \times \times (6H_2O \ldots 4H_2O)$ найден только на месте бывшей восточной котловины. Карналлит в небольших количествах (до 30 ‰) распространен крестообразно — от пролива до м. Линне и с северо-запада на юго-восток. Наибольшее его количество (до 700 ‰) найдено только на юго-западе высохшей западной части. В меньшем количестве (100—150 ‰) он определен на северо-востоке бывшей западной части, на месте перемычки и на севере высохшей восточной части акватории. Бишофит распространен на северной (до 55 ‰), юго-западной (до 52 ‰) и восточной периферии акватории на бывших мелководьях. Самое значительное количество бишофита обнаружено в единичных точках в центре залива и на северо-востоке между мысами Линне и Кулангурлан.

Вместе с ростом общей концентрации поверхностных рассолов повышается и содержание редких и рассеянных элементов. Начиная с 1967 г. по 1977 г. нами проводились исследования содержания редких элементов, а также B и Br. Например, содержание Rb в рассолах изменялось от $5{,}5 \cdot 10^{-4}$ до $7{,}5 \cdot 10^{-5}$ ‰.

На первых стадиях испарения рассолов происходит кристаллизация солей кальция, хлорида натрия, сульфатов Na^+ и Mg^{2+}. Отличие физико-химических свойств, ионного радиуса Li, Rb, Cs от соответствующих параметров Ca, Mg и Na вызывает значительные трудности для их изоморфного рассеивания. Высокая растворимость солей Li, Rb и Cs по сравнению с солями Ca, Mg и Na препятствует образованию их собственных минералов. Именно поэтому идет накопление редких элементов в рассолах. В интервале концентрирования рассола от точки, характеризующей начало садки галита (сумма солей 281,3 ‰), до точки, характеризующей начало кристаллизации бишофита (сумма солей 330—370 ‰), содержание Li и B в рассоле возросло в 4 раза. Элементы Rb, Cs, Br, в отличие от Li и B, участвуют в хемогенной седиментации солеродных бассейнов. Тенденция накопления Rb, Cs и Br прослеживается до садки карналлита. Количество Rb к моменту кристаллизации карналлита возрастает до $17{,}0 \cdot 10^{-4}$ ‰. Содержание Rb в донных отложениях достигает $27{,}0 \cdot 10^{-5}$ ‰. Высокое содержание Rb к моменту кристаллизации карналлита создает благоприятные условия для частичного образования рубидиевого карналлита. Карналлит сосаждает из рассолов практически весь Rb и Br. Содержание Rb в рассоле понижается до $4{,}0 \cdot 10^{-4}$ ‰, а его содержание в донных отложениях повышается до $15{,}8 \cdot 10^{-4}$ ‰. Коэффициент распределения рубидия (K_{Rb}), т. е. отношение содержания Rb в донных отложениях к его содержанию в жидкой фазе (рис. 7.15), колеблется от 0,1 до 3,9 ‰. Наименьшее значение относится к рассолам, насыщенным хлористым натрием. Максимальное значение K_{Rb} отмечается в момент начала кристаллизации карналлита. Содержание Li и B при сгущении рассолов растет до начала кристаллизации карналлита, где наблюдается его незначительное уменьшение, а при дальнейшем сгущении рассолов оно растет, но уже не до максимального значения, отмеченного нами перед началом осаждения карналлита. Процесс преимущественного осаждения Rb с карналлитом характерен не только для зал. Кара-Богаз-Гол. Многочисленные анализы природных карналлитовых калийных месторождений Германии и Польши по-

Таблица 7.11

Химический состав солей (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1984 г.

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	Минеральный состав								Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		NaCl	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$CaSO_4 \times 2H_2O$	$CaSO_4 \times Na_2SO_4$	$MgSO_4 \times (6H_2O \ldots) \times 4H_2O$	$KCl \cdot MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	
Март																		
41	—	13,3	292,0	157,3	—	108,0	34,9	22,2	627,7	56,4	—	—	—	—	694,5	247,5	180,9	Гексагидрат, карналлит, бишофит, галит
44	—	11,5	349,2	131,1	—	108,4	44,1	25,6	669,9	65,1	—	—	—	—	699,6	202,2	—	Тетрагидрат, карналлит, галит
45	—	10,4	360,3	94,6	—	107,6	8,2	29,5	610,6	75,0	—	—	—	—	787,8	58,1	77,0	Пентагидрат, бишофит, карналлит, галит
46	—	16,6	325,4	117,7	—	96,1	16,4	47,0	619,2	119,5	—	—	—	—	713,0	116,6	—	Пентагидрат, карналлит, галит
47	—	13,6	288,5	166,5	—	99,7	31,2	44,2	643,7	112,4	—	—	—	—	577,9	221,8	38,4	Тетрагидрат, карналлит, галит, бишофит
50	—	12,3	246,3	181,3	—	97,2	37,5	34,4	609,0	87,5	—	—	—	—	585,9	266,5	75,2	Гексагидрат, карналлит, галит, бишофит
51	5,3	23,1	266,7	160,0	—	101,6	26,6	36,3	619,6	92,3	—	—	—	—	634,3	189,0	90,7	Гексагидрат, карналлит, галит, бишофит
53	3,4	11,5	257,6	164,2	—	99,1	25,6	34,3	595,7	87,2	—	—	—	—	612,7	181,9	119,6	Гексагидрат, карналлит, галит, бишофит
Октябрь																		
106	—	2,7	38,4	497,5	0,2	19,3	21,2	292,9	872,2	725,2	55,1	16,2	—	—	—	150,6	—	Галит, карналлит, астраханит, галит
107	—	1,4	3,1	390,4	0,2	74,7	108,9	49,4	628,3	125,5	—	—	—	—	—	774,1	51,5	Карналлит, галит, бишофит
108	—	2,3	184,3	318,3	0,2	55,7	28,8	173,2	762,8	395,7	127,2	284,2	—	—	—	204,6	—	Эпсомит, галит, карналлит, астраханит
109	—	4,3	87,4	43,4	28,4	23,0	1,4	9,2	197,1	23,3	—	64,9	122,2	—	—	—	80,2	Гипс, бишофит, эпсомит, галит
110	—	3,4	3,9	581,2	0,3	4,5	1,5	370,4	965,2	941,5	—	—	—	—	—	—	25,0	Галит, бишофит
111	—	1,7	30,6	534,3	0,2	11,2	1,5	339,4	918,9	862,7	—	77,2	—	—	—	—	27,5	Галит, эпсомит, бишофит
112	—	3,1	198,7	270,9	0,1	58,9	22,6	168,2	722,5	345,1	132,6	350,3	—	—	—	160,6	—	Эпсомит, галит, карналлит, астраханит
113	—	2,5	18,8	556,0	0,4	10,8	7,2	345,4	941,1	878,0	—	45,7	—	—	—	51,1	11,1	Галит, карналлит, эпсомит, бишофит
114	—	2,9	143,2	383,2	0,2	45,6	34,2	211,7	821,0	478,3	171,0	114,3	—	—	—	243,0	—	Галит, карналлит, астраханит, эпсомит
115	—	3,6	375,4	96,2	0,3	107,4	23,3	26,3	632,5	54,2	36,5	—	—	—	708,7	165,5	—	Тетрагидрат, карналлит, галит, астраханит
116	—	1,8	20,3	544,9	0,2	14,7	5,5	332,6	920,0	845,4	—	50,8	—	—	—	39,1	49,1	Галит, эпсомит, бишофит
117	—	2,7	10,9	476,9	0,4	4,6	0,7	305,9	802,1	777,5	—	25,4	—	—	—	4,8	27,5	Галит, бишофит, эпсомит, карналлит
118	—	2,8	13,5	480,6	4,6	1,9	0,4	310,2	814,0	785,4	—	—	15,3	—	—	—	10,9	Галит, гипс, бишофит, глауберит
119	—	4,1	25,1	532,2	0,7	17,5	4,8	321,5	905,9	817,2	—	—	—	7,2	—	34,3	66,8	Галит, бишофит, карналлит

Номер пробы	ны								Сумма солей	Минеральный состав								Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		NaCl	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$CaSO_4 \times 2H_2O$	$CaSO_4 \times Na_2SO_4$	$MgSO_4 \times (6H_2O \ldots 4H_2O)$	$KCl \cdot MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	
120	—	3,7	8,4	557,0	0,2	8,6	1,9	349,0	928,8	887,1	—	20,3	—	—	—	13,4	39,5	Галит, бишофит, эпсомит, карналлит
121	—	1,4	8,5	568,1	0,2	9,1	1,3	354,8	943,4	901,9	—	20,5	—	—	—	—	56,8	Галит, бишофит, эпсомит
122	—	1,8	8,8	567,8	0,5	9,2	2,3	353,9	944,3	899,5	—	19,5	—	—	—	—	57,7	Галит, бишофит, эпсомит
123	—	—	11,5	559,5	0,3	10,6	1,2	347,8	943,4	901,9	—	20,5	—	—	—	—	56,8	Галит, бишофит, эпсомит
124	—	2,9	3,5	571,5	0,6	4,9	2,2	362,2	947,8	920,6	—	—	—	—	—	15,7	20,3	Галит, бишофит, карналлит
125	—	2,2	4,3	570,7	0,6	3,5	0,8	365,2	947,3	928,2	—	7,4	—	—	—	5,6	16,0	Галит, бишофит, эпсомит, карналлит
126	—	4,9	1,8	584,0	0,7	1,0	0,6	378,5	971,5	962,0	—	—	—	—	—	—	—	Галит
127	—	2,9	79,1	363,5	1,5	70,8	16,8	129,3	663,9	328,6	—	193,7	6,5	—	—	119,3	339,6	Бишофит, галит, эпсомит, карналлит, гипс
128	—	4,6	112,5	324,5	0,4	41,2	24,9	173,0	681,1	423,2	42,7	224,0	—	—	—	177,0	—	Галит, эпсомит, карналлит, астраханит
129	—	1,7	6,3	560,7	0,2	7,5	2,7	351,3	940,4	893,0	—	14,9	—	—	—	19,0	33,7	Галит, бишофит, карналлит, эпсомит
130	—	2,6	10,6	537,3	0,2	7,6	1,2	365,2	964,7	928,3	—	26,0	—	—	—	—	37,6	Галит, бишофит, эпсомит
131	—	3,0	22,2	572,9	2,4	9,2	2,6	361,7	974,0	919,4	—	42,2	—	—	—	—	36,7	Галит, эпсомит, бишофит
132	—	1,9	5,4	566,6	0,6	3,0	1,5	363,5	942,5	924,0	—	—	—	—	—	—	—	Галит
133	—	3,1	12,0	570,5	0,7	6,0	1,3	363,9	957,5	925,0	—	26,4	—	—	—	9,3	16,6	Галит, эпсомит, бишофит, карналлит
134	—	1,6	8,3	468,4	0,9	4,3	0,7	298,7	782,9	759,2	58,4	15,6	3,9	—	—	4,8	17,5	Галит, бишофит, эпсомит, карналлит, гипс
135	1,1	3,3	58,5	493,8	0,4	22,8	17,9	296,2	894,0	732,6	—	61,4	—	—	—	—	127,1	Галит, бишофит, эпсомит, астраханит
136	—	3,5	15,3	574,8	5,3	5,2	1,6	364,6	970,3	926,8	—	6,8	22,8	—	—	5,6	27,8	Галит, бишофит, гипс, эпсомит, карналлит
137	—	1,5	12,5	523,4	1,7	7,5	1,4	329,0	877,0	836,2	—	21,5	—	—	—	—	42,7	Галит, бишофит, эпсомит
138	—	3,8	1,8	593,2	0,6	0,8	1,0	384,4	985,6	976,5	—	—	—	—	—	—	—	Галит
										Декабрь								
161	—	6,5	5,6	456,1	0,6	43,0	3,1	217,2	732,1	552,1	—	—	—	—	—	—	339,1	Галит, бишофит
165	—	3,7	262,7	250,2	0,1	66,8	35,2	142,3	761,0	254,7	306,6	—	—	—	189,5	250,1	—	Астраханит, карналлит, пентагидрат
166	—	3,1	38,9	516,0	0,1	15,8	2,7	322,9	889,5	820,8	—	99,3	—	—	—	—	45,0	Галит, эпсомит, бишофит
167	—	4,4	39,0	530,6	—	29,1	2,8	307,9	913,8	782,6	—	48,9	—	—	—	—	152,9	Галит, бишофит, эпсомит
168	—	3,9	5,0	404,2	0,3	9,8	3,2	245,4	671,8	623,7	—	11,1	—	—	—	—	65,9	Галит, бишофит, эпсомит
169	—	3,7	239,4	213,7	—	72,3	24,0	103,6	656,7	244,5	53,7	535,2	—	—	—	170,7	—	Эпсомит, галит, карналлит, астраханит
172	—	2,6	2,6	556,7	0,2	7,9	2,2	346,7	918,9	881,3	—	—	—	—	—	—	57,7	Галит, бишофит
173	—	5,2	4,1	580,0	—	6,1	2,4	367,0	964,6	932,8	—	—	—	—	—	—	47,0	Галит, бишофит
174	—	2,0	34,0	542,1	0,2	8,9	2,3	350,9	939,3	891,9	—	86,0	—	—	—	—	—	Галит, эпсомит
175	—	3,8	107,2	374,3	—	35,8	1,6	226,9	749,6	576,7	—	275,0	—	—	—	—	65,9	Галит, эпсомит, бишофит
182	—	3,8	3,4	575,7	0,2	4,1	2,5	367,0	956,7	932,8	—	—	—	—	—	—	21,7	Галит, бишофит
183	—	2,5	3,5	565,3	0,2	4,4	1,6	359,9	937,4	914,8	—	—	—	—	—	—	25,8	Галит, бишофит
185	—	1,9	46,3	58,8	2,9	15,0	2,4	28,0	155,3	71,2	—	100,9	12,5	—	—	17,1	25,8	Эпсомит, бишофит, галит, карналлит
186	0,06	1,9	30,2	33,6	5,6	7,0	0,6	17,5	97,0	44,5	—	43,2	24,0	—	—	—	17,5	Галит, эпсомит, гипс, бишофит
187	—	4,2	8,0	554,3	0,6	6,4	2,3	350,8	926,6	891,6	—	—	—	—	—	—	32,6	Галит, бишофит

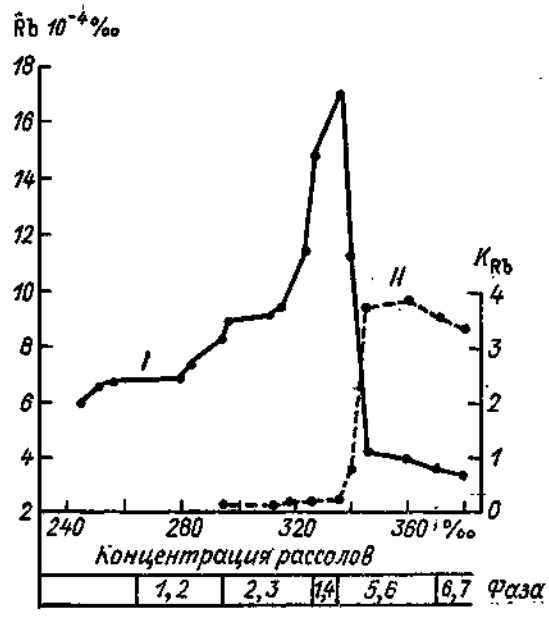


Рис. 7.15. Распределение содержания Rb в жидкой фазе (*I*) и коэффициент распределения K_{Rb} (*II*).

Твердая фаза: *1* — глауберит; *2* — галит; *3* — астраханит; *4* — эпсомит; *5* — карналлит; *6* — гексагидрат сульфата магния; *7* — бишофит.

казывают, что количество Rb в них достигает 0,1 ‰.

Цезий не был обнаружен в карналлите, возможно, благодаря малой чувствительности применявшихся методов.

В эвтонике в пробах бишофита нами проведено определение некоторых редких элементов. Содержание их следующее: Sm — $0{,}71 \cdot 10^{-4}$ ‰, Eu — $0{,}13 \cdot 10^{-4}$ ‰, Ce — $2{,}79 \cdot 10^{-4}$ ‰, Lu — $0{,}09 \cdot 10^{-4}$ ‰, Tb — $0{,}21 \cdot 10^{-4}$ ‰, Yb — $0{,}77 \cdot 10^{-4}$ ‰, La — $4{,}3 \times 10^{-4}$ ‰, Nd — $22{,}19 \cdot 10^{-4}$ ‰.

В заключение следует отметить, что в течение 3,5 лет, с марта 1980 г. по сентябрь 1984 г., морская вода не поступала в залив и произошло почти полное усыхание поверхностных рассолов, которые остались лишь в лунках соляного дна залива. Калийно-магниевые и другие соли выпали из рассолов в осадок с частичным увлечением редких элементов. Часть солей и большинство редких элементов содержались в оставшихся концентрированных эвтонических рассолах. Залив превращался в так называемое сухое озеро, наподобие многих соляных озер, отделенных от моря, и в том числе оз. Куули, расположенного несколько южнее зал. Кара-Богаз-Гол. В настоящее время на оз. Куули существует промысел по добыче лишь поваренной соли.

При дальнейшем усыхании рассолов залива без поступления морской воды выпавшие из рассолов хорошо растворимые калийно-магниевые соли и содержащиеся в них редкие и рассеянные элементы, а также остаточные рассолы под действием атмосферных осадков могли уйти в межсолевые иловые отложения залива, а часть минералов, являющихся кристаллогидратами, теряет воду в аридном климате и может разноситься ветрами, засоляя окружающую среду и почву Туркменистана. На поверхности залива остался бы лишь плотный слой поваренной соли, которая в больших количествах выделялась при испарении рассолов.

7.3. Режим в условиях ограниченной подачи морской воды

В сентябре 1984 г. после завершения строительства временного водопропускного сооружения путем прокладки 11 труб большого диаметра, рассчитанных на пропуск около 2 км³ воды в год, был возобновлен сток каспийских вод в зал. Кара-Богаз-Гол. Возобновление ограниченного регулируемого стока морской воды в залив имело целью восстановление и сохранение в минимальных объемах поверхностных рассолов в заливе. Восстановление небольшой части площади бассейна решало также ряд вопросов, связанных с ослаблением негативных влияний усыхания залива на природную среду окружающих территорий и режим погребенных рассолов, на которых базируется химическое производство.

Возобновление стока морской воды обусловило на первом этапе быстрый рост акватории нового водоема при малых глубинах. На 1 октября 1984 г. акватория залива составляла 325 км², на 6 октября — 400 км², а на 9 октября — 525 км². Средняя глубина на 3 и 9 октября составляла 13 см.

Наибольшие глубины (до 0,2 м) к 3 октября 1984 г. отмечались на юге формирующейся акватории. Через неделю, по мере растворения каспийской водой соляного пласта, зона максимальных глубин сместилась на северо-запад. Формированию котловины водоема в западной части залива также способствовали погребенные рассолы верхнего соляного пласта, которые образовались при осаждении солей из поверхностных рассолов и сохранились от выпаривания под верхней коркой отложившихся солей.

Морская вода соленостью 12,8 ‰ в устье пролива растворяла соли и довольно быстро в узкой зоне превращалась в рапу с общим содержанием солей около 90 ‰. К 3 октября 1984 г. наибольшие концентрации наблюдались в центре и на севере вновь образующейся акватории — 270—285 ‰ (рис. 7.16*а*). Вероятно, при первоначальном попуске морская вода заняла район напротив устья пролива и несколько севернее его. Быстро начал растворяться галитовый пласт, эпсомит, гексагидрат сульфата магния и бишофит. На севере интенсивнее шел процесс растворения сульфатов и хлоридов магния, хлористого натрия, а в центре — NaCl и $MgCl_2$. Содержание NaCl колебалось в пределах 100—150 ‰, $MgCl_2$ — от 50 до 70 ‰, $MgSO_4$ — от 25 до 50 ‰, KCl — 8 ‰ (табл. 7.9). При растворении образовались небольшие углубления, в которые и осел новообразовавшийся рассол. Поступающая морская вода, покрыв рапу, из-за значительной разницы в плотности не успела перемешаться с ней, так как начавшийся северо-западный ветер обусловил ее перемещение на юг, где в результате интенсивного растворения соляного пласта концентрация рапы быстро достигла 140—150 ‰. Содержание в рассоле NaCl было около 100 ‰, $MgSO_4$ — 20 ‰, $MgCl_2$ — от 30 до 40 ‰, KCl — 4 ‰.

По мере дальнейшего поступления морской воды в залив она распространялась в основном на юг, где активно растворяла соляной пласт. Вследствие увеличения концентрации и плотности, рапа южных районов уже могла довольно свободно перемешиваться под воздействием ветра с рапой из

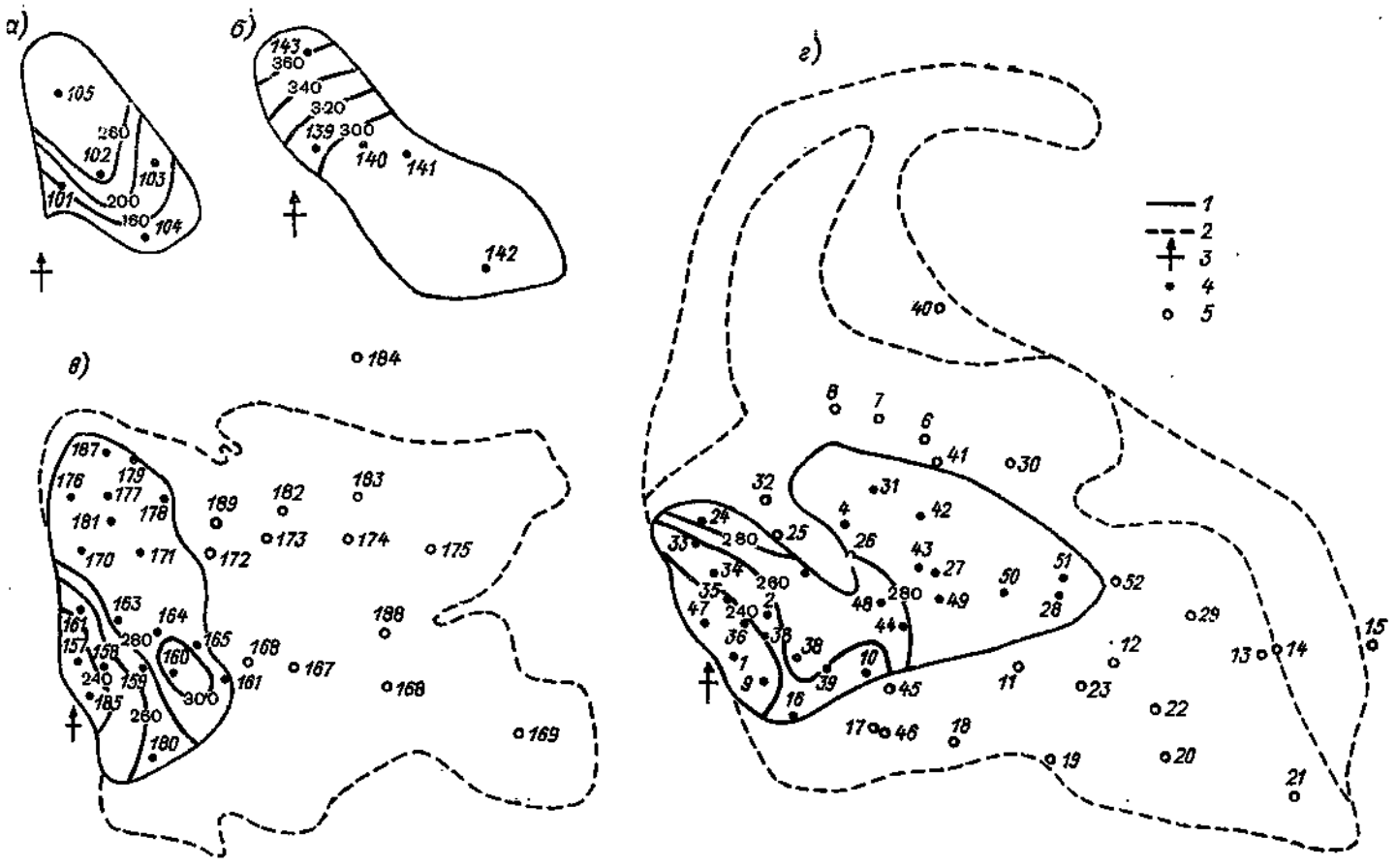


Рис. 7.16. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе 3 и 9 октября (соответственно *а* и *б*) и в декабре 1984 г. (*в*) и в марте 1985 г. (*г*).

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

центральной и северной частей и выравниваться по концентрации. К 9 октября 1984 г. концентрация рассолов достигла уже 280—360 ‰ (рис. 7.16 *б*). Максимальные концентрации рапы сохранились на севере, минимальные — на юге, так как большая часть поступающей морской воды распространялась на юг акватории. Прирост концентрации рапы на юге составил 140 ‰ в основном за счет растворения солей, содержащих хлористый магний, а на севере — только 70 ‰ при растворении галита. Таким образом, концентрация рапы на севере достигла насыщения по хлористому натрию (250 ‰) и стала возможна его кристаллизация. Содержание $MgCl_2$ уменьшилось на севере до 40 ‰ и увеличилось на юге до 140 ‰ за счет растворения бишофита и карналлита. Концентрация $MgSO_4$ на севере увеличилась на 10 ‰, а на юге — в 2 раза. Содержание KCl повысилось по всей акватории до 13—14 ‰ (см. табл. 7.9).

По диаграмме растворимости водно-солевой системы при температуре 25 °С из сформировавшихся рассолов вблизи устья будет кристаллизоваться астраханит, а на остальной акватории — галит. При понижении температуры рассолов до 0 °С произойдет осаждение мирабилита (см. рис. 7.10).

При сравнении данных авиационных съемок, проведенных в середине декабря, и в результате обработки космических снимков, сделанных в конце ноября, выяснилось, что площадь акватории в декабре уменьшилась вследствие сгона рапы к западному берегу преобладающими ветрами восточного направления (см. рис. 7.16 *б*).

Минерализация поступающей морской воды практически уже вблизи устья пролива достигала 150 ‰ (рис. 7.16 *в*). Увеличение концентрации рапы происходило на юге залива, где отмечены рассолы с суммой солей 290—300 ‰, а также на северо-востоке акватории, где концентрация рассолов составляла 290 ‰. Понижение содержания хлористого натрия в рассолах в декабре произошло в результате двух причин: во-первых, весь объем рассолов находился в западной, более глубокой и небольшой по площади котловине, куда поступала морская вода, что привело к разбавлению рассолов; во-вторых, в северной части акватории произошло совместное осаждение галита и эпсомита, максимальное содержание NaCl составляло 100 ‰. Минимальное содержание NaCl наблюдалось на юго-востоке акватории, где отмечены ветровые нагоны рассолов. Максимальное содержание $MgSO_4$ (70 ‰) наблюдалось в центральной части акватории, а содержание KCl постепенно возрастало от 10 ‰ на юге до 24 ‰ на севере и востоке. Увеличение содержания хлористого магния в рассолах идет также с юго-запада на восток (от 50 до 180 ‰) (см. табл. 7.9).

По диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы видно, что при температуре 25 °С в зоне смешения возможно осаждение астраханита, на остальной акватории залива — галита. При понижении температуры рассолов до 0 °С в зоне смешения кристаллизуется мирабилит, на северо-востоке акватории — эпсомит, на севере, на мелководьях на востоке и юго-востоке — галит и эпсо-

мит, на остальной акватории — галит (см. рис. 7.10).

К концу марта 1985 г. площадь всей акватории составляла около 7,8 тыс. км², а ограниченная изобатой 0,1—4,7 тыс. км². Снова из-под рапы начала появляться перемычка из соляных островов, разделяя акваторию на две части — западную и восточную.

Изохалина 250‰ в марте — апреле ограничивает зону смешения. В этой зоне pH слабо щелочной морской воды резко уменьшается с 8,3—8,5 до 7,3 за счет образования гипса.

На большей части акватории, занятой рассолами, концентрация которых колеблется от 250 до 300‰ (рис. 7.16*г*), pH рапы имеет значения 6,7—6,9. Содержание NaCl в зоне смешения около 60‰, в центральной части акватории максимально и равно 100‰, на севере и юго-востоке изменяется от 90 до 60‰. Максимальное содержание $MgSO_4$ наблюдается в центральной части акватории и равно 90‰, к прибрежным районам оно уменьшается до 60‰, в зоне смешения — колеблется от 20 до 70‰. Из солевых отложений $MgCl_2$ почти полностью перешел в раствор. Его содержание в центральной части залива минимально (40‰), а к периферии растет. В зоне смешения содержание $MgCl_2$ составляет около 90‰, а на юго-востоке достигает 120—130‰. Высокое содержание $MgCl_2$ и KCl на юго-востоке связано с растворением карналлита. К устью пролива содержание KCl уменьшается, и в зоне смешения оно колеблется около 15‰ (табл. 7.12).

По диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы из рассолов при температуре 25 °C на северо-западе западной части, на северо-западе и юго-востоке восточной части осаждался галит, на остальной акватории — астраханит. При температуре 0 °C из рапы на севере западной части залива и на мелководьях юга кристаллизуется мирабилит, в приглубых местах и на мелководье юго-востока — эпсомит (рис. 717).

По данным космических снимков восточная часть акватории к началу августа 1985 г. практически полностью высохла. В октябре 1985 г. период интенсивного испарения заканчивается, начинаются дожди и площадь рапы начинает расти. К концу ноября, в период очередной комплексной съемки залива, рапа преобладающими юго-восточными ветрами была согнана с соляного пласта на юге и сосредоточена в наиболее глубокой части

Таблица 7.12

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1985 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы							Гипотетические соли						Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Март																
9	1,209	7,3	0,4	1,3	59,8	104,9	37,9	7,6	21,4	0,6	1,6	74,9	87,3	14,5	54,4	233,3
10	1,237	7,2	0,4	1,2	78,0	105,3	32,2	8,7	40,3	0,6	1,4	97,7	47,4	16,6	102,4	266,1
11	1,267	7,1	0,7	1,5	69,5	127,2	37,3	14,8	37,7	1,0	1,8	87,1	74,8	28,2	95,8	288,7
12	1,265	6,7	0,9	1,7	48,2	139,9	46,0	13,1	20,4	1,3	2,0	60,4	129,6	25,0	51,9	270,2
16	1,223	7,4	0,3	1,0	71,4	102,8	28,1	6,4	44,5	0,4	1,2	89,5	38,0	12,2	113,2	254,5
17	1,259	7,2	0,7	1,3	80,1	117,1	36,2	11,4	40,3	1,0	1,6	100,4	59,9	21,7	102,5	287,1
18	1,263	7,1	0,7	1,7	58,7	141,2	41,0	15,2	34,4	1,0	2,0	73,6	99,8	29,0	87,5	292,9
23	1,266	6,7	0,9	4,5	40,4	150,3	45,7	18,6	21,9	1,3	5,4	50,6	133,9	35,5	55,6	262,3
24	1,260	7,0	0,5	1,4	69,2	130,7	37,1	9,2	43,3	0,7	1,7	86,7	74,8	17,5	110,0	291,4
25	1,259	6,9	0,7	1,2	61,0	137,5	39,0	12,5	38,2	1,0	1,4	76,4	90,4	23,8	97,1	290,1
26	1,258	6,8	0,9	1,4	52,9	138,0	40,4	13,8	31,6	1,3	1,7	66,3	103,0	26,3	80,4	279,0
27	1,271	7,0	0,7	0,8	75,1	128,4	36,3	13,6	43,5	1,0	1,0	94,1	65,8	25,9	110,6	298,4
28	1,268	6,8	0,9	1,5	53,0	149,2	44,8	20,4	26,7	1,3	1,8	66,4	120,2	38,9	67,9	296,5
30	1,245	6,9	0,7	1,1	45,4	143,7	38,4	9,2	37,9	1,0	1,3	56,9	103,4	17,5	96,3	276,4
31	1,251	7,0	1,0	1,3	49,0	152,6	46,6	13,8	27,5	1,4	1,6	61,4	131,2	26,3	69,9	291,8
32	1,261	6,9	0,8	0,9	58,2	141,2	42,2	12,9	32,9	1,1	1,1	72,9	105,7	24,6	83,7	289,1
33	1,263	6,9	1,7	3,7	19,8	154,0	54,3	13,3	1,4	2,4	4,4	24,8	187,6	25,4	3,6	248,2
Декабрь																
111	1,229	6,9	0,3	0,9	48,7	123,9	27,0	4,1	50,7	0,4	1,1	61,0	56,4	7,8	128,9	255,6
112	1,200	7,0	0,2	1,1	43,9	108,6	24,4	3,7	43,7	0,3	1,3	55,0	50,9	7,1	111,0	225,6
113	1,224	7,0	0,2	1,1	49,3	107,0	25,9	4,0	42,3	0,3	1,3	61,8	51,3	7,6	107,5	229,8
114	1,185	7,3	0,2	1,1	40,4	110,6	25,1	3,4	47,8	0,3	1,3	50,6	45,4	6,5	121,5	225,6
115	1,169	7,28	0,1	1,0	38,8	2,7	20,4	3,1	38,6	0,1	1,2	48,6	40,7	6,0	98,1	194,7
117	1,130	6,91	—	0,8	32,8	69,2	16,3	2,5	28,7	Необн.	1,0	41,1	30,5	4,7	73,0	150,3
118	1,165	7,26	0,1	0,9	38,5	113,6	19,9	3,1	52,9	0,1	1,1	48,2	39,2	5,9	134,5	229,0
119	1,138	7,44	0,1	0,8	32,5	122,3	16,8	2,5	61,9	0,1	1,0	40,7	32,9	4,8	157,4	236,9
120	1,199	7,14	0,3	0,7	41,7	110,7	23,1	3,7	46,3	0,4	0,8	52,3	48,2	7,1	117,7	226,5
121	1,193	7,15	0,3	0,7	41,9	107,5	23,2	3,7	44,0	0,4	0,8	52,5	48,6	7,1	111,9	221,3
122	1,153	7,41	0,1	0,8	35,4	83,4	17,8	3,0	36,1	0,1	1,0	44,4	33,7	5,7	91,7	176,6
123	1,191	7,12	0,1	0,9	42,5	103,7	21,4	3,6	45,5	0,1	1,1	53,3	40,7	6,8	115,7	217,7
124	1,259	6,94	0,6	0,9	67,2	127,0	28,9	6,0	57,1	0,8	1,1	84,2	45,0	11,4	145,2	287,7
128	1,174	7,21	0,3	0,8	40,0	101,0	20,9	3,5	43,6	0,4	1,0	50,1	41,1	6,7	110,8	210,1
136	1,223	7,05	0,4	0,8	59,1	110,0	25,7	4,8	49,0	0,6	1,0	74,1	40,3	9,2	124,6	249,8
138	1,256	6,53	2,0	1,6	23,8	171,5	56,1	7,1	14,4	2,8	1,9	29,8	191,9	13,5	36,6	276,5
139	1,252	6,83	2,0	1,5	29,9	175,3	51,5	7,6	28,2	2,8	1,8	37,5	167,6	14,6	71,7	296,0
140	1,234	6,84	1,1	1,1	21,7	156,2	36,2	11,8	37,4	1,5	1,3	27,2	117,9	22,5	95,1	265,5
141	1,262	6,73	0,8	1,2	58,6	138,6	39,3	11,5	37,7	1,1	1,4	73,4	94,0	21,9	95,9	287,7

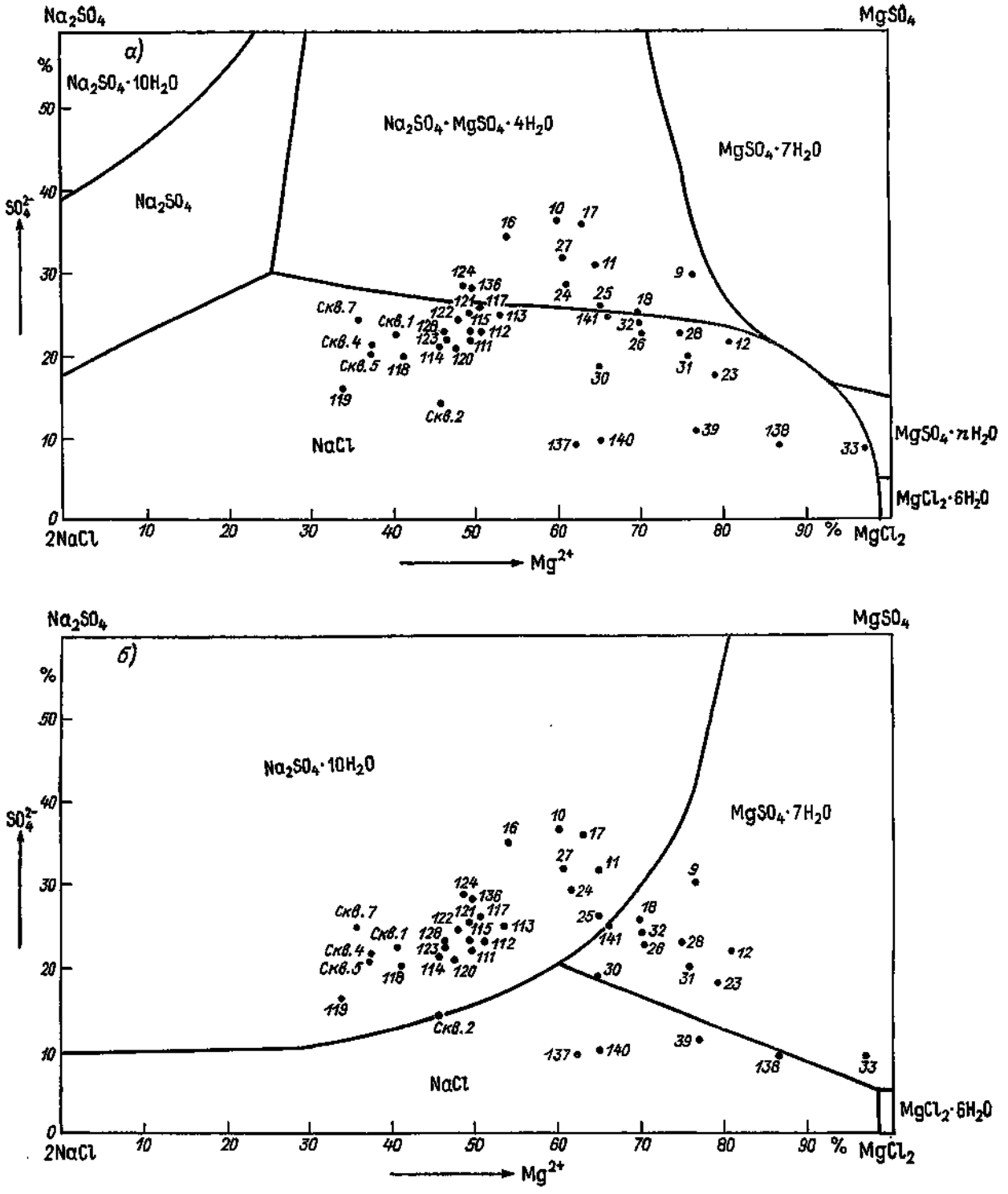


Рис. 7.17. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в 1985 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

водоема, вытянувшегося вдоль карабогазгольских кос. Восточная часть к декабрю восстановиться не успела, несмотря на уменьшение испарения, постоянный приток каспийской воды и довольно интенсивные осадки.

Концентрация рассолов в этот период увеличивалась от 150—200 ‰ в центральной части акватории до 280 ‰ на севере и юге (рис. 7.18 *а*). В центральной части, которая представляет собой зону смешения, содержание NaCl составляло около 80 ‰. К северу и югу от зоны смешения оно растет и достигает 150 ‰ и только на мелководьях юга падает до 50 ‰. Концентрация $MgSO_4$ в центре акватории была менее 50 ‰, в северной части достигала 80 ‰. На юге акватории, где в марте — апреле отмечалось максимальное содержание $MgSO_4$, в декабре оно снизилось до 70 ‰ за счет выпадения в осадок периодического осенне-зимнего минерала — эпсомита. Содержание $MgCl_2$ в зоне смешения составляло 35—49 ‰, с продвижением на юг оно быстро возрастало до 180 ‰. Содержание KCl в зоне смешения составляет 6 ‰, на севере — 10 ‰, на юге — до 20 ‰ (см. табл. 7.12).

Анализ по диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы при температуре 25 °С показал, что на западе и севере акватории будет

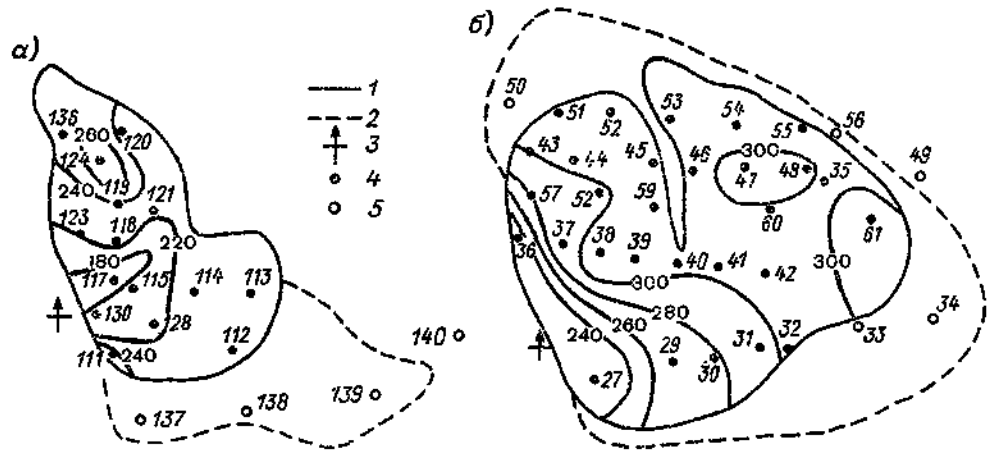


Рис. 7.18. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в декабре (*а*) и в марте 1985 г. (*б*).

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

осаждаться астраханит, на востоке — астраханит с галитом, в центре, на юге и на мелководьях юга и юго-востока — галит. При температуре 0 °С в приглубой части кристаллизуется мирабилит, на мелководьях юго-запада, на залитых соляных отложениях осаждается галит, а на юго-востоке — галит с эпсомитом (см. рис. 7.17).

Увеличение содержания сульфат-иона характеризует коэффициент метаморфизации ($MgSO_4/MgCl_2$), введенный Н. С. Курнаковым [79].

Процесс метаморфизации рассолов залива происходит за счет суммарного воздействия трех реакций [30]:

1) образование гипса и основных карбонатов магния

$$Ca(HCO_3)_2 + MgSO_4 \rightleftarrows \underset{\downarrow}{CaSO_4} + \underset{\downarrow}{CaSO_4 \cdot 2H_2O} + \underset{\downarrow}{Mg(HCO_3)_2}$$

$$x\,Mg(OH)_2 \cdot y\underset{\downarrow}{MgCO_3} \cdot zH_2O;$$

2) образование глауберита

$$CaSO_4 + MgSO_4 + 2NaCl = CaSO_4 \cdot Na_2SO_4 + MgCl_2;$$

3) образование астраханита:

$$2MgSO_4 + 2NaCl + 4H_2O = Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O + MgCl_2.$$

В результате воздействия этих трех реакций коэффициент метаморфизации снизился с 5,6 (для морских вод) и стал колебаться около единицы. После перекрытия пролива и прекращения доступа морской воды поверхностные рассолы достигли насыщения по хлоридам и сульфатам натрия, калия, магния и из рапы кристаллизовались галит, эпсомит, карналлит и бишофит. Коэффициент метаморфизации понизился до 0,15—0,10. При возобновлении подачи морской воды в 1984 г. началось растворение астраханита, эпсомита, что привело к увеличению коэффициента метаморфизации. В зоне смешения он достигал 2,36, а на остальной акватории залива его значение приближалось к единице.

Показателем процесса потери или обогащения поверхностных рассолов ионами натрия и хлора служит хлормагниевый коэффициент Cl^-/Mg^{2+}. До начала садки NaCl значение хлормагниевого коэффициента в рассолах залива и в каспийской воде практически совпадало и было равно 7. Осаждение NaCl снизило этот показатель, а перед перекрытием пролива его значение колебалось в пределах 4,0—4,5. После перекрытия пролива произошло полное выделение в осадок NaCl и $MgCl_2$ и отношение Cl^-/Mg^{2+} в пробах из воронок в заливе упало до 2,5—3,0. После возобновления подачи морской воды и растворения его солевых отложений в рассол стали переходить ионы хлора и натрия. К концу 1985 г. значение хлормагниевого коэффициента повысилось до 3,5—5,7. В рассол полностью перешел $MgCl_2$ и продолжалось растворение NaCl.

Если проследить изменение концентрации рассолов после возобновления подачи морской воды, то видно, что в декабре 1984 г. и марте 1985 г. происходило растворение соляной залежи, изменение концентрации рассолов шло от 260 до 300 ‰. К декабрю 1985 г. рассолы залива сосредоточились в западной части под действием преобладающих в это время ветров восточных румбов и поступающая морская вода разбавила рапу до концентрации 276 ‰ (табл. 7.13). За период с декабря 1984 г. по декабрь 1985 г. концентрация рассолов увеличилась на 19 ‰ в основном за счет растворения галита. Содержание $MgCl_2$ в рапе уменьшилось в 2 раза, а KCl — в 1,5 раза (см. табл. 7.13). Концентрация $MgSO_4$ осталась почти такой же. Несмотря на то что в среднем общая минерализация увеличилась, предельные (максимальные) значения ее уменьшились и на севере, и на юге на 10—20 ‰. Вновь для поверхностных рассолов стала характерной кристаллизация осенне-зимнего минерала — мирабилита.

При обработке результатов химического анализа проб рапы, отобранных в апреле 1986 г., оказалось, что концентрация рассолов колебалась от 220 до 310 ‰ (рис. 7.18*б*). Наименьшие значения концентраций отмечались по западному берегу залива, в основном вдоль южной карабогазгольской косы. В южной части акватории соленость рапы

Таблица 7.13

Средний взвешенный химический состав рассолов залива (‰) в условиях зарегулированного стока (по данным экспедиционных съемок)

Время съемки	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
XII 1984	0,7	1,5	48,3	126,6	—	34,5	9,5	35,4	1,0	1,8	0,1	60,4	85,1	18,1	90,0	256,7
III 1985	0,9	1,5	64,7	140,5	—	43,7	13,5	32,8	1,3	1,8	—	81,1	104,4	25,7	83,4	297,7
XII 1985	0,2	1,0	45,0	136,6	—	22,6	6,4	64,2	0,3	1,2	—	56,4	42,7	12,3	163,1	275,9
IV 1986	0,7	0,8	66,6	114,0	0,1	31,0	7,0	44,0	1,0	0,9	0,2	83,3	53,6	13,3	111,7	264,1
X 1986	0,7	1,3	67,6	131,4	—	36,7	7,5	44,7	1,0	1,5	—	84,4	74,8	14,3	113,6	289,6
IV 1987	0,5	0,7	54,5	121,3	0,1	26,3	5,9	52,2	0,7	0,9	0,3	68,0	47,8	11,3	132,6	261,5
IX 1987	0,9	1,2	64,6	134,7	—	42,4	7,1	35,0	1,3	1,4	0,2	80,7	99,9	13,5	88,9	285,9
XII 1987	0,6	1,0	53,3	124,6	0,5	32,5	6,9	41,1	0,8	1,2	1,7	65,3	73,7	13,2	104,5	260,4

составляла около 280 ‰, а на севере — до 310 ‰. Наибольший вклад в общую концентрацию рассолов вносил растворенный NaCl, содержание которого колебалось от 80 до 150 ‰ (в восточной части). Концентрация $MgSO_4$ менялась по акватории от 40 до 108 ‰ и имела примерно такое же пространственное распределение, как и NaCl. Содержание $MgCl_2$ находилось в пределах от 39 до 130 ‰, причем более активно он растворялся на севере акватории, в юго-восточной же части концентрации были в 2—3 раза ниже. Концентрация KCl колебалась от 10 до 27 ‰, наибольшие значения (до 27 ‰) отмечались в центральном и северном районах (табл. 7.14).

За год (с марта 1985 г. по апрель 1986 г.) весенний объем рассолов увеличился в 1,5 раза. Содержание $MgCl_2$ и KCl в рассолах уменьшилось примерно в 2 раза. Общая же концентрация только немного понизилась — с 298 до 290 ‰ (см. табл. 7.13).

По диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы при температуре 25 °С фигуративные точки состава рассолов по всей относительно глубоководной акватории и части мелководья находятся в поле кристаллизации астраханита. На мелководье на северо-востоке осаждается эпсомит, на востоке — галит, на юго-востоке — астраханит с галитом. При температуре 0 °С на мелководье и кромке акватории кристаллизуется эпсомит, на севере, северо-западе и северо-востоке — мирабилит с эпсомитом, во всех остальных точках — мирабилит (рис. 7.19).

Проведенные в октябре 1986 г. исследования залива показали, что по сравнению с предыдущей съемкой рассолы стали более концентрированными. Их минерализация изменялась от 160 ‰ у входа в пролив до 300 ‰ на севере и 320 ‰ в юго-восточной части акватории. Уже на расстоянии 5 км от пролива концентрация рапы возрастает до 150—200 ‰. Средняя по всему заливу общая минерализация рапы возросла до 290 ‰ (рис. 7.20 *а*).

Максимальное содержание NaCl в рассолах зоны смешения равнялось 110 ‰, что далеко до наболее мелководных районов, подверженных антропродолжает растворяться. Пределы изменения концентрации NaCl по всей акватории составляли 10—147 ‰. К северу и юго-востоку от центра вблизи уреза рассолов содержание NaCl уменьшалось до 50 ‰ за счет совместной кристаллизации галита и эпсомита в холодное время. Содержание $MgSO_4$ изменялось от 7 ‰ в зоне смешения до 90—94 ‰ на севере и востоке. В юго-восточной части акватории наблюдались наиболее концентрированные рассолы с содержанием $MgCl_2$ — до 100—190 ‰, в центральной части акватории и в зоне смешения оно составляло 40—60 ‰.

Содержание KCl по акватории залива было неравномерным. В центральной части оно колебалось от 15 до 25 ‰, в зоне смешения — от 5 до 10 ‰, на востоке акватории, а также в рассолах, отобранных в воронках, оно достигало 30 ‰ и наблюдалась кристаллизация карналлита.

Положение точек состава рассолов на диаграмме четверной водно-солевой системы при температуре 25 °С указывает на осаждение в приглубых местах астраханита, на мелководьях — астраханита с галитом и на покрытых рапой соляных отложениях с глубиной около 5 см — галита. При понижении температуры рапы до 0 °С по всему заливу будет кристаллизоваться мирабилит. На западном побережье, в районе устья пролива и на мелководье северо-востока возможно осаждение мирабилита с эпсомитом, а на самом севере акватории и на залитых соляных отложениях — эпсомита (см. рис. 7.19).

В соляных залежах по кромке залитых соляных отложений в основном преобладали в разных пропорциях галит и эпсомит. На северо-востоке и востоке к ним добавлялся еще бишофит и карналлит (табл. 7.15).

Концентрации рассолов залива в апреле 1987 г. возрастали от устья на север и на юго-восток до 300 ‰. В районе порога, на мелководье, соленость рассолов достигала 320 ‰ (рис. 7.20 *б*).

Максимальные концентрации $MgSO_4$ (100 ‰) отмечены около м. Омчал. В зоне смешения содержание $MgSO_4$ колеблется от 6 до 65 ‰, на юго-востоке акватории оно составляет 49—68 ‰, на остальной части акватории — около 70—80 ‰. Содержание $MgCl_2$ в зоне смешения изменяется от 1 до 5 ‰, больше всего его содержится в рассолах на востоке акватории — до 80 ‰, а на юго-востоке — от 31 до 50 ‰. Распределение KCl по акватории примерно аналогично $MgSO_4$ и $MgCl_2$, т. е. в зоне смешения идет увеличение содержания KCl

Таблица 7.14

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1986 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
Апрель																		
27	1,1896	7,2	0,8	0,9	51,5	99,3	0,2	23,4	5,5	42,2	1,1	1,1	0,7	63,9	39,2	10,5	107,3	223,8
29	1,2399	7,5	0,6	0,7	66,2	118,7	0,1	27,4	6,2	53,7	0,8	0,8	0,3	82,7	40,7	11,8	136,5	273,6
30	1,2444	7,4	0,6	0,7	64,2	123,3	0,1	28,6	6,1	53,5	0,8	0,8	0,3	80,2	47,4	11,6	136,0	277,1
31	1,2790	6,5	0,8	1,1	86,2	117,9	0,1	36,1	8,3	45,5	1,1	1,3	0,3	107,8	54,0	15,8	115,7	296,0
32	1,2758	6,7	1,4	1,4	58,9	152,9	0,0	48,9	9,4	31,1	2,0	1,7	—	73,8	129,6	17,9	79,0	304,0
33	1,2714	6,9	1,4	1,4	46,4	163,0	0,1	49,3	9,2	30,9	2,0	1,7	0,3	57,9	143,7	17,5	78,6	301,7
34	1,2721	6,8	1,8	1,5	32,3	178,4	0,0	59,3	9,3	15,5	2,5	1,8	—	40,5	196,2	17,7	39,4	298,1
35	1,2755	6,8	0,8	1,2	81,8	127,0	0,1	35,5	8,9	50,1	1,1	1,4	0,3	102,3	56,0	17,0	127,3	305,4
36	1,1861	7,3	0,7	0,8	48,8	98,8	0,1	24,8	6,0	37,9	1,0	1,0	0,3	60,9	47,0	11,4	96,3	217,9
37	1,2626	7,1	0,8	0,8	66,0	136,5	0,0	35,8	9,1	48,0	1,1	1,0	0,0	82,7	72,8	17,4	122,0	297,0
38	1,2650	6,7	0,8	0,8	72,0	136,9	0,2	38,9	13,0	42,7	1,1	1,0	0,7	89,6	79,6	24,8	108,6	305,3
40	1,2590	7,4	0,7	0,7	72,1	131,7	—	31,2	7,8	57,1	1,0	0,8	—	90,4	49,0	14,9	145,2	301,3
41	1,2560	7,4	0,6	0,6	72,5	130,0	—	28,8	6,7	61,2	0,8	0,7	—	90,9	39,6	12,8	155,6	300,4
42	1,2710	7,4	0,8	0,8	84,6	128,3	0,2	35,7	7,3	52,7	1,1	1,0	0,7	105,4	54,4	13,9	133,9	310,4
43	1,2620	7,5	1,0	0,9	65,3	143,0	—	42,2	5,1	42,3	1,4	1,1	—	81,8	98,3	9,7	107,5	299,8
44	1,2610	7,5	1,0	0,7	65,5	141,6	—	40,1	12,3	41,1	1,4	0,8	—	82,1	90,1	23,5	104,4	302,3
45	1,2680	7,4	1,1	0,6	73,5	136,8	—	44,1	14,1	33,1	1,5	0,7	—	92,1	97,9	26,9	84,2	303,3
46	1,2660	7,4	0,9	0,5	76,8	132,1	—	37,2	11,0	46,5	1,3	0,6	—	96,2	67,7	21,0	118,2	305,0
47	1,2500	7,5	0,6	0,6	67,6	130,4	—	28,9	7,6	58,4	0,8	0,7	—	84,7	45,0	14,5	148,4	294,1
48	1,2518	7,5	0,8	0,5	67,0	133,0	0,1	35,9	7,0	47,0	1,1	0,6	0,3	83,7	72,8	13,3	119,5	291,3
49	1,2830	6,5	1,1	1,1	65,6	148,7	—	40,2	7,2	48,7	1,5	1,3	—	82,2	90,1	13,7	123,8	312,6
50	1,2831	6,5	1,1	1,0	68,0	152,4	0,1	48,7	16,8	30,5	1,5	1,2	0,3	85,0	121,0	32,0	77,6	318,6
51	1,2860	6,4	1,5	1,2	64,4	151,1	0,1	50,9	7,2	29,8	2,1	1,4	0,3	80,5	132,4	13,7	75,8	306,2
52	1,2890	6,6	1,3	1,0	76,0	139,5	0,1	44,9	7,3	38,9	1,8	1,2	—	95,0	97,9	13,9	98,9	309,0
53	1,2810	6,7	1,2	1,1	74,0	137,0	—	39,0	7,2	47,5	1,7	1,3	—	92,7	76,8	13,7	120,8	307,0
54	1,2845	6,7	1,1	1,3	71,0	141,3	—	46,0	7,2	35,8	1,5	1,6	—	89,0	106,9	13,7	91,0	303,7
55	1,2900	6,5	1,0	1,3	81,4	133,9	—	43,3	7,0	41,1	1,4	1,6	—	102,0	86,2	13,3	104,5	309,0
56	1,2910	6,6	1,6	1,6	53,8	163,5	—	55,2	7,2	24,8	2,2	1,9	—	67,4	159,4	13,7	63,1	307,7
57	1,2490	7,4	1,0	1,0	60,4	128,8	—	36,6	7,2	40,1	1,4	1,2	—	75,7	81,1	13,7	102,0	275,1
58	1,2720	7,3	0,9	1,1	67,5	136,9	—	38,0	7,4	46,1	1,3	1,3	—	84,6	79,5	14,1	117,1	297,9
59	1,2740	7,4	1,1	0,8	70,0	136,7	—	38,1	7,1	47,1	1,5	1,0	—	87,7	77,5	13,4	119,7	300,9
60	1,2710	7,4	1,0	1,0	72,0	131,7	—	33,2	7,2	54,0	1,4	1,2	—	90,2	56,4	13,7	137,2	300,1
61	1,2550	7,1	0,7	1,0	66,6	128,8	—	29,4	6,7	56,9	1,0	1,2	—	83,5	47,0	12,8	144,6	290,1
56в	1,2770	6,4	1,7	1,7	64,3	149,5	—	55,5	19,9	13,0	2,4	2,0	—	80,6	149,6	37,9	33,1	305,6
Воронка	1,2270	—	0,4	0,6	42,4	142,0	—	27,4	3,4	59,1	0,6	0,7	—	53,1	64,2	6,5	150,2	275,3
Скважина	1,0450	—	0,2	0,4	1,3	42,7	4,0	4,0	0,4	16,2	0,3	0,5	1,8	9,7 ($CaCl_2$)	14,9	0,8	41,2	69,2
Водопад	1,0130	8,3	0,1	0,2	1,7	5,3	0,4	0,8	0,1	2,3	0,1	0,2	1,4	0,9 ($MgSO_4$)	2,3	0,2	5,8	10,9

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
								Октябрь										
67	1,2118	7,4	0,5	1,0	51,2	113,8	—	37,4	5,8	43,9	0,7	1,2	—	64,2	—	11,1	111,6	243,6
68	1,2641	7,0	0,9	1,2	65,6	138,1	—	46,5	8,7	29,1	1,3	1,4	—	82,2	—	16,6	73,9	290,1
69	1,2645	6,8	1,2	1,3	53,2	151,6	—	50,0	11,5	24,1	1,7	1,6	—	66,7	—	21,9	61,2	222,9
70	1,2430	7,3	0,6	1,0	60,0	129,5	—	30,6	7,5	51,2	0,8	1,2	—	75,2	—	14,3	130,2	280,4
71	1,2657	7,1	0,8	1,0	71,6	134,6	—	38,2	8,4	45,3	1,1	1,2	—	89,2	—	16,0	115,1	299,9
72	1,2689	7,1	1,0	0,9	71,6	137,2	—	42,1	9,5	39,2	1,4	1,1	—	89,7	—	18,1	99,6	301,5
73	1,2427	7,5	0,7	0,7	63,2	123,3	—	30,3	7,0	49,6	1,0	0,8	—	79,2	—	13,3	126,1	274,8
74	1,2132	7,4	0,5	0,7	55,0	112,6	—	26,7	6,1	45,8	0,7	0,8	—	68,9	—	11,6	116,4	247,4
75	1,1805	7,6	0,9	0,8	48,5	95,8	—	23,8	7,9	36,5	0,6	1,0	—	60,8	—	15,1	92,7	213,7
76	1,2640	7,3	0,5	0,9	68,4	130,4	—	33,9	4,9	51,1	0,7	1,1	—	85,7	—	9,3	129,9	290,1
77	1,2360	7,1	0,6	0,9	63,0	123,2	—	30,2	7,7	49,3	0,8	1,1	—	79,0	—	14,7	125,3	274,9
78	1,0096	8,3	—	0,7	4,3	7,3	0,4	1,9	0,2	2,7	—	0,8	1,4	4,1	—	0,4	6,9	17,5
79	1,0220	8,3	—	0,6	6,8	13,8	0,4	3,9	0,5	4,3	—	0,7	1,4	7,3	—	1,0	10,9	30,3
80	1,1780	7,7	0,2	1,1	46,2	95,6	—	23,9	4,6	36,8	0,3	1,3	—	57,9	—	8,8	93,5	208,4
81	1,1350	7,8	0,3	1,0	36,3	71,3	—	18,7	3,7	26,7	0,4	1,2	—	45,5	—	7,1	67,8	158,0
82	1,2520	7,4	0,6	1,5	64,6	130,5	—	35,8	6,5	45,1	0,8	1,8	—	81,0	74,0	12,4	114,6	284,6
83	1,2770	7,1	0,9	1,0	75,3	134,7	—	41,0	8,7	42,0	1,3	1,2	—	94,4	83,4	16,6	106,7	303,6
84	1,2470	7,4	0,7	1,0	62,0	126,6	—	32,0	6,6	48,3	1,0	1,2	—	77,7	61,9	12,6	122,8	277,2
85	1,2560	7,2	0,6	1,0	65,1	135,6	—	33,8	6,9	57,8	0,8	1,2	—	81,6	57,1	13,2	146,9	300,8
86	1,1920	7,6	0,5	0,7	53,0	101,5	—	25,0	5,0	41,5	0,7	0,8	—	66,4	44,3	9,5	105,5	227,2
87	1,1760	7,7	0,4	0,8	47,0	93,0	—	24,0	5,5	35,0	0,6	1,0	—	58,9	45,8	10,5	88,9	205,7
88	1,2040	7,6	0,6	0,9	51,6	106,3	—	27,4	6,6	38,8	0,8	1,1	—	64,7	54,4	12,6	98,6	232,2
89	1,2330	7,3	0,3	0,9	51,9	103,2	—	26,5	6,4	38,4	0,4	1,1	—	65,0	51,3	12,2	97,6	227,6
92	1,1779	7,6	0,4	1,0	48,6	93,2	0,1	24,8	5,9	38,1	0,6	1,2	0,3	60,7	47,4	11,3	86,6	208,1
93	1,1229	7,9	0,2	0,9	34,5	65,8	0,1	1,97	4,4	19,8	0,3	1,1	0,3	43,0	41,9	8,4	50,4	145,4
94	1,1423	7,8	0,2	1,0	40,3	75,2	—	20,0	4,6	28,1	0,3	1,2	—	50,5	37,2	8,8	71,4	169,4
95	1,1597	7,9	1,1	1,1	42,7	83,0	0,1	21,2	4,4	32,7	1,5	1,3	0,3	53,3	38,4	8,4	83,1	186,3
96	1,1891	7,8	0,6	2,9	50,2	99,8	0,1	25,6	5,7	38,5	0,8	3,5	0,3	62,7	47,4	10,9	97,8	223,4
97	1,1777	7,9	0,3	1,0	47,7	91,7	0,2	23,9	6,3	33,9	0,4	1,2	0,7	59,2	45,4	12,0	86,1	205,0
99	1,2534	7,0	0,6	1,2	56,1	143,3	0,1	45,8	6,2	30,3	0,8	1,4	0,3	70,1	122,2	11,8	77,0	283,6
100	1,2699	6,5	1,6	1,4	40,2	170,3	0,2	62,0	6,3	10,3	2,2	1,7	0,7	49,8	199,7	12,0	26,2	292,3
101	1,2947	6,2	2,7	2,1	11,9	217,7	—	73,4	11,9	3,9	3,8	2,5	—	14,9	269,8	22,7	9,9	323,6
103	1,2651	7,2	0,6	0,8	72,6	132,3	0,1	37,6	7,6	45,6	0,8	1,0	0,3	90,7	74,0	14,5	115,9	297,2

Таблица 7.15

Химический состав солей (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1985 и 1986 гг.

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	Минеральный состав										Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$CaSO_4$	Na_2SO_4	$Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgCl_2$	$MgCl \cdot 6H_2O$	KCl	NaCl	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	
Март 1985 г.																				
15	—	0,6	0,2	328,3	0,1	0,3	0,0	212,5	542,0	0,3	—	—	—	0,7	—	0,8	—	—	540,2	—	Галит
23	—	0,8	148,9	447,8	0,2	1,4	0,4	352,0	958,5	0,7	205,5	16,4	—	1,0	—	—	—	0,8	737,6	—	Галит
Декабрь 1985 г.																				
137	—	2,4	365,3	23,2	—	88,4	11,1	17,2	507,6	—	—	63,1	—	2,9	844,4	—	—	21,2	21,6	—	Эпсомит, астраханит
138	—	2,5	281,7	158,9	—	72,6	3,6	99,4	618,7	—	—	—	—	3,0	722,8	3,1	—	2,9	252,7	—	псомит, галит
139	—	2,1	279,7	136,4	—	75,2	11,2	74,3	578,9	—	—	—	—	2,5	717,7	—	—	9,1	188,8	45,8	Эпсомит, галит, карналлит
140	—	1,1	11,3	574,1	0,1	4,3	3,9	367,6	962,4	0,3	—	—	—	1,3	28,5	—	—	4,0	934,4	14,9	Галит, эпсомит
141	—	1,2	185,3	369,9	0,7	30,4	2,5	269,3	859,3	2,4	—	224,0	—	1,4	141,1	—	—	4,8	606,1	—	Галит, астраханит
Апрель 1986 г.																				
33	1,3	1,1	4,8	549,7	0,3	8,4	2,8	342,3	910,7	1,0	—	—	1,8	1,3	10,4	—	41,4	—	870,0	89,8	Галит, бишофит
34	0,4	1,1	11,8	546,6	0,2	10,5	9,1	335,5	915,2	0,6	—	—	0,6	1,3	29,3	—	12,8	—	852,8	67,6	Галит, карналлит, эпсомит
49	—	1,4	23,0	531,1	0,3	10,8	3,1	333,4	903,1	1,0	—	—	—	1,7	57,1	—	41,0	5,9	847,4	—	Галит, эпсомит, бишофит
56	0,8	1,0	3,5	499,7	0,2	7,3	2,1	311,5	826,1	0,6	—	—	1,1	1,2	8,0	—	50,1	4,0	791,8	—	Галит, бишофит

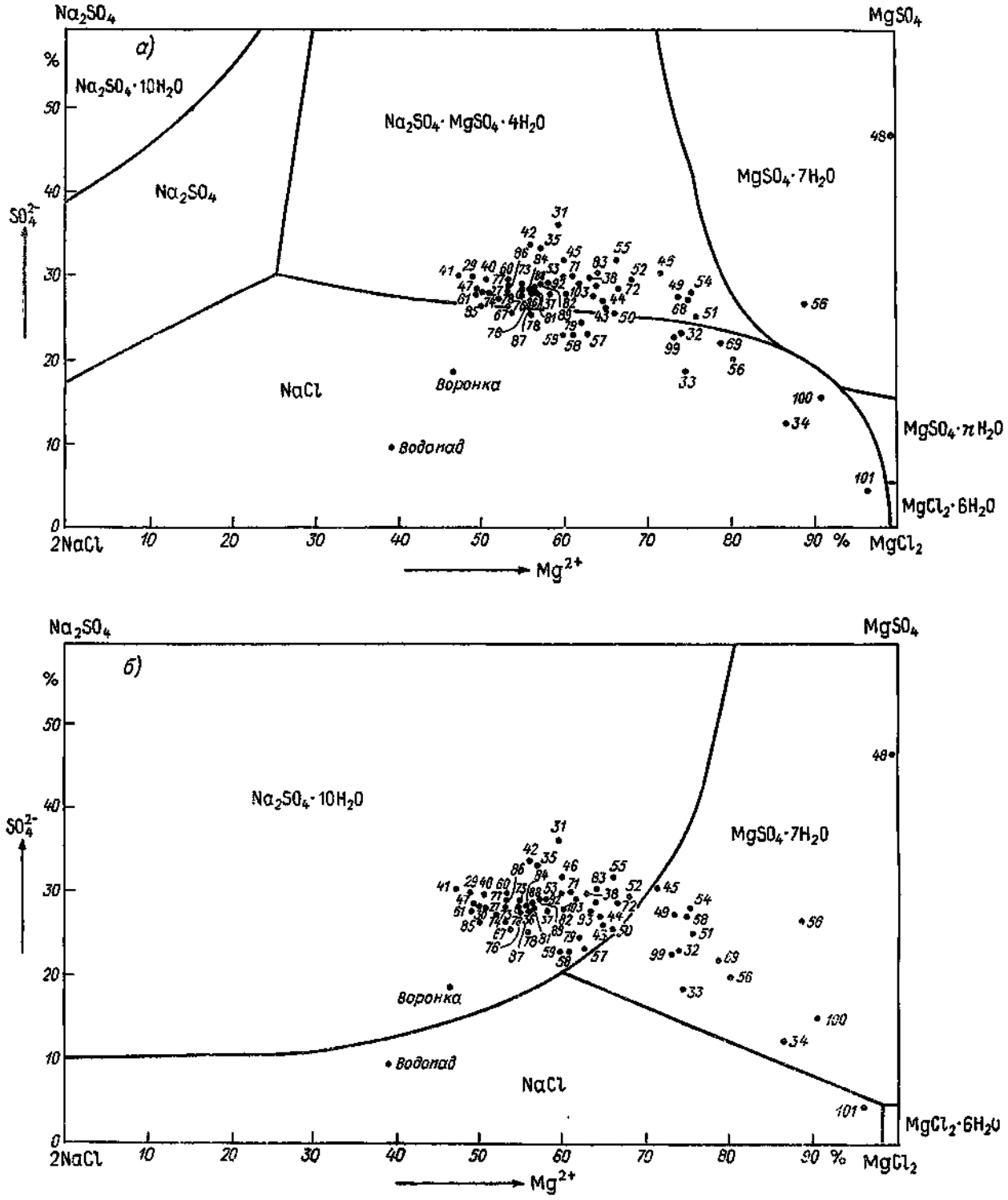


Рис. 7.19. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в 1986 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

в рассолах от 1,2 до 11 ‰, на юго-востоке оно падает до 5 ‰, в то время как на остальной акватории колеблется в пределах 11—13 ‰.

Максимальное содержание NaCl наблюдается в центральной, более глубоководной части акватории (до 150—170 ‰). Для зоны смешения характерны более низкие концентрации — от 8 до 14 ‰ (табл. 7.16).

Химический состав в рассолах мелководья восточной части акватории показывает, что по концентрации и по солевому составу эти рассолы можно отнести к трансформированным погребенным рассолам 2-го соляного горизонта. В этом районе при высыхании поверхностных рассолов наблюдалось большое число воронок, через которые осуществлялась связь между рассолами 1-го и 2-го соляных пластов.

Анализ диаграммы растворимости показывает, что при температуре 25 °С по всей акватории залива и частично на мелководье осаждается астраханит. В центре акватории, на месте порога одновременно осаждается галит. Кристаллизация чистого галита возможна в небольшой области на севере восточной части и на залитых соляных отло-

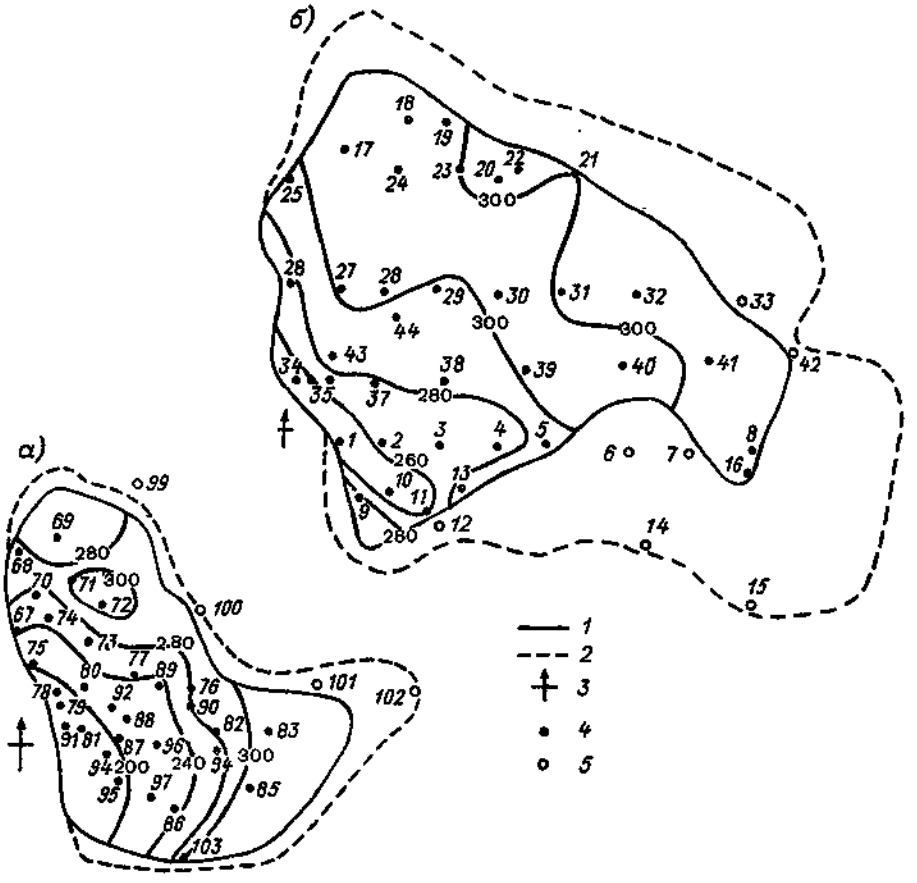


Рис. 7.20. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в октябре 1986 г. (*а*) и в апреле 1987 г. (*б*).

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

жениях на юго-востоке. При понижении температуры до 0 °С в северо-восточной части будет осаждаться эпсомит, во всех остальных местах — мирабилит, на юго-востоке, возможно, с примесью эпсомита (рис. 7.21).

Солевые отложения на юго-западе залива представлены следующими минералами: галит — 575 ‰, гексагидрат сульфата магния — 353 ‰, глауберит — 62 ‰, астраханит — 22 ‰, карналлит и бишофит полностью перешли в рассол. На юго-востоке основными компонентами также является галит — 879 ‰, потом бишофит — 63 ‰, эпсомит — 24 ‰ и карналлит — 10 ‰. На севере залива галита в отложениях еще больше — 922 ‰, бишофита — 50 ‰ и эпсомита — 16 ‰. Содержание карналлита здесь менее 10 ‰ и не во всех пробах он присутствует (табл. 7.17).

За год объем рассолов увеличился в 1,5 раза. В рапе уменьшилось содержание $MgSO_4$ на 15 ‰ в результате осаждения астраханита и на 21 ‰ увеличилась концентрация NaCl (см. табл. 7.16). Общая минерализация рассолов практически не изменилась.

К началу сентября 1987 г. площадь рассолов и залитых ими соляных отложений уменьшилась почти вдвое. Соляной порог на юге все больше размывается. Увеличение летом притока морской воды по сравнению с холодным временем на 10—15 ‰ оказывает опресняющее действие на акваторию залива. В то же время сильное испарение способствует большему концентрированию рапы залива. В результате минерализация рассолов изменяется от 250 ‰ на границе зоны смешения до 340 ‰, а на юго-востоке и до 360 ‰ (рис. 7.22). Среднее значение общей минерализации рапы по всей акватории составляет 286 ‰ (см. табл. 7.13).

В центре акватории содержание NaCl колеблется около 100 ‰, на периферии же в связи с осаждением оно падает до 30 ‰, в зоне смешения — колеблется до 60—80 ‰. Содержание $MgSO_4$ в зоне смешения колеблется от 39 до 75 ‰, в центральной зоне акватории оно составляет 75—80 ‰, на северо-востоке глубокой части возрастает до 100 ‰. Возле уреза рапы содержание $MgSO_4$ уменьшается в связи с кристаллизацией гексагидрата сульфата магния. Содержание $MgCl_2$ в зоне смешения составляет 36—50 ‰. По мере приближения к берегам акватории оно достигает 200 ‰, а на востоке и 250 ‰. Содержание KCl на большей части акватории колеблется около 13 ‰ (см. табл. 7.16).

На диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы точки состава рассолов в относительно глубоководной части акватории находятся в поле кристаллизации астраханита. На севере акватории и на залитых рассолом соляных полях на востоке, юго-востоке осаждается галит, на северо-востоке — эпсомит, на юге и юго-западе — галит с эпсомитом. При понижении температуры в центральной части залива садится мирабилит, на залитых соляных отложениях — эпсомит (рис. 7.23).

Когда рассолы находятся вблизи эвтоники, более точно определить выпадающие соли позволяет диаграмма растворимости пятикомпонентной вод-

Таблица 7.16

Химический состав рассолов (‰) в пробах, отобранных в залиме в 1987 г.

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
								Апрель										
1	1,2159	7,7	0,6	0,4	45,2	119,3	0,1	25,6	5,9	47,6	0,8	0,5	0,3	56,4	54,4	11,3	121,0	244,7
1/2	1,2151	7,8	0,4	0,8	46,2	119,1	0,1	26,3	5,9	46,7	0,6	1,0	0,3	57,6	56,0	11,3	118,7	245,5
2	1,2389	7,7	0,4	0,8	56,0	124,8	0,1	27,3	6,1	53,2	0,6	1,0	0,3	69,9	50,1	11,6	135,2	268,7
2/2	1,2490	7,8	0,5	0,7	61,5	127,5	0,1	28,3	6,2	55,4	0,7	0,8	0,3	76,8	49,0	11,8	140,8	280,2
3	1,2357	7,5	0,4	0,7	53,9	125,1	0,1	27,0	6,1	52,8	0,6	0,8	0,3	67,3	51,3	11,6	134,2	266,1
3/2	1,2388	7,4	0,4	0,7	56,8	127,1	0,1	27,6	6,3	54,2	0,6	0,8	0,3	70,9	50,9	12,0	137,7	273,2
4	1,2366	7,8	0,4	0,8	56,0	123,4	0,1	27,2	6,4	52,3	0,6	1,0	0,3	69,9	49,7	12,2	132,9	266,6
4/2	1,2376	7,8	0,4	0,7	57,2	123,8	0,1	27,5	6,3	52,4	0,6	0,8	0,3	71,4	50,1	12,0	133,2	268,4
5	1,2551	7,6	0,6	0,7	58,6	136,4	0,1	30,5	6,7	55,4	0,8	0,8	0,3	73,2	60,3	12,8	140,8	289,0
6	1,2399	7,7	0,4	0,7	40,6	141,5	0,2	26,1	5,9	58,8	0,6	0,8	0,6	50,4	61,1	11,3	149,4	274,2
7	1,2418	7,8	0,4	0,6	39,6	142,8	0,1	25,3	7,3	60,0	0,6	0,7	0,3	49,4	58,7	13,9	152,5	276,1
8	1,2801	7,4	0,8	1,1	77,1	135,2	0,2	43,6	6,9	38,8	1,1	1,3	0,6	96,1	92,8	13,2	98,6	303,7
9	1,2519	7,6	0,5	0,8	64,9	126,3	0,2	29,0	5,5	55,4	0,7	1,0	0,6	80,8	48,2	10,5	140,8	282,6
10	1,2260	7,9	0,6	0,7	55,6	118,0	0,3	26,8	5,5	49,5	0,8	0,8	1,0	68,8	49,3	10,5	125,8	257,0
10/2	1,1889	8,2	0,3	1,1	49,1	96,7	0,3	22,1	4,5	42,1	0,4	1,3	1,0	60,7	37,2	8,6	107,0	216,2
11	1,2277	7,8	0,4	1,0	55,3	119,1	0,1	26,9	6,0	50,1	0,6	1,2	0,3	69,1	49,0	11,4	127,3	258,9
11/2	1,2400	7,8	0,5	0,8	62,0	120,2	0,1	28,7	6,4	50,2	0,7	1,0	0,3	77,4	49,7	12,2	127,6	268,9
12	1,2811	7,4	0,8	1,0	80,8	130,9	0,1	41,0	6,5	43,1	1,1	1,2	0,3	101,0	78,7	12,4	109,5	304,2
13	1,2858	7,4	1,0	1,2	80,3	132,9	0,1	45,1	7,2	36,2	1,4	1,4	0,3	101,0	94,8	13,7	92,0	304,0
14	1,2502	7,6	0,6	0,7	54,5	135,9	0,2	32,6	5,1	50,0	0,8	0,8	0,6	67,8	72,8	9,7	129,1	279,6
15	1,2442	7,7	0,3	0,5	51,5	134,2	0,2	21,1	2,6	70,4	0,4	0,6	0,6	64,0	31,3	5,0	178,9	280,8
16	1,2652	7,4	0,6	0,8	63,7	135,6	0,2	36,2	7,3	46,2	0,8	1,0	0,6	79,3	77,5	13,9	117,5	290,6
17	1,2802	7,2	1,6	2,4	82,6	131,9	0,1	45,4	5,7	37,9	2,2	2,9	0,3	103,3	91,6	10,9	96,4	307,6
19	1,2750	7,3	1,3	2,4	73,7	132,9	0,1	38,3	4,5	48,2	1,8	2,9	0,3	92,1	73,2	8,6	122,5	301,4
20	1,2749	7,3	1,5	1,7	71,1	136,2	0,1	46,7	6,6	31,8	2,1	2,0	0,3	88,9	108,9	12,6	80,9	295,7
21	1,2751	7,1	1,2	1,3	69,0	141,3	—	45,1	6,7	37,0	1,7	1,6	—	86,5	104,9	12,8	94,1	301,6
22	1,2514	7,3	0,5	1,0	50,6	138,0	0,1	29,5	6,9	54,6	0,7	1,2	0,3	63,2	63,8	13,2	138,8	281,2
23	1,2529	7,6	0,6	1,0	55,3	140,4	0,1	29,2	6,7	59,1	0,8	1,2	0,3	69,1	58,0	12,8	150,2	292,4
24	1,2506	7,5	0,7	0,9	57,5	149,2	0,1	31,7	6,8	61,2	1,0	1,1	0,3	71,8	65,4	13,0	155,5	308,1
25	1,2726	7,4	0,8	1,1	70,7	136,1	—	40,9	6,4	42,0	1,1	1,3	—	88,6	88,1	12,2	106,7	298,0
26	1,2343	7,6	0,6	0,8	46,1	131,0	0,1	26,5	6,5	53,7	0,8	1,0	0,3	57,5	56,8	12,4	136,5	265,3
29	1,2537	7,0	0,6	0,8	54,4	141,1	0,1	30,8	6,7	56,0	0,8	1,0	0,3	67,9	65,4	12,8	142,3	290,5
30	1,2666	7,5	0,5	0,8	70,1	133,7	0,1	28,9	6,4	62,5	0,7	1,0	0,3	87,6	42,3	12,2	158,9	303,0
31	1,2568	7,5	0,7	0,8	63,9	127,6	0,1	27,5	6,6	58,2	1,0	1,0	0,3	79,8	42,7	12,6	148,0	285,4
31/2	1,2570	7,5	0,5	1,0	57,7	140,1	0,1	29,5	6,4	59,7	0,7	1,2	0,3	72,1	56,8	12,2	151,7	295,0
32	1,2580	7,4	0,5	0,8	57,9	139,3	0,1	30,3	6,5	57,6	0,7	1,0	0,3	72,3	59,9	12,4	146,4	293,0
32/2	1,2574	7,3	0,6	0,7	57,5	139,5	0,1	30,2	7,0	57,3	0,8	0,8	0,3	71,8	60,3	13,3	145,6	292,9
33	1,2754	7,2	0,8	0,9	71,1	138,9	0,1	42,7	6,5	40,5	1,1	1,1	0,3	88,9	94,8	12,4	102,9	301,5
34	1,0100	8,4	—	0,4	5,3	6,0	0,3	1,5	0,1	3,4	—	0,5	1,0	5,8	0,8	0,2	8,7	17,0
35	1,2243	7,8	0,4	0,7	50,3	124,6	0,1	25,9	6,2	52,8	0,6	0,8	0,3	62,8	50,5	11,8	134,2	261,0
27	1,2475	7,6	0,9	1,0	58,1	144,0	0,1	27,9	6,2	66,0	1,3	1,2	0,3	72,6	49,3	11,8	167,7	304,2
28	1,2506	7,6	0,7	0,8	53,1	150,6	0,1	31,6	7,1	60,1	1,0	1,0	0,3	66,3	69,3	13,5	152,7	304,1
35/2	1,2349	7,5	0,4	0,8	54,2	129,7	0,1	26,7	6,1	56,8	0,6	1,0	0,3	67,7	49,3	11,6	144,3	274,8
36	1,2286	7,6	0,4	0,7	53,1	126,5	0,1	26,2	6,0	54,9	0,6	0,8	0,3	66,3	49,0	11,4	139,5	267,9
36/2	1,2321	7,6	0,5	0,7	52,8	128,1	0,2	26,7	6,0	54,8	0,7	0,8	0,6	65,7	51,3	11,4	139,3	269,8
37	1,2370	7,6	0,4	0,7	54,1	132,4	0,2	26,9	6,1	57,7	0,6	0,8	0,6	67,3	50,9	11,6	146,7	278,5
37/2	1,2374	7,7	0,4	0,7	54,6	129,3	0,1	26,7	6,4	56,3	0,6	0,8	0,3	68,2	49,3	12,2	143,1	274,5
38	1,2537	7,6	0,5	0,7	56,8	140,3	0,1	28,8	6,7	60,2	0,7	0,8	0,3	70,9	55,6	12,8	153,0	294,1
39	1,2640	7,4	0,5	0,7	68,5	134,7	0,1	29,1	6,6	61,7	0,7	0,8	0,3	85,6	45,0	12,6	156,9	301,9

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
39/2	1,2634	7,4	0,5	0,8	68,1	135,8	0,1	29,1	6,6	62,5	0,7	1,0	0,3	85,1	45,0	12,6	158,8	303,5
40	1,2615	7,4	0,5	0,8	64,8	149,3	0,1	28,9	7,0	69,8	0,7	1,0	0,3	81,0	47,4	13,4	177,4	321,2
41	1,2483	7,4	0,3	0,7	51,6	143,4	0,1	32,5	4,4	54,1	0,6	0,8	0,3	64,4	75,2	8,4	137,5	287,2
44	1,2531	7,5	0,6	0,6	52,0	144,9	0,1	29,5	7,3	59,3	0,8	0,7	0,3	64,9	66,0	13,9	150,7	294,3
41/2	1,2537	7,4	0,5	0,7	52,3	145,0	0,2	29,5	7,1	59,5	0,7	0,8	0,6	65,0	63,0	13,5	151,2	294,8
42	1,2202	7,6	0,5	0,7	49,6	125,0	0,2	25,6	6,0	53,4	0,7	0,8	0,6	61,7	50,1	11,4	135,7	261,0
42/2	1,2300	7,6	0,5	0,7	52,0	129,7	0,1	26,7	6,2	55,3	0,7	0,8	0,3	64,9	52,1	11,8	140,6	271,1
43	1,2517	7,45	0,6	0,7	53,1	145,2	0,1	31,6	7,1	56,2	0,8	0,8	0,3	66,3	70,1	13,5	142,8	294,6
											Сентябрь							
101	1,1112	8,0	0,3	0,7	31,7	60,1	0,3	17,2	3,4	19,6	0,4	0,8	1,0	38,8	36,0	6,5	49,8	133,3
102	1,2511	7,4	0,7	0,9	67,9	116,2	0,2	38,0	7,1	32,6	1,0	1,1	0,6	84,6	79,9	13,5	89,9	263,6
103	1,3070	6,3	2,5	1,6	43,7	202,1	—	74,2	6,9	10,1	3,5	1,9	—	54,8	242,0	13,2	25,7	341,1
104	1,2908	6,9	1,6	1,5	72,9	151,2	—	54,5	6,9	27,6	2,2	1,8	—	91,4	137,5	13,2	70,1	316,2
104/2	1,2889	7,0	1,2	1,2	73,3	151,9	—	54,0	6,8	28,9	1,7	1,4	—	91,9	135,9	13,0	73,4	317,3
105	1,2657	7,1	0,7	1,0	69,4	140,1	—	38,0	6,9	49,2	1,0	1,2	—	87,0	77,9	13,2	125,0	305,3
105/2	1,2697	7,1	0,9	1,2	72,1	140,8	1,0	41,0	9,1	44,0	1,3	1,4	0,3	90,1	86,9	17,4	111,8	309,2
106	1,3094	6,7	2,4	1,9	43,0	200,5	—	73,7	6,7	10,0	3,4	2,3	—	53,9	240,4	12,8	25,4	338,2
107	1,2130	7,3	0,6	0,8	59,0	100,8	—	31,5	6,4	36,2	0,8	1,0	—	73,9	63,4	12,2	92,0	243,3
108	1,2587	7,1	0,7	0,9	67,7	134,6	—	36,0	6,9	48,4	1,0	1,1	—	84,8	72,1	13,2	123,0	295,2
108/2	1,2610	7,1	0,8	1,0	67,6	134,8	—	36,4	6,9	47,8	1,1	1,2	—	84,7	73,6	13,2	121,5	295,3
109	1,2851	6,8	1,0	1,0	80,6	138,9	—	46,7	6,8	37,5	1,4	1,2	—	101,0	100,6	13,0	95,3	312,5
109/2	1,2813	6,8	1,0	1,0	80,2	140,1	—	46,6	6,9	38,2	1,4	1,2	—	100,5	100,6	13,2	97,1	314,0
110	1,3277	6,4	2,2	1,6	64,3	191,1	—	72,8	6,7	15,4	3,1	1,9	—	80,6	216,6	12,8	39,1	354,1
111	1,2566	7,2	0,7	0,9	67,5	135,5	—	36,2	7,0	48,6	1,0	1,1	—	84,6	72,8	13,3	123,6	296,4
111/2	1,2547	7,1	0,7	1,0	70,4	138,9	0,1	37,2	7,1	50,2	1,0	1,1	0,3	88,0	74,0	13,5	127,6	305,6
112	1,3052	6,4	1,6	1,5	63,5	173,3	—	62,7	6,9	21,9	2,2	1,8	—	79,6	179,0	13,2	55,6	331,4
114	1,3085	6,3	1,6	1,9	19,53	195,3	—	70,9	6,9	12,9	2,2	2,3	—	58,8	227,1	13,2	32,8	336,4
113,B	1,3112	6,1	1,7	1,8	48,1	193,6	—	68,5	6,8	17,1	2,4	2,2	—	60,3	216,2	13,0	43,5	337,6
115	1,3128	6,2	1,9	2,0	52,9	193,2	—	72,2	7,0	12,3	2,7	2,4	—	66,3	225,6	13,3	31,2	341,5
116	1,3183	6,2	2,0	2,2	48,7	214,2	—	79,4	6,9	10,2	2,8	2,6	—	61,0	258,1	13,2	25,9	363,6
121	1,2673	7,1	0,7	0,9	66,6	139,5	—	37,1	7,0	49,2	1,0	1,1	—	83,5	77,1	13,3	125,0	301,0
120	1,1868	7,8	0,5	0,8	51,0	98,0	0,2	27,5	5,4	33,3	0,7	1,0	0,6	63,4	56,0	10,3	84,7	216,7
121/2	1,2658	6,9	0,7	1,0	66,9	140,1	0,2	37,6	6,9	48,4	1,0	1,2	0,6	83,3	79,5	13,2	123,0	301,8
122	1,2742	6,9	0,8	1,0	72,2	141,2	—	41,1	6,9	45,3	1,1	1,2	—	90,5	87,3	13,2	115,2	308,5
123	1,3020	6,4	1,6	1,8	58,1	178,0	—	66,4	7,0	15,5	2,2	2,2	—	72,8	198,5	13,3	39,4	328,4
124	1,3183	6,1	2,4	2,2	44,9	219,0	—	81,7	3,6	9,6	3,4	2,6	—	56,3	269,8	6,9	24,4	363,4
125	1,3044	6,3	1,8	1,8	55,1	184,6	—	68,4	7,0	14,9	2,5	2,2	—	69,1	208,7	13,3	37,8	333,6
126	1,2877	6,9	1,2	1,2	71,6	153,7	—	56,4	7,1	24,5	1,7	1,4	—	89,7	147,2	13,5	62,2	315,7
127	1,2327	7,6	0,7	0,9	62,9	119,1	—	35,1	7,0	37,8	1,0	1,1	—	78,8	73,2	13,3	96,1	263,5
127/2	1,2424	7,4	0,8	0,8	64,8	124,2	—	35,2	7,1	41,8	1,1	1,0	—	81,2	71,7	13,5	106,2	274,7
128	1,2403	7,4	0,6	0,8	63,3	124,8	—	34,1	13,3	38,7	0,8	1,0	—	79,3	70,7	25,4	98,4	275,6
129	1,2156	7,6	0,6	0,8	58,8	110,9	0,3	30,8	6,4	38,5	0,8	1,0	1,0	72,8	61,5	12,2	97,8	247,1
129/2	1,2191	7,6	0,6	0,8	58,9	112,6	0,3	31,6	6,5	38,0	0,8	1,0	1,0	72,9	64,6	12,4	96,6	249,3
130	1,1790	7,7	0,5	0,8	48,9	94,6	0,3	26,1	5,3	32,7	0,7	1,0	1,0	60,4	52,9	10,1	83,1	209,2
130/2	1,1689	7,8	0,4	0,8	49,7	94,9	0,2	26,3	5,2	33,1	0,6	1,0	0,6	61,8	52,5	9,9	84,2	210,6
131	1,2003	7,7	0,5	0,9	60,0	112,2	0,2	31,7	6,9	38,1	0,7	1,1	0,6	74,7	63,4	13,2	96,8	250,5
132	1,2354	7,4	0,6	0,8	70,0	125,5	0,3	36,5	7,2	42,0	0,8	1,0	1,0	86,8	72,8	13,7	106,8	282,9
133	1,2465	7,4	0,7	0,7	66,3	133,2	—	36,4	7,1	45,9	1,0	0,8	—	83,1	75,2	13,6	116,6	290,3
133/2	1,2475	7,4	0,7	0,8	65,5	133,3	—	35,9	7,1	46,8	1,0	1,0	—	82,1	73,6	13,5	118,9	290,1

Номер пробы	Плотность, г/см³	pH	Ионы								Гипотетические соли							Сумма солей
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^+	Mg^{2+}	K^+	Na^+	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
134	1,2217	7,5	0,6	0,7	60,4	120,5	0,2	33,3	6,7	40,5	0,8	0,8	0,6	75,2	69,7	12,8	103,0	262,9
134/2	1,2264	7,6	0,7	0,7	61,8	123,8	—	37,9	7,2	34,6	1,0	0,8	—	77,4	85,8	13,7	88,0	266,7
135	1,1606	7,8	0,6	0,7	47,7	89,1	0,3	25,6	5,0	29,5	0,8	0,8	1,0	58,9	52,5	9,5	75,0	198,5
135/2	1,1636	7,8	0,5	0,7	47,8	90,0	0,3	25,8	5,2	29,6	0,7	0,8	1,0	59,0	53,3	9,9	75,2	199,9
136	1,0228	8,2	—	1,2	4,6	10,7	4,7	0,9	—	0,9	—	1,4	6,5	7,8 ($CaCl_2$)	2,7	—	6,1	24,5
Водопад	1,0082	8,2	—	0,1	3,1	5,6	0,4	0,7	0,1	3,4	—	0,1	1,3	2,8 ($MgSO_4$)	0,4	0,2	8,6	13,4
Декабрь																		
171	1,1567	—	0,5	0,8	36,2	94,0	0,5	24,0	5,2	30,1	0,7	1,0	1,6	44,0	57,6	9,9	76,5	191,3
172	1,1664	—	0,6	1,1	37,9	99,5	0,7	25,5	5,7	30,9	0,8	1,3	2,3	45,5	62,7	10,8	78,5	201,9
173	1,2344	—	0,8	1,1	51,8	136,8	0,8	36,6	10,6	38,3	1,1	1,3	2,6	62,7	91,6	20,2	97,3	276,8
174	1,2549	—	1,4	1,1	48,9	156,3	0,9	45,4	4,3	37,0	2,0	1,3	2,9	58,8	128,1	8,2	94,0	295,3
175	1,2564	—	0,7	0,9	58,4	141,1	0,6	34,5	7,4	50,3	1,0	1,1	1,9	71,6	76,4	14,1	127,8	293,9
176	1,2106	—	0,7	1,2	49,6	123,9	0,5	31,7	7,1	40,5	1,0	1,4	1,6	60,8	74,0	13,5	102,9	255,2
176/2	1,2127	—	0,7	1,2	50,0	123,9	0,6	30,4	7,0	43,0	1,0	1,4	1,9	61,0	68,9	13,3	109,3	256,8
177	1,2277	—	0,6	1,1	56,4	124,2	0,4	30,9	6,7	45,6	0,8	1,3	1,3	69,6	64,2	12,8	115,9	265,4
178	1,2445	—	1,1	1,6	31,6	168,5	0,4	52,7	8,6	20,6	1,5	1,9	1,3	38,5	173,1	16,4	52,4	285,1
179	1,2463	—	0,8	0,8	47,8	150,4	0,9	38,4	5,5	44,6	1,1	1,0	2,9	57,4	103,0	10,5	113,3	289,2
180	1,2510	—	0,5	0,9	59,9	147,0	0,9	37,2	11,8	43,2	0,7	1,1	2,9	72,6	86,5	22,5	109,8	296,1
182	1,2320	—	0,6	0,9	50,1	136,2	0,5	29,6	6,7	52,6	0,8	1,1	1,6	61,4	65,8	12,8	133,7	277,2
183	1,2589	—	1,1	1,0	28,5	155,2	0,3	41,6	16,7	26,6	1,5	1,2	1,0	34,8	133,1	31,8	67,6	271,0
184	1,2402	—	0,4	0,6	40,4	161,3	0,4	33,7	5,0	57,5	0,6	0,7	1,3	49,5	91,6	9,5	146,1	299,3
185	1,2520	—	0,8	1,0	49,0	148,8	0,4	38,4	11,8	41,0	1,1	1,2	1,3	60,3	100,6	22,5	104,2	291,2
186	1,2469	—	1,0	1,4	40,4	156,2	0,5	46,7	11,6	26,4	1,4	1,7	1,6	49,3	141,0	22,1	67,1	284,2
187	1,2566	—	1,0	1,4	41,9	159,4	0,4	45,8	14,0	29,5	1,4	1,7	1,3	51,4	135,9	26,7	75,0	293,4
188	1,2600	—	1,4	1,1	35,4	170,7	0,4	52,0	21,9	17,4	2,0	1,3	1,3	43,2	166,4	41,8	44,3	300,3
189	1,1917	—	0,6	0,9	45,9	112,2	0,5	29,7	8,3	33,9	0,8	1,1	1,6	56,1	70,5	15,8	86,1	232,0
190	1,1950	—	0,5	1,0	48,2	112,3	0,5	28,9	6,1	37,9	0,7	1,2	1,6	59,0	65,0	11,6	96,3	235,4
190/2	1,1963	—	0,5	0,9	49,9	113,7	0,5	28,9	5,9	39,8	0,7	1,1	1,6	61,2	63,0	11,3	101,2	240,1
191/1	1,2261	—	0,6	0,8	48,1	133,5	0,5	29,2	6,1	51,0	0,8	1,0	1,6	58,9	66,2	11,6	129,7	269,8
191/2	1,2266	—	0,5	0,9	48,1	136,5	0,3	29,5	5,9	52,5	0,7	1,1	1,0	59,4	67,0	11,8	133,5	274,5
192	1,2703	—	0,7	1,4	51,4	162,0	0,5	47,8	6,1	26,7	1,0	1,7	1,6	63,0	135,1	42,5	67,9	312,8
193	1,2575	—	1,7	1,4	35,7	171,5	0,7	50,5	6,2	24,3	2,4	1,7	2,3	42,7	160,2	31,1	61,7	302,1
194	1,2093	—	0,6	1,1	54,7	114,2	0,6	29,7	22,3	40,5	0,8	1,3	1,9	66,9	61,9	12,0	102,9	247,7
194/2	1,2086	—	0,5	0,7	53,6	117,3	0,5	30,4	16,3	40,5	0,7	0,8	1,6	65,8	65,8	12,2	103,0	249,9
195	1,1909	—	0,5	0,9	47,9	112,3	0,5	28,3	6,3	38,9	0,7	1,1	1,6	58,6	63,0	11,6	98,8	235,4
196	1,1926	—	0,4	0,9	49,4	106,8	0,5	27,2	6,4	38,2	0,6	1,1	1,6	60,5	57,2	11,1	97,1	229,2
198	1,2611	—	0,7	1,0	73,9	136,0	0,8	32,3	6,1	58,2	1,0	1,2	2,6	90,4	52,9	14,3	148,0	310,4
199	1,1935	—	0,6	1,0	51,5	110,9	0,5	28,4	5,9	15,5	0,8	1,2	1,6	63,2	59,5	11,3	76,7	214,3
200	1,2225	—	0,5	1,0	57,1	127,5	0,3	28,9	5,9	52,3	0,7	1,2	1,0	70,7	55,6	11,3	133,0	273,5
201	1,2175	—	0,9	1,0	48,4	133,1	0,3	36,8	10,9	34,3	1,3	1,2	1,0	59,8	94,4	20,8	87,2	265,7
202	1,2548	—	1,0	1,0	54,0	153,8	0,3	36,7	11,0	50,5	1,4	1,2	1,0	66,8	88,5	21,0	127,4	308,3
204	1,2521	—	0,8	1,0	60,9	147,5	0,5	36,8	8,0	50,9	1,1	1,2	1,6	74,9	83,0	15,3	129,3	306,4
207	1,2576	—	0,7	1,0	65,8	143,7	0,4	36,2	8,0	51,5	1,0	1,2	1,3	81,3	75,6	16,8	130,9	308,1
206	1,2494	—	1,0	1,1	44,6	160,3	0,7	37,7	8,0	49,7	1,4	1,3	2,3	53,9	102,6	15,3	126,3	303,1

Примечание. Номер пробы с дробной чертой означает придонный горизонт.

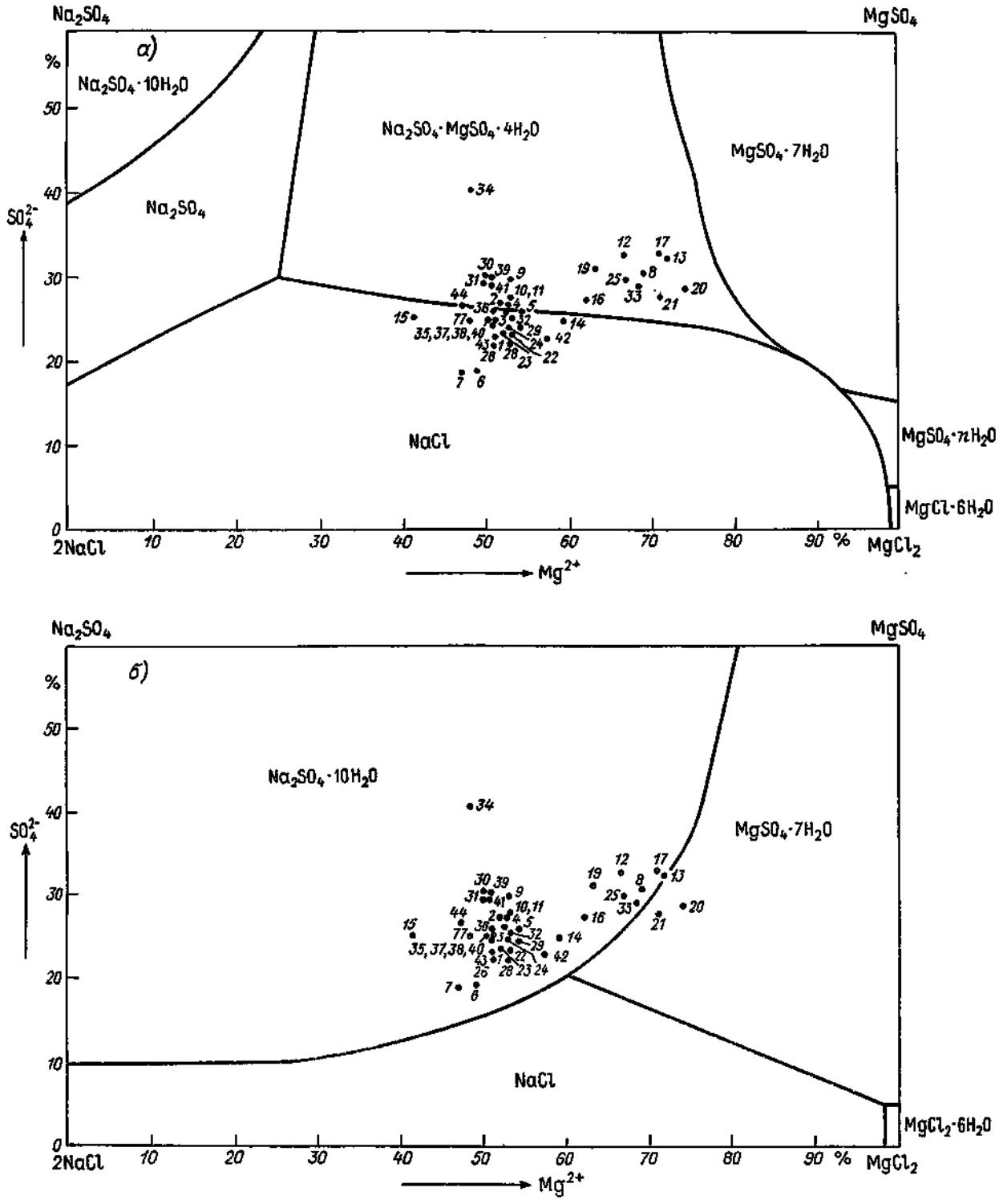


Рис. 7.21. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в апреле 1987 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

но-солевой системы Na^+, Mg^{2+}, $K^+||Cl^-$, SO_4^{2-}. При температуре 25 °С основная масса точек расположена в поле астраханита. Точки 102 и 109 лежат вблизи линии совместной кристаллизации астраханита и эпсомита. В т. 104 идет осаждение чистого эпсомита. В точках 110, 112, 105 и 126 выпадает в осадок карналлит с примесью гексагидрата сульфата магния. В точках 114 и 123 осаждается чистый карналлит, а в точках 103, 106, 115 и 124 еще и бишофит (рис. 7.24).

После перевозки и двухмесячного отстоя проб рассолов в лаборатории в некоторых из них в осадок выпали соли (табл. 7.18). Химический и кристаллооптический анализ этих солей показал, что в пробе 109 выпал в осадок шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \times \times 6H_2O$), в пробах 114, 115 — каинит ($KCl \times \times MgSO_4 \cdot 3H_2O$). Кристаллизация каинита происходит из пересыщенных растворов и наблюдалась в виде единичных кристаллов при изотермическом испарении в лабораторных условиях, а также

Таблица 7.17

Химический состав солей (‰) в пробах, отобранных в заливе в 1987 г.

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	Минеральный состав									Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$CaSO_4 \times 2H_2O$	$CaSO_4 \times Na_2SO_4$	$Na_2SO_4 \times 10H_2O$ (nH_2O)	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	NaCl	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$MgSO_4 \times 6H_2O$ ($5H_2O$)	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	
Апрель																			
8	—	1,5	1,3	560,4	0,4	9,4	1,4	345,6	920,0	1,6	—	—	—	878,5	—	—	10,1	67,8	Галит, гипс, карналлит, бишофит
12	0,9	3,9	205,3	350,1	9,4	40,8	1,5	239,5	851,4	—	62,3	—	21,9	574,9	—	355,2	—	—	Галит, гексагидрат, глауберит, астраханит
13	—	2,3	268,3	184,6	4,9	72,1	3,4	105,4	641,0	20,1	—	—	—	267,9	660,1	—	24,2	36,7	Эпсомит, галит, бишофит, гипс, карналлит
14	—	1,4	1,2	587,0	0,5	6,2	1,0	369,6	966,9	5,2	—	—	—	939,4	—	—	7,1	41,6	Галит, бишофит, карналлит, гипс
15	—	2,4	11,5	566,2	1,0	8,3	1,2	356,3	946,9	4,0	—	—	—	905,7	24,0	—	8,6	38,0	Галит, эпсомит, бишофит, карналлит, гипс
9	2,0	3,9	215,8	341,6	5,5	41,3	4,6	241,2	855,9	—	36,4	—	118,9	556,2	—	291,7	—	—	Галит, гексагидрат, астраханит, глауберит
16	—	1,5	5,3	581,4	0,2	5,4	0,9	369,2	963,9	—	—	—	—	938,4	12,5	—	6,3	27,9	Галит, бишофит, эпсомит, карналлит
17	—	1,8	7,2	576,2	0,7	9,6	0,7	358,6	954,8	—	—	—	—	911,5	—	17,6	—	65,1	Галит, бишофит, эпсомит, гексагидрат
19	—	1,4	6,2	579,5	0,8	6,3	0,4	366,3	960,9	3,3	—	—	—	931,1	11,3	—	—	41,0	Галит, бишофит, эпсомит, гипс
20	—	1,0	6,8	569,0	0,2	6,6	0,7	359,6	943,9	—	—	—	—	914,0	16,4	—	—	40,1	Галит, бишофит, эпсомит
25	—	3,0	10,1	589,9	1,6	8,7	0,8	369,8	983,9	—	—	—	—	940,0	—	—	5,6	50,3	Галит, бишофит
33	—	1,7	4,2	562,5	0,3	8,0	0,6	351,7	929,0	1,0	—	—	—	893,9	9,0	—	—	56,7	Галит, бишофит, эпсомит
41	—	1,5	3,2	578,7	0,3	6,4	0,4	364,7	955,2	—	—	—	—	927,0	—	—	—	45,9	Галит, бишофит
Сентябрь																			
103	—	1,9	120,1	402,3	3,5	38,2	6,9	239,1	812,0	14,3	—	—	—	607,7	288,1	42,4	49,2	42,4	Галит, эпсомит, карналлит, бишофит, гексагидрат
106	—	1,8	12,7	558,0	3,4	12,9	2,0	339,5	930,3	13,9	—	—	—	863,0	—	83,2	14,2	—	Галит, гексагидрат, карналлит, гипс
110	—	2,3	259,9	202,3	16,3	9,1	8,6	216,9	715,4	—	107,9	275,3	—	279,3	—	—	61,1	27,3	Галит, тенардит, глауберит, карналлит, бишофит

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	Минеральный состав								Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+		$CaSO_4 \times 2H_2O$	$CaSO_4 \times Na_2SO_4$	$Na_2SO_4 \times 10H_2O$ (nH_2O)	$Na_2SO_4 \times MgSO_4 \times 4H_2O$	NaCl	$MgSO_4 \times 7H_2O$	$MgSO_4 \times 6H_2O$ ($5H_2O$)	$KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \times 6H_2O$	
112	—	1,3	97,9	421,8	2,1	32,8	3,1	254,9	813,9	8,6	—	—	—	647,9	239,2	—	22,0	58,4	Галит, эпсомит, карналлит, бишофит, гипс
114	—	1,7	270,0	175,9	2,7	74,7	5,5	96,4	626,9	11,0	—	—	—	245,1	—	627,9	39,1	35,0	Гексагидрат, галит, карналлит, бишофит, гипс
115	—	1,6	288,7	145,5	2,7	82,4	4,5	71,9	597,3	11,0	—	—	—	182,7	—	672,5	32,1	64,2	Гексагидрат, галит, карналлит, бишофит, гипс
116	—	3,2	215,1	250,6	2,2	63,8	4,0	141,3	680,2	9,0	—	—	—	359,1	539,3	—	28,3	62,9	Эпсомит, галит, бишофит, карналлит, гипс
125	—	5,2	225,6	228,9	2,2	67,8	4,7	125,1	659,5	9,0	—	—	—	317,9	566,4	—	33,5	66,5	Эпсомит, галит, бишофит, карналлит, гипс
126	0,4	1,8	98,5	457,2	2,0	24,6	2,4	294,7	881,6	8,2	—	—	—	749,1	241,2	—	—	—	Галит, эпсомит, гипс
										Декабрь								
198	0,4	2,0	422,4	131,7	0,3	48,7	2,2	195,1	802,8	—	2,0	137,6	661,6	213,8	—	—	—	—	Астраханит, галит, мирабилит, глауберит
203	0,7	2,9	286,7	290,8	1,6	41,2	2,9	246,2	873,0	—	—	—	431,4	475,1	—	84,0	—	—	Галит, астраханит, гексагидрат
178	0,4	1,3	5,2	564,5	1,0	6,0	2,2	356,0	936,6	4,0	—	—	—	904,8	7,8	—	15,7	27,7	Галит, бишофит, карналлит, эпсомит, гипс
185	0,2	0,9	7,1	563,5	1,0	3,4	2,0	360,8	938,9	4,0	—	—	—	917,0	7,6	—	14,2	10,4	Галит, бишофит, карналлит, эпсомит, гипс
179	—	1,8	7,2	572,9	2,5	6,1	5,5	358,3	954,3	10,2	—	—	—	910,7	—	—	39,1	—	Галит, карналлит, гипс
184	0,1	0,7	6,2	584,8	0,8	5,2	1,9	370,6	970,3	3,3	—	—	—	942,0	11,3	—	13,4	23,7	Галит, бишофит, эпсомит, гипс
180	—	1,1	6,4	577,8	2,2	6,6	4,4	360,8	959,3	9,0	—	—	—	917,1	3,9	—	31,3	27,3	Галит, бишофит, карналлит, гипс, эпсомит
183	—	2,2	5,1	567,6	1,7	13,4	22,0	331,2	943,2	—	—	—	—	841,8	—	—	145,0	—	Галит, карналлит
187	—	1,3	25,1	556,8	3,9	8,3	7,4	349,5	952,3	—	25,7	—	—	877,5	19,2	—	52,6	12,6	Галит, карналлит, глауберит, бишофит
188	—	1,1	330,0	97,9	1,5	8,4	4,4	201,5	644,8	—	10,0	418,6	64,1	141,6	—	—	31,3	—	Тенардит, мирабилит, астраханит, карналлит, глауберит
192	0,1	0,9	254,4	207,4	0,9	66,3	12,6	122,9	665,5	3,7	—	—	77,0	285,4	534,2	—	89,4	—	Эпсомит, галит, карналлит, астраханит
201	—	1,3	364,2	51,3	1,4	96,0	3,3	23,2	540,7	5,7	—	—	—	59,0	891,4	—	23,5	18,8	Эпсомит, гексагидрат, галит, карналлит
205	—	2,7	24,7	524,3	3,4	23,4	5,1	301,9	885,5	13,9	—	—	—	767,4	43,8	—	36,2	128,6	Галит, бишофит, эпсомит, карналлит, гипс

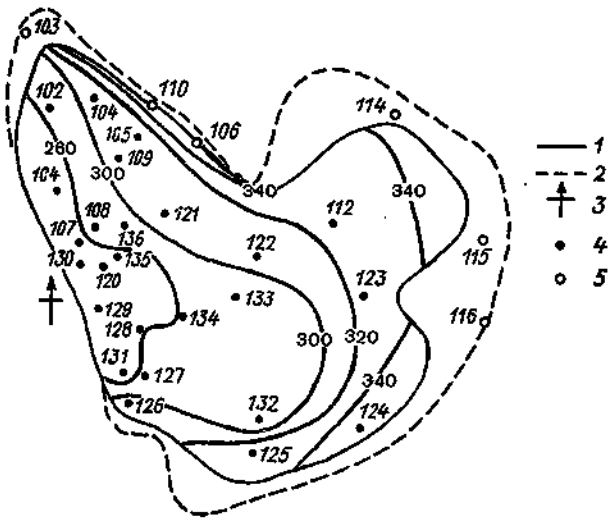


Рис. 7.22. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в сентябре 1987 г.

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

в испарителе при безветрии и относительно замедленном испарении рассолов. Кристаллы каинита почти изометрической формы, часто с большим количеством граней, окрашены в желтоватый цвет. Кристаллизация шенита и сингенита ($K_2SO_4 \times \times CaSO_4 \cdot H_2O$) из карабогазгольских рассолов, наблюдаемая впервые в лабораторных условиях, стала возможной вследствие неравномерного растворения соляной залежи, что привело к изменению соотношения солей в солевом составе поверхностных рассолов: к понижению содержания NaCl и к обогащению рассолов калием и $MgSO_4$. В пробах солей, отобранных на соляной залежи залива, эти минералы не обнаружены. Вероятно, для шенита и сингенита необходимы природные условия, подобные тем, при которых идет образование каинита.

Обработка проб солей показала, что на севере акватории солевые отложения представлены галитом (600 ‰), эпсомитом (290 ‰), карналлитом (50 ‰), бишофитом (40 ‰) и гипсом (10 ‰). В южной части порога новосадка солей состоит в основном из галита (860 ‰) с небольшой примесью бишофита (80 ‰), карналлита (20 ‰) и гипса (10 ‰). Интерес представляет проба 110, отобранная с западной части порога, где соли состоят из галита (280 ‰), глауберита (110 ‰), тенардита Na_2SO_4 (280 ‰), карналлита (60 ‰) и бишофита (30 ‰). Новосадка на восточном побережье акватории состоит из гексагидрата сульфата магния (630 ‰) и галита (250 ‰) с примесью карналлита (40 ‰), бишофита (40 ‰) и гипса (10 ‰). Солевые отложения южной части акватории представлены галитом (360 ‰), эпсомитом (540 ‰), карналлитом (30 ‰), бишофитом (60 ‰) и гипсом (10 ‰) (см. табл. 7.17).

В период с октября 1986 г. по сентябрь 1987 г. объем рассолов увеличился примерно в 2 раза, площадь акватории (без островов) — в 1,5 раза. Общая минерализация рассолов почти не изменилась. Уменьшение вклада NaCl в концентрацию рапы компенсировалось увеличением содержания в ней $MgCl_2$ (см. табл. 7.13).

По результатам обработки материалов съемки в декабре 1987 г. оказалось, что рассолы залива остались дифференцированными по площади. Рапа в зоне смешения не насыщена в отношении хлористого натрия и размывает галитовую залежь. Концентрация рассолов центральной части акватории изменяется от 280 до 290 ‰ (рис. 7.25). Рассолы с минерализацией 300—310 ‰ находятся по периферии акватории. Они были насыщены хлористым натрием, который из них и кристаллизовался. Его содержание в зоне смешения — от 70 до 110 ‰. Наибольшее содержание галита наблюдалось в центральной части акватории (130 ‰). Восточнее центральной зоны содержание NaCl падает ниже 80 ‰. Содержание $MgSO_4$ в центральной зоне акватории 70—80 ‰, а на юге до 90 ‰, на севере и востоке акватории оно уменьшилось до 50 ‰ за счет осаждения эпсомита. В зоне смешения рассолы, наоборот, обогащаются $MgSO_4$ от 40 до 60 ‰. Содержание $MgCl_2$ в рассолах также возрастает от устья пролива на восток, а в зоне смешения колеблется от 55 до 65 ‰. В центре акватории оно составляет от 65 до 90 ‰, а в приурезовой зоне резко возрастает до 170 ‰ на севере и до 130—150 ‰ на востоке. Содержание KCl в зоне смешения почти не меняется в течение всего года — 10—12 ‰. В декабре оно несколько возросло в центральной части акватории — до 15 ‰, в восточной части залива за счет растворения части выпавшего ранее карналлита — увеличилось до 40 ‰ (см. табл. 7.16).

При рассмотрении положения точек состава рассола на диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы при температуре 25 °С видно, что на юге акватории кристаллизуется астраханит, в северной половине акватории и на восточных мелководьях происходит совместное осаждение астраханита с галитом. На мелководьях, над солевым порогом, на северо-востоке и юго-востоке кристаллизуется чистый галит. При понижении температуры рассолов до 0 °С в южной половине акватории осядет мирабилит, в северной — мирабилит с эпсомитом. На кромке чистой рапы и залитых солевых отложениях на севере, северо-востоке и востоке кристаллизуется чистый эпсомит. На соляных полях, залитых тонким слоем рассола, осаждается в основном эпсомит с галитом (рис. 7.26).

Солевые отложения на севере акватории представлены галитом (до 900 ‰) и включают 20 ‰ карналлита и 30 ‰ бишофита. Соли, отложившиеся в районе порога, состоят в основном из галита (920 ‰) и по 10 ‰ карналлита, эпсомита и бишофита. На востоке и юге акватории в солевом комплексе больше астраханита — 500 ‰, галита же всего 300 ‰, 80 ‰ гексагидрата сульфата магния и 120 ‰ мирабилита (см. табл. 7.17).

При взаимодействии рассолов с соляной залежью пока не произошло полного растворения карналлита и перехода в рассол значительного количества KCl, а вместе с ним редких элементов — Rb, Cs, Tl, которые выпали с карналлитом в осадок в результате прекращения доступа морской воды в залив.

Таким образом, в результате возобновления в сентябре 1984 г. притока морской воды в залив и ее взаимодействия с соляной залежью и погребенными эвтоническими рассолами началось восстановление поверхностных рассолов и формирование акватории залива. Рассолы, образующиеся

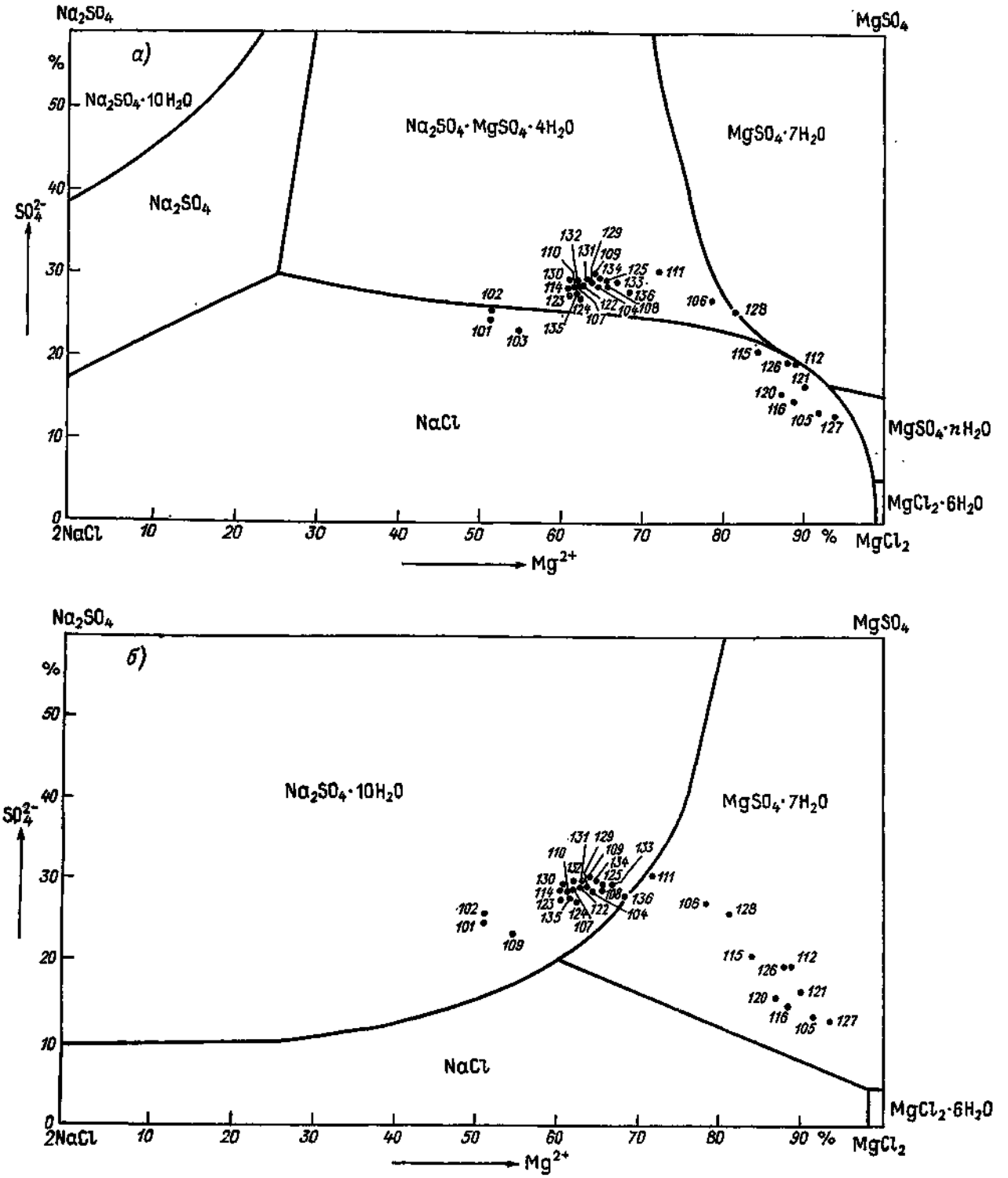


Рис. 7.23. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в сентябре 1987 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

в результате поступления морской воды, накапливаются в юго-западной части залива. Размыв соляной залежи сначала шел быстрее по горизонтали, чем по вертикали, а затем наоборот (в 1987 г.). Площадь акватории к концу 1987 г. почти стабилизировалась и колебалась от 1600 км² в сентябре — октябре до 2600 км² в марте. Максимальная глубина залива возросла до 1,5 м. Поверхностные рассолы северной части акватории в значительной мере образуются за счет гигроскопичности соляной залежи и атмосферных осадков, глубины рассолов здесь 2—5 см, в них преобладают ионы NaCl. Образование таких рассолов характерно для всех соляных озер.

Приток морской воды вызывает в заливе дифференциацию рассолов по концентрации и солевому составу; их изменение прослеживается от устья пролива. В рассолах преобладают ионы калийно-магниевых солей, обладающих высокой степенью растворимости.

Сравнивая же солевой состав рассолов, отобранных в одних и тех же точках акватории залива до

Таблица 7.18

Химический состав осадка в пробах рассолов (‰), отобранных в сентябре 1987 г.

Номер пробы	Ионы								Сумма солей	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (nH_2O)	$Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \times 4H_2O$	NaCl	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$ ($5H_2O$)	$K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \times H_2O$	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \times 6H_2O$	$KCl \cdot MgSO_4 \times 3H_2O$	$KCl \cdot MgCl_2 \times 6H_2O$	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Минералы
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+														
106	—	7,3	349,2	87,2	20,1	53,1	38,9	81,7	637,5	—	—	—	449,5	50,6	—	—	157,0	—	—	10,8	149,9	Шенит, эпсомит, бишофит, галит
109	—	6,8	394,2	11,8	—	73,7	98,1	2,0	586,6	—	—	—	—	5,1	393,1	—	—	505,2	—	—	25,0	Гексагидрат, карналлит, сингенит, бишофит
109/2	—	2,8	384,4	31,4	4,5	100,1	18,1	0,8	542,1	—	—	—	—	2,1	—	869,9	35,2	—	—	68,9	10,7	Гексагидрат, карналлит, галит, сингенит
110	—	1,9	299,3	134,3	2,9	80,4	18,3	65,2	602,3	—	—	—	—	165,8	—	680,6	22,7	—	—	85,8	—	Гексагидрат, галит, бишофит, гипс, карналлит
112	—	2,9	359,6	49,7	3,0	97,5	1,7	17,1	531,5	12,3	—	—	—	43,4	—	839,5	—	—	—	11,9	33,5	Гексагидрат, каинит, карналлит, галит, гипс
114	—	2,2	303,2	131,9	2,3	93,6	68,7	11,7	613,6	9,5	—	—	—	29,7	—	473,9	—	—	256,1	202,2	—	Гексагидрат, каинит, карналлит, галит, гипс
114в	—	7,0	319,1	144,5	12,1	94,0	81,6	10,4	668,7	—	—	—	—	26,5	—	483,9	94,7	—	112,5	293,7	—	Пентагидрат, карналлит, каинит, сингенит, галит
115	—	3,3	312,6	151,7	6,1	93,4	85,3	16,0	668,4	25,0	—	—	—	40,2	—	372,4	—	—	369,0	194,4	—	Гексагидрат, каинит, карналлит, галит, гипс
116	—	1,9	249,6	158,7	6,1	90,6	55,9	12,4	575,2	25,0	—	—	—	31,5	—	520,8	—	—	43,7	348,4	—	Гексагидрат, карналлит, каинит, галит, гипс
123	—	3,8	370,8	39,8	3,2	101,0	2,2	9,2	530,0	—	21,3	—	41,2	—	—	791,1	—	—	—	15,7	96,9	Гексагидрат, астраханит, глауберит, карналлит

Примечание. Номер пробы с дробной чертой означает придонный горизонт.

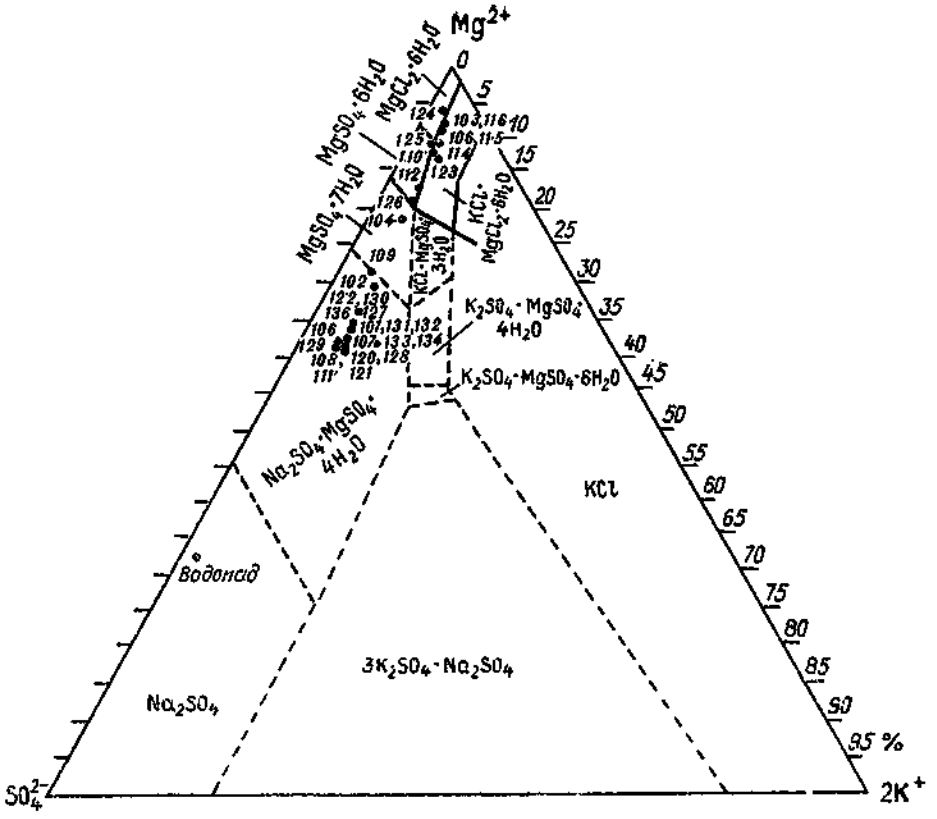


Рис. 7.24. Распределение точек состава рассолов, находящихся вблизи эвтоники (сентябрь 1987 г.), на диаграмме растворимости водно-солевой системы $(Na, K)_2Cl_2 + MgSO_4 \rightleftarrows (Na, K)_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С.

перекрытия пролива и после возобновления стока морской воды в залив, можно отметить, что он почти восстановился (табл. 7.19). В конце испарительного сезона (сентябрь) 1987 г. в поверхностных рассолах залива содержалось около 430 млн т солей, что в 14 раз меньше, чем до перекрытия пролива. В 1986—1987 гг. в холодное время в связи с разбавлением рассола и небольшой зависимостью растворимости NaCl от температуры происходило в основном растворение NaCl (см. табл. 7.13). Содержание $MgSO_4$ в холодное время года уменьшается примерно на 20 ‰ по сравнению с концом испарительного сезона, а $MgCl_2$ — на 40—100 ‰. Концентрация KCl в рассолах остается относительно постоянной (около 13 ‰), изменяясь в некоторых случаях в пределах 0—26 ‰. Общая минерализация рассолов изменяется от 260 ‰ весной до 290 ‰ осенью.

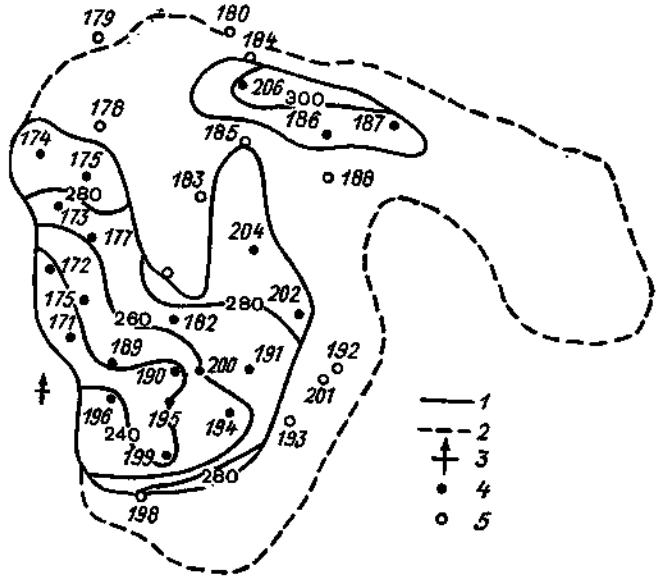


Рис. 7.25. Схема отбора проб и распределение концентрации рассолов (‰) в заливе в декабре 1987 г.

Условные обозначения см. на рис. 7.5.

Таблица 7.19

Химический состав поверхностных рассолов залива, ‰

Район отбора проб	Глубина, м	Плотность, г/см³	Гипотетические соли					Сумма солей
			$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	KCl	NaCl	
До перекрытия пролива								
Зона смешения	0,25	1,109	2,2	43,3	34,9	4,9	83,3	168,6
	1,20	1,128	2,7	43,8	34,8	5,0	84,4	170,0
	1,00	1,230	1,5	74,6	67,9	6,6	91,8	242,4
	1,80	1,249	2,6	76,0	73,4	7,4	102,4	260,8
Центральная зона	0,25	1,240	1,2	76,0	64,3	8,3	163,4	285,2
	0,25	1,250	1,2	75,5	75,9	9,9	124,2	287,1
	3,10	1,257	1,3	75,1	82,2	10,3	137,0	305,9
После возобновления подачи морской воды								
Зона смешения	0,25	1,156	3,1	44,0	57,6	9,9	76,5	191,3
	0,25	1,166	3,9	45,5	62,7	10,8	78,5	201,9
	0,25	1,211	4,0	60,8	74,0	13,5	102,9	255,2
	1,20	1,214	4,3	61,0	72,1	13,0	109,3	259,7
Зона концентрированных рассолов	0,25	1,256	4,0	71,6	76,4	14,1	127,8	293,9
	0,25	1,240	2,6	49,5	91,6	9,5	146,1	293,3
	0,25	1,260	3,9	53,2	166,4	31,8	44,3	293,3

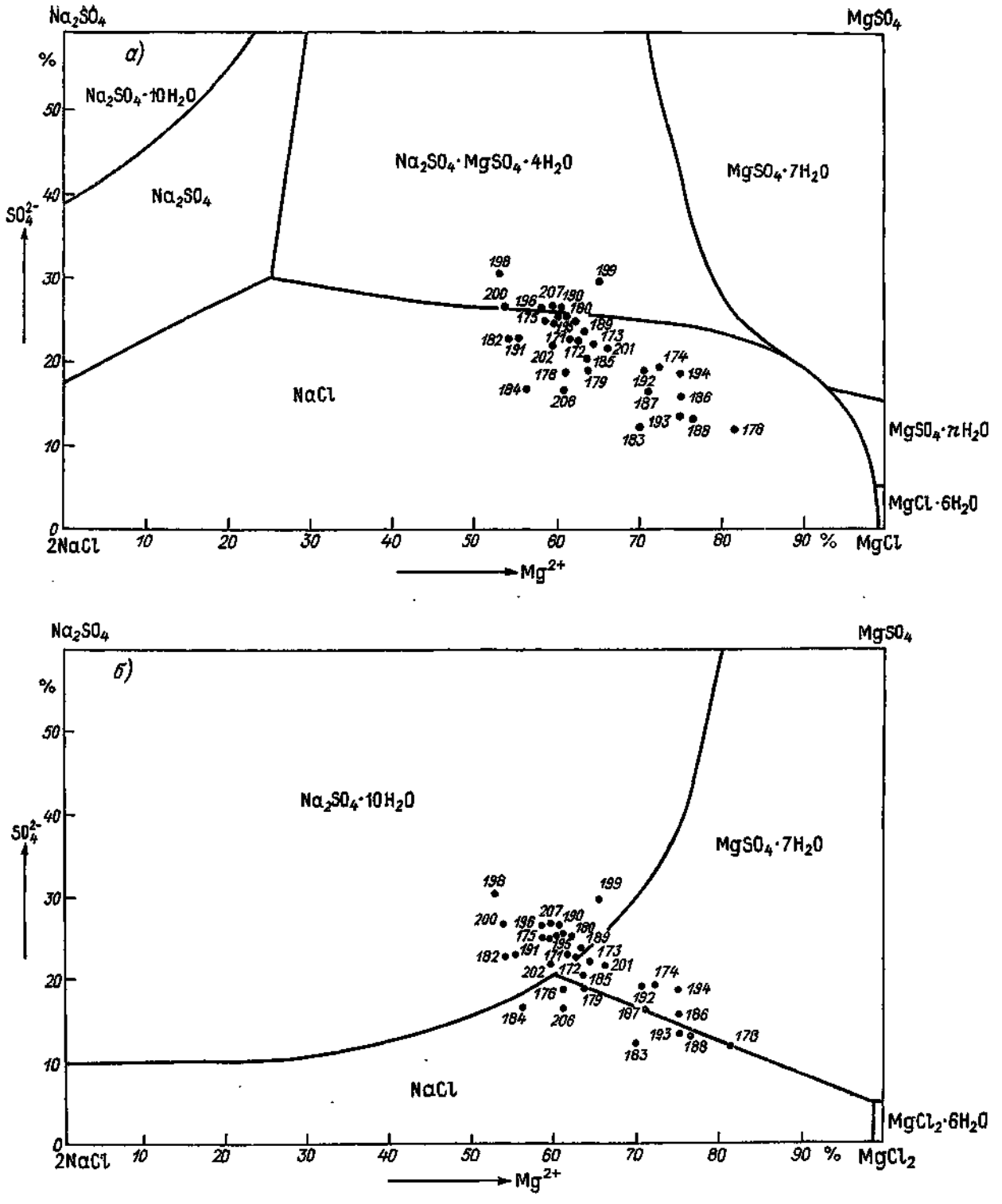


Рис. 7.26. Распределение точек состава рассолов, отобранных в заливе в декабре 1987 г., на диаграмме растворимости водно-солевой системы $2NaCl + MgSO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + MgCl_2$ при температуре 25 °С (*а*) и 0 °С (*б*).

При рассмотрении процессов некомпенсированных потерь и получения рассолов тех или иных солей, т. е. их осаждения или растворения, по сезонам (за период 1986—1987 гг.) и расположению районов протекания этих процессов по акватории залива можно отметить следующее. Хлористый натрий весной и осенью осаждался на севере и юго-востоке акватории, растворялся в апреле и октябре на востоке бассейна, а осенью еще и в центре. Серно-кислый магний кристаллизовался в центре акватории, в апреле осаждался также на севере и юго-востоке. Он растворялся в сентябре — октябре на севере и юго-востоке, в апреле — на востоке и юго-востоке. Хлорид магния выпадал в осадок и весной, и осенью в центре акватории и на мелководьях юга и юго-востока, растворялся в основном на севере и востоке акватории. Хлористый калий растворялся в относительно глубоководной части акватории залива в центре и ближе к северу и осаждался весной на мелководьях на севере акватории, а осенью — на юге.

Для рассолов в приглубой части акватории стало характерным расположение точек состава рассола на диаграмме ратворимости четверной вод-

но-солевой системы при температуре 25 °С как весной, так и осенью в области астраханита, на мелководье — на линии совместной кристаллизации астраханита с галитом, т. е. там же, где и до перекрытия пролива. При понижении температуры до 0 °С из рассолов и весной, и осенью будет осаждаться мирабилит, на мелководье — с эпсомитом — явление, аналогичное происходившему до перекрытия пролива.

Таким образом, можно говорить о частичной стабилизации в 1986—1987 гг. состава рассолов, исходя из относительного постоянства содержания KCl в рапе, одинакового изменения общей минерализации от весны к осени и расположения фигуративных точек состава рассолов на диаграмме растворимости четверной водно-солевой системы. По остальным основным компонентам, особенно по $MgCl_2$, выводы о стабилизации концентрации их в рапе и постоянстве межсезонных изменений делать было бы, вероятно, преждевременно.

Заключение к гл. 7

До конца 1930-х годов в зал. Кара-Богаз-Гол происходило естественное концентрирование его рассолов, связанное с уменьшением притока морских вод в залив. Повышение концентрации рассолов до 280‰ привело к осаждению части солей и формированию верхнего соляного пласта, состоящего из галита, астраханита и небольшого количества гипса. К концу 70-х годов в условиях недостаточного водного питания площадь залива сократилась до 10—11 тыс. км², объем поверхностной рапы — до 20—25 км³, а концентрация солей стабилизировалась в пределах 275—300‰.

После перекрытия в марте 1980 г. прол. Кара-Богаз-Гол и прекращения притока морских вод, поверхностные рассолы залива достаточно быстро (за 4,5 года) высохли, содержащиеся в них соли в основном выпали в осадок, а часть растворенных солей, включая наиболее ценные калийно-магниевые, значительно уменьшилась в межкристалльном эвтоническом рассоле верхнего соляного пласта. Залив находился на стадии превращения его в сухое соляное озеро. Возобновление в сентябре 1984 г. ограниченного притока морской воды в залив позволило восстановить небольшую часть его бывшей акватории и сохранить в минимальных объемах поверхностную рапу, при этом в нее перешла часть погребенных межкристалльных рассолов поверхностного соляного пласта. В 1986—1987 гг. произошла стабилизация режима восстановленного водоема с концентрациями рассолов 260—290‰ и частичная стабилизация их солевого состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая монография подводит итоги многолетних исследований гидрохимических условий Каспийского моря.

С начала 60-х годов текущего столетия антропогенное воздействие на естественные природные условия Каспийского моря и его бассейна стало резко увеличиваться все возрастающими темпами. Расширение площадей орошаемых земель и связанное с ним уменьшение притока речных вод к морю, создание каскада водохранилищ на Волге и других реках, питающих Каспийское море, интенсификация химизации сельского хозяйства, ухудшение качества речных вод привели ко многим негативным изменениям экологических условий региона.

Характерные изменения гидрохимических условий Каспийского моря, происходящие под совокупным влиянием естественных и антропогенных факторов, проявляющиеся в отдельных регионах моря в разной степени, могут быть сформулированы следующим образом:

— увеличение солености воды Северного Каспия под влиянием безвозвратных водозаборов из Волги;

— ухудшение газового режима из-за изменений вертикальной структуры вод и роста концентраций ОВ;

— изменение внешних и внутренних балансов биогенных веществ под влиянием такого фактора, как уменьшение притока минеральных и увеличение притока органических форм биогенных веществ;

— тенденция к изменению солевого состава вод Северного Каспия в связи с антропогенным изменением солевого состава Волги, Урала и существенным ростом в них минерализации;

— ухудшение качественного состава морских вод под влиянием химических загрязнений.

Исследование солевого состава вод Северного Каспия, которое проводилось в 80-е годы, позволило получить новые уравнения связи между компонентами солевого состава и минерализацией морских вод.

В рамках решения проблемы сохранения оптимальных качеств воды изучение физико-химических свойств вод Каспийского моря не теряет своей актуальности. Перед исследователями в этом направлении ставится ряд задач, главными из которых оказываются следующие:

— необходимость организации целенаправленных и регулярных наблюдений за солевым составом вод открытой части Каспийского моря и его более мелководных районов, подверженных антропогенному воздействию, с учетом того, что процессы метаморфизации имеют значительную инерционность;

— организация исследований состояния карбонатно-кальциевой системы вод Каспийского моря и наиболее динамичных районов (в частности, устьевых взморий) с учетом физических и химических факторов взаимодействия вод, определяющих данную систему; при этом следует помнить, что с середины 70-х годов в открытых районах Среднего и Южного Каспия полностью было прекращено изучение щелочности, одного из наиболее важных компонентов карбонатно-кальциевой системы вод;

— исследование основных параметров солевого баланса моря с учетом солеобмена на границе сред (с атмосферой и донными отложениями).

В 60-е годы в ГОИНе была создана довольно удачная модель короткопериодных изменений эле-

ментов газового режима морской среды, с помощью которой можно объяснить целый ряд его особенностей и дать объективную оценку первичной продукции морских водоемов с помощью химических методов. К сожалению, в настоящее время эти работы не получили достаточного развития на Каспийском море, где начиная с 70-х годов были прекращены наблюдения за короткопериодной изменчивостью гидрохимических компонентов.

В период активного антропогенного воздействия в значительной мере качество вод и санитарное состояние морской среды характеризуются показателями газового режима. В настоящее время на основании обобщения многолетних данных получены результаты, довольно наглядно свидетельствующие о тенденциях в изменении элементов газового режима в Каспийском море. В водах Северного Каспия наметилась тенденция к снижению содержания кислорода в летнее время, что, по-видимому, объясняется участившимися явлениями дефицита кислорода в этой части моря.

В процессе дальнейшего изучения гидрохимии Каспийского моря необходимо направить усилия исследователей также на создание моделей его газового режима, которые бы позволили дать надежный прогноз состояния газовой системы на ближайшую и отдаленную перспективу. Создание подобного рода модели позволит в свою очередь разработать методологию выделения антропогенной составляющей в изменчивости газового режима вод Каспийского моря.

Дальнейшей детализации требуют также исследования изменений вертикальной газовой структуры вод Среднего и Южного Каспия, происходящих под влиянием колебаний речного стока и уровня моря.

Основными поставщиками биогенных веществ в Каспийское море являются реки. Зарегулирование стока основных водных артерий, питающих Каспийское море, создание на реках каскада водохранилищ вызвали существенную трансформацию биогенного речного стока. Как правило, это проявилось в снижении стока минеральных форм и увеличении содержания ОВ, что в значительной мере отразилось на режиме биогенных веществ в водах Северного Каспия.

При составлении баланса биогенных веществ Каспийского моря было проведено исследование техногенного геохимического давления, характеризующего количество биогенных элементов, выводящееся из техногенных потоков в природные. Результаты этого исследования показали, что влияние антропогенного эвтрофирования в бассейне Каспийского моря начало прослеживаться с конца 60-х годов.

При изучении и уточнении отдельных составляющих баланса биогенных веществ необходимо иметь в виду, что трансформация химических основ биопродуктивности морей, происходящая, например, в результате процессов, связанных с эвтрофированием водоемов, лишь частично может прослеживаться при составлении внешних годовых балансов консервативных биогенных параметров (валовый азот и фосфор, растворенный кремний). В значительной степени химическая основа продуктивности определяется внутренним балансом неконсервативных биогенных параметров, определяемых в различных временных масштабах. Помимо поступления биогенных веществ извне, имеется их внутренний кругооборот, отображающий их динамику в море, который зависит от скорости ассимиляции биогенных веществ фитопланктоном и темпов их осаждения и минерализации при отмирании и разложении живых организмов, а также от интенсивности их возвращения из донных отложений в водную толщу.

Дальнейшие исследования химических основ биологической продуктивности вод Каспийского моря должны особенно интенсивно развиваться в направлении изучения процессов, формирующих режим биогенных веществ в морской среде. При этом необходима организация в Каспийском море целенаправленных наблюдений, которые бы позволили проводить дифференцированное изучение всех параметров внешнего и внутреннего баланса биогенных веществ с учетом всех их форм, присутствующих в морской среде, а также создать модели, обеспечивающие получение надежных прогнозных характеристик для Каспийского моря.

По мнению С. В. Бруевича, только посредством изучения химического баланса водоема можно количественно оценить и антропогенное воздействие, которое нарушает природную биогеохимическую сбалансированность водоема, и прежде всего проявляется в нарушении сбалансированности продукционно-деструкционных процессов ОВ.

Органический углерод является самым технофильным элементом и изучение биогеохимического круговорота углерода и сопутствующих жизненно важных элементов, в первую очередь азота и фосфора, дает ключ к пониманию функционирования экосистемы и ее нарушений под влиянием антропогенных воздействий.

К настоящему времени в Каспийском море совершенно не исследованы (имеются лишь отдельные данные) режим ОВ, его содержание, элементарный (C, N, P) и групповой (белки, углеводы, липиды) составы. Практически неизученными остаются и продукционно-деструкционные процессы ОВ — первичный синтез и деструкция органической материи.

Баланс ОВ, рассчитанный для Каспийского моря, носит ориентировочный характер, но все же позволяет сделать приближенную количественную оценку приходо-расходных составляющих баланса и направленности миграционных процессов.

Необходимо провести целенаправленные работы по уточнению баланса ОВ Каспийского моря, изучение его круговорота, а также сезонной и многолетней изменчивости. Такие работы следует проводить не только для моря в целом, но и отдельно, с учетом специфики районов — для Северного, Среднего и Южного Каспия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К Ч. I

1. Абрамов Б. Н. Многолетние колебания кислорода и биогенных элементов в воде Среднего и Южного Каспия//Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38, вып. 1. — С. 117—133.
2. Алекин О. А. Гидрохимическая классификация рек СССР//Труды ГОИН. — 1948. — Вып. 4(58). — С. 209—224.
3. Алекин О. А. Общая гидрохимия. — Л.: Гидрометеоиздат, 1948. — 442 с.
4. Алекин О. А. Химия океана. — Л.: Гидрометеоиздат, 1966. — 248 с.
5. 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.
6. Архипова Е. Г., Скриптунов Н. А., Потайчук М. С. Современный водный баланс Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1970. — Вып. 101. — С. 34—73.
7. Байдин С. С. Сток и уровни дельты Волги. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1962. — 337 с.
8. Байдин С. С., Линберг Ф. М., Самойлов И. В. Гидрология дельты Волги. — Л.: Гидрометеоиздат, 1956. — 327 с.
9. Баланс биогенных элементов внутриматериковых морей СССР/М. П. Максимова, А. М. Бронфман, Д. Н. Катунин и др.//Водные ресурсы. — 1979. — Вып. 1. — С. 23—34.
10. Барсукова Л. А. Волжский биогенный сток в Каспийское море до гидростроительства//Труды КаспНИРО.— 1957. — Вып. 13. — С. 253—373.
11. Барсукова Л. А. Биогенный сток реки Волги (у г. Астрахани)//Химические процессы в морях и океанах. — М., 1966. — С. 138—144.
12. Барсукова Л. А. Многолетний биогенный сток р. Волги у г. Астрахани//Труды КаспНИРХ. — 1971. — Т. 26. — С. 42—53.
13. Беляев И. П. Гидрология дельты Терека. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1963. — С. 207.
14. Бикбулатов Э. С. Функциональные связи между общими характеристиками органического вещества природных вод//Водные ресурсы. — 1981. — № 1. — С. 164—182.
15. Бирштейн Я. А., Спасский Н. Н. Донная фауна Каспийского моря до и после вселения *Nereis succinea*// Материалы к познанию фауны и флоры. Нов. сер. Зоология. — 1952. — Вып. 33(48). — С. 36—114.
16. Блинов Л. К. О поступлении морских солей в атмосферу и о значении ветра в солевом балансе Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1950. — Вып. 15(27). — С. 67—112.
17. Блинов Л. К. Некоторые задачи гидрохимии морских устьевых областей//Труды ГОИН. — Вып. 52. — 1960. — С. 5—26.
18. Блинов Л. К. Физико-химические свойства вод Каспийского моря и их сравнительная характеристика//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 68. — С. 7—28.
19. Блинов Л. К. Солевой состав морской воды и льда// Труды ГОИН. — 1965. — Вып. 83. — С. 5—55.
20. Бордовский О. К. Органическое вещество современных осадков Каспийского моря//Океанология. — 1969. — Т. 9, вып. 6. — С. 996—1006.
21. Бруевич С. В. Гидрохимический облик Южного Каспия//Изв. Гос. геогр. о-ва АН СССР. — 1936. — Т. 68, вып. 1. — С. 1—34.
22. Бруевич С. В. Гидрохимия Среднего и Южного Каспия//Труды по комплексному изучению Каспийского моря. — 1937. — Вып. 4. — 350 с.
23. Бруевич С. В. Вычисление солености воды Каспийского моря//Метеорология и гидрология. — 1938. — № 11—12. — С. 132—133.
24. Бруевич С. В. О балансе биогенных элементов в Каспийском море//Труды по комплексному изучению Каспийского моря. — 1941. — Вып. 14. — С. 66—75.
25. Бруевич С. В. Химия волжского стока в Каспийское море//Гидрохимические материалы. — 1949. — Т. 16. — С. 72—87.
26. Бруевич С. В., Аничкова Н. И. Химия речного стока в Каспийское море//Труды по комплексному изучению Каспийского моря. — 1941. — Вып. 14. — С. 9—49.
27. Бруевич С. В., Виноградова Е. Т. Биогенные элементы в грунтовых растворах Северного, Среднего и Южного Каспия//Докл. АН СССР.— 1946.— Т. 54, № 5.— С. 423—426.
28. Бруевич С. В., Гудков М. П. Атмосферная пыль над Каспийским морем//Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1954. — № 4. — С. 18—28.
29. Валлер Ф. И., Егоров И. Г. О преобладающем переносе вод Северного Каспия в навигационный и ледовый периоды//Сб. работ Астраханской ЗГМО. — 1980. — Вып. 2. — С. 73—92.
30. Валяшко М. Г. Закономерность формирования месторождений солей. — М.: Изд. МГУ, 1962. — 398 с.
31. Веселова Л. Е., Цуриков В. Л. Плотность льдов Каспийского моря//Труды ЗакНИГМИ. — 1977. — Вып. 70(76). — С. 65—82.
32. Винецкая Н. И. Влияние гидростроительства на биогенный сток Волги и гидрохимический режим Северного Каспия//Труды КаспНИРО. — 1952. — Т. 12. — С. 251—258.
33. Винецкая Н. И. Многолетние и сезонные изменения гидрохимического режима Северного Каспия до зарегулирования стока Волги//Труды КаспНИРО. — 1962. — Т. 18. — С. 4—90.
34. Винецкая Н. И. Зависимость уловов промысловых рыб и замедленного роста воблы от биогенного стока Волги и величины первичной продукции Северного Каспия//Труды ВНИРО. — 1966. — Т. 60. — С. 103—114.
35. Винецкая Н. И. Гидрохимический режим Северного Каспия после зарегулирования стока р. Волги//Труды КаспНИРХ. — 1968. — Т. 24. — С. 78—99.
36. Волга и ее жизнь. — Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1978. — 350 с.
37. Гидрология устьевых областей рек Терека и Сулака/ С. С. Байдин, Н. А. Скриптунов, Б. С. Штейман, Г. Н. Ган//Труды ГОИН. — 1971. — Вып. 109. — 198 с.
38. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Каспийское море. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 268 с.
39. Глазовский Н. Ф. Водный и ионный подземный сток в Аральское, Каспийское и Черное моря//Докл. АН СССР. — 1976. — Т. 227, № 4. — С. 961—964.
40. Горбунов К. В. Влияние зарегулирования стока Волги на биологические процессы в ее дельте и биоток. — М.: Наука, 1976. — 218 с.
41. Горшкова Т. И. Исследование органического вещества осадков ильменей р. Волги и северной части Каспийского моря//Докл. ВНИРО по биологии, систематике и питанию рыб, по химии и сетеконсервированию, Вып. 1. — М., 1952. — С. 143—146.
42. Горшкова Т. И. Карбонаты и органическое вещество в осадках Среднего и Южного Каспия//Труды ВНИРО.— 1959. — Т. 38. — С. 142—151.
43. Гудков М. П. О состоянии и результатах работ лаборатории геологии моря: Научный отчет/ВНИРО. — М., 1951. — 16 с.
44. Гудков М. П., Горшкова Т. И. Изменение содержания органического вещества в осадках Северного Каспия в связи с падением его уровня//Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38. — С. 78—105.
45. Гюль К. К., Ганиев Н. А. Некоторые данные по солености и плотности льда Каспийского моря//Исследование льдов южных морей СССР. — М., 1973. — С. 29—30.
46. Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. — М.: Изд. АН СССР, 1959. — 270 с.
47. Дзепс-Литовский А. И.Кара-Богаз-Гол. — Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1967. — 92 с.
48. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. — М.: Изд. МГУ, 1982. — 191 с.
49. Друмева Л. Б. Определение хлорности по электропроводимости в водах Белого моря и Северного Каспия//Труды ГОИН. — 1982. — Вып. 161. — С. 18—20.
50. Друмева Л. Б. О современном солевом составе вод Белого и Каспийского моря/Госкомгидромет СССР. Гос. океаногр. ин-т. — М., 1982. — 12 с. — Деп. в ИЦ ВНИИГМИ—МЦД 20.12.82, № 167 гм-Д82.
51. Друмева Л. Б. Определение солености электрометрическим методом//Наставление гидрометстанциям и постам. — М., 1984. — Вып. 7, ч. I. — С. 112—113.
52. Друмева Л. Б. Определение электропроводимости и расчет солености распресненных вод//Методические указания по химическому анализу распресненных вод морских и устьевых областей рек и эпиконтинентальных морей. — 1984. — № 46. — С. 6—14.

53. Друмева Л. Б. Об определении и расчете солености морских вод//Водные ресурсы. — 1986. — № 2. — С. 72—76.
54. Друмева Л. Б. Солевой баланс Каспийского моря// Труды ГОИН. — 1986. — Вып. 177. — С. 127—130.
55. Друмева Л. Б., Михайлова Н. А. Влияние стока реки Урал на солевой состав вод Северного Каспия//Труды ГОИН. — 1986. — Вып. 179. — С. 116—120.
56. Затучная Б. М. Биогенные вещества в волжском стоке и в водах Северного Каспия//Труды ГОИН. — 1970. — Вып. 101. — С. 111—119.
57. Затучная Б. М. Особенности солевого состава вод Северной части Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1970. — Вып. 101. — С. 74—79.
58. Зенин А. А. Режим главнейших ионов в воде р. Волги до ее зарегулирования 1954-55 гг.//Гидрохимические материалы. — 1961. — Т. 31. — С. 43—67.
59. Зенин А. А. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 260 с.
60. Зенин А. А., Проценко А. В. Сток растворенных веществ р. Волги в Каспийское море//Гидрохимические материалы. — 1961. — Т. 34. — С. 60—66.
61. Зубов Н. Н. Льды Арктики. — М.: Изд-во Главсевморпуть, 1944. — 360 с.
62. Иванова Л. С. О подземной составляющей водного и солевого баланса Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 66. — С. 94—102.
63. Иванов К. И. Основные черты гидрохимического режима предустьевого пространства р. Волги и северной части Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1948. — Вып. 4(16). — С. 70—129.
64. Иванов К. И. Расчет изменения солености Каспийского моря в связи с изъятием части речного стока//Труды ГОИН. — 1955. — Вып. 020. — С. 276—336.
65. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. — М.: Наука, 1986. — 260 с.
66. Каспийское море/Под ред. А. Д. Добровольского и др. — М.: Изд-во МГУ, 1969. — 263 с.
67. Катунин Д. Н. Заливание волжской дельты в условиях работы Волго-Камского каскада гидроэлектростанций//Труды КаспНИРХ. — 1971. — Т. 26. — С. 35—41.
68. Катунин Д. Н. Формирование режима солености вод Северного Каспия в современных условиях и его возможные изменения в перспективе. — Автореф. дис. ..., канд. геогр. наук. — Краснодар: Кубанский ун-т, 1975. — 24 с.
69. Катунин Д. Н., Косарев А. Н. Соленость и биогенные вещества в Северном Каспии//Водные ресурсы. — 1981. — № 1. — С. 77—88.
70. Кленова М. В. и др. Современные осадки Каспийского моря. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 302 с.
71. Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Каспийском море в 1914—1915 гг.//Труды Каспийской экспедиции 1914—1915 гг. — 1921. — Т. 1, Пб. — 943 с.
72. Колосов А. С., Пустыльников А. М., Федин В. П. Современное глауберитообразование в Кара-Богаз-Голе и условия глауберитоносных отложений// Докл. АН СССР. — 1974. — Т. 219, № 6. — С. 1457—1461.
73. Кореновская И. М., Тарасов М. Н. К вопросу о формировании ионного состава и минерализации льда пресных вод при различных условиях//Гидрохимические материалы. — 1969. — Т. 47. — С. 77—86.
74. Косарев А. Н. Особенности зимней вертикальной циркуляции в Каспийском море//Вопр. географии. — 1963. — № 62. — С. 118—125.
75. Косарев А. Н. Колебания современного гидрохимического режима Каспийского моря//Биологическая продуктивность Каспийского моря. — М., 1974. — С. 39—53.
76. Косарев А. Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. — М.: Изд-во АН СССР, 1975. — С. 165—170.
77. Краснова В. С. Химический состав льда Каспийского моря//Журн. аналитической химии. — 1937. — Т. 7, вып. 12. — С. 1747—1748.
78. Кузьмичева В. И., Бондаренко А. И. Первичная продукция планктона Среднего Каспия//Труды ВНИРО.— 1975. — Т. 67. — С. 37—42.
79. Курнаков Н. С. Метаморфизация рассолов крымских соленых озер//Зап. Всерос. минералог. о-ва. — 1896. — Сер. II, т. 34. — С. 67—83.
80. Лебединцев А. А. Некоторые данные по химии Каспийского моря//Зап. по гидрографии.— 1901. — Вып. 23.— С. 256—307.
81. Левшакова В. Д. Некоторые экологические особенности фитопланктона Северного Каспия//Труды КаспНИРХ. — 1971. — Т. 26. — С. 67—82.
82. Левшакова В. Д., Санина Л. В. Летний фитопланктон Среднего Каспия до и после вселения ризосолении//Труды ВНИРО. — 1973. — Т. 90, вып. 3. — С. 18—27.
83. Лукьянова Л. В. О физико-химических свойствах льда Каспийского моря//Изв. АН АзССР. Сер. геогр. — № 3. — С. 137—146.
84. Лукьянова Л. В. Соленость и плотность каспийских льдов//Труды Азерб. геогр. о-ва.— 1966.— Т. 3.— С. 207—213.
85. Максимова М. П. Критерии оценки степени обеспеченности фитопланктона питательными солями//Труды ВНИРО. — 1977. — Т. 19. — С. 6—16.
86. Максимова М. П. Критерии антропогенного эвтрофирования речного стока и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек//Водные ресурсы.— 1979.— Вып. 1. — С. 35—40.
87. Максимова М. П., Катунин Д. Н. К вопросу о проблеме повышения продуктивности Северного Каспия методом внесения удобрений//Рыбное хозяйство. — 1981. — № 8. — С. 37—38.
88. Максимова М. П., Катунин Д. Н., Елецкий Б. Д. Баланс биогенных элементов Каспийского моря в период зарегулирования речного стока//Океанология. — 1978. — Т. 18, вып. 3. — С. 454—458.
89. Максимова М. П., Метревели М. П., Елецкий Б. Д. Органическое вещество — фактор биопродуктивности в дельте и авандельте Волги/Минрыбхоз СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т рыбного хоз-ва и океанографии. — М., 1984. — 127 с. — Деп. в ЦНИИТЭИРХ, № 676 рх-Д84.
90. Методы анализа рассолов и солей/Под ред. Ю. В. Морачевского и Е. М. Петровой. — М.; Л.: Химия, 1964. — 404 с.
91. Москаленко А. В. Сток взвешенных наносов в дельте Волги и его изменения в связи с зарегулированием водного стока//Материалы Всесоюзной науч. конф. по проблемам комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна Волги. — Пермь, 1975. — Вып. 1. — С. 185—187.
92. Мусина А. А., Микей Н. Н. Хлорный коэффициент для воды Каспийского моря//Труды НИУ Гидрометслужбы. — 1941. — Сер. 5, вып. 2. — С. 12—18.
93. О введении Шкалы практической солености, 1978 и нового Международного уравнения состояния морской воды, 1980//Океанология. — 1982. — Т. 22, вып. 2. — С. 367—372.
94. Океанологические таблицы для Каспийского, Аральского и Азовского морей. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1964. — 137 с.
95 Океанологические таблицы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1975. — 478 с.
96. Орадовский С. Г., Филонов А. Е. Некоторые данные по химии льдов и приледных вод Северного Каспия//Труды ВНИРО. — 1972. — Т. 25, вып. 1. — С. 74—79.
97. Пахомова А. С. К химическому составу взвешенных веществ и донных отложений дельты Волги и северной части Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1959. — Вып. 45. — С. 117—143.
98. Пахомова А. С. Влияние стока Куры на гидрохимический режим предустьевого пространства в западной части Южного Каспия//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 68. — С. 29—49.
99. Пахомова А. С. О солевом составе вод Среднего и Южного Каспия//Труды ГОИН. — 1963. — Вып. 72. — С. 81—93.
100. Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря. — Л.: Гидрометеоиздат, 1966. — 342 с.
101. Перспективы использования солевых богатств Кара-Богаз-Гола/И. Н. Лепешков, Д. В. Буйневич, Н. А. Буйневич, Г. С. Седельников. — М.: Наука, 1981. — 276 с.
102. Пирогова М. В. О химическом обмене между дном и водным слоем Черного моря//Гидрохимические материалы. — 1953. — Т. 21. — С. 10—18.
103. Попова З. А., Попов К. И. Природные факторы в борьбе с загрязнением воздуха//Опыт и методы экологического мониторинга. — Пущино, 1978. — С. 78—82.
104. Прошкина-Лавренко А. Н., Макарова И. В. Водоросли планктона Каспийского моря. — Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1968. — 291 с.
105. Раткович Д. Я. Проблема Каспийского моря//Водные ресурсы. — 1980. — № 5. — С. 5—20.
106. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973. — Т. 6. — 477 с.

107. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973. — Т. 9. — 300 с.
108. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973. — Т. 12. — 411 с.
109. Романенко В. И. Численность и продукция бактерий в водохранилищах Волги//Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. — М., 1976. — С. 61—67.
110. Россолимо Л. Л. Изменение лимнологических экосистем под воздействием антропогенного фактора. — М.: Наука, 1977. — 248 с.
111. Рубинчик Е. Е. Сезонное распределение растворенного кислорода в южной части Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 68. — С. 60—78.
112. Руководство по методам химического анализа морских вод. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 170 с.
113. Руководство по морским гидрохимическим исследованиям. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1959. — 255 с.
114. Семенов Ю. Л. О содержании некоторых химических компонентов в поверхностном микрослое воды Южного Каспия//Водные ресурсы. — 1982. — № 4. — С. 166—171.
115. Симонов А. И. Основные факторы формирования суточного режима кислорода поверхностных слоев прибрежных вод//Труды ГОИН. — 1965. — Вып. 83. — С. 56—71.
116. Симонов А. И. Гидрология и гидрохимия устьевого взморья. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1969. — 230 с.
117. Симонов А. И., Гоптарев Н. П. Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1972. — 234 с.
118. Симонов А. И., Родионов Н. А., Затучная Б. М. Расчет будущей солености Азовского моря и Северного Каспия//Метеорология и гидрология. — 1966. — № 4. — С. 19—25.
119. Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах//Труды ГОИН. — 1950. — Вып. 17(22). — 289 с.
120. Скриптунов Н. А. Гидрология предустьевого взморья Волги. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1958. — 144 с.
121. Скриптунов Н. А. Изменение солености воды юго-западной части Северного Каспия//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 66. — С. 80—95.
122. Скриптунов Н. А. Течения в западной части Северного Каспия//Труды ГОИН. — 1974. — Вып. 118. — С. 83—101.
123. Скриптунов Н. А. Схемы течений Северного Каспия// Труды ГОИН. — 1984. — Вып. 172. — С. 32—47.
124. Сопач Э. Д. Электропроводность как метод определения солености морских вод. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1958. — 139 с.
125. Таблицы пересчета относительной электропроводности в соленость для вод Каспийского, Азовского и Аральского морей. — М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1984. — 41 с.
126. Тленбеков О. К. Распределение стока воды по водостокам и будущее дельты Урала//Труды ГОИН. — 1967. — Вып. 89. — С. 125—130.
127. Трансформация соединений биогенных элементов материкового стока в дельте Волги и устьевом взморье/ М. П. Максимова, Б. Д. Елецкий, М. П. Метревели, А. А. Большов; Минрыбхоз СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т рыбного хоз-ва и океанографии. — М., 1984. — 86 с. Деп. в ЦНИИТЭИРХ, № 57 рх-Д84.
128. Трофимов А. В. Соотношение между хлором и удельным весом воды Каспийского моря//Метеорология и гидрология. — 1939. — № 6. — С. 51—66.
129. Уразов Г. Г., Седельников Г. С. Гидрохимический режим залива Кара-Богаз-Гол и перспективы его промышленного использования//Труды Океанографической комиссии. — 1959. — Т. 5. — С. 328—333.
130. Федосов М. В. Методика изучения обогащения биогенными элементами наддонной воды//Докл. ВНИРО по логии, систематике и питанию рыб, по химии моря и сетеконсервированию. — 1952. — Вып. 1. — С. 127—152.
131. Федосов М. В., Барсукова Л. А. Газовый режим водных масс Северного Каспия//Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38. — С. 78—87.
132. Харвей Р. Современные успехи химии в биологии моря. — М.: Изд-во иностр. лит., 1948. — 224 с.
133. Хорн Р. Морская химия. — М.: Мир, 1972. — 398 с.
134. Хрусталев Ю. П. Влияние геологических процессов на изменение глубин и морфологии дна Северного Каспия//Водные ресурсы. — 1976. — № 1. — С. 129—133.
135. Цуриков В. Л. Жидкая фаза в морских льдах. — М.: Наука, 1976. — 210 с.
136. Цурикова А. П. Карбонатно-кальциевое равновесие и углекислота в Азовском море//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 68. — С. 118—136.
137. Цурикова А. П., Цуриков В. Л. О понятии «соленость»//Океанология. — 1971. — Т. 11, вып. 2. — С. 339—342.
138. Цыцарин А. Г. Солевой и биогенный баланс льда на взморье р. Волги/Госкомгидромет СССР. Гос. Океаногр. ин-т. — М., 1988. — 22 с. — Деп. во ВНИИГМИ—МЦД 14.03.88, № 752 гм-88.
139. Цыцарин А. Г. Исследование химического состава ледяного покрова Северного Каспия и Аральского моря. — Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — М.: ГОИН, 1989. — 21 с.
140. Цыцарин А. Г. Лабораторное моделирование процесса формирования химического состава льда/Госкомгидромет СССР. Гос. Океаногр. ин-т. — М., 1989. — 49 с. — Деп. во ВНИИГМИ—МЦД 9.01.89, № 177 В-89.
141. Шрауцер Г. Гипотеза подтвердилась//Знание — сила. — 1985. — № 10. — С. 6.
142. Яблонская Е. А. Водная взвесь как пищевой материал для организмов бентоса Каспийского моря//Труды ВНИРО. — 1969. — Т. 65. — С. 85—147.
143. Яблонская Е. А. Об определении потенциальной рыбной продукции морских водоемов//Труды ВНИРО. — 1970. — Т. 71. — С. 75—82.
144. Янатьева О. К., Рассонская Н. С. Исследование метастабильных равновесий и твердых фаз в системе карбонат кальция — карбонат магния — вода//Журн. неорганической химии. — 1961. — Т. 6, № 6. — С. 1424—1430.
145. Daley R. J., Brown S. R. Experimental characterization of laoustrine chlorophill diagnosis. I. Phisiological and environmental effects//Arch. Hidrobiol. — 1973. — Vol. 72, N 3. — P. 277—304.
146. Fonselius S. H. Errore and accuracy in chemical analyses with special reference to marin chemestry//FAO Fish. Techn. Pap. — 1975. — N 137. — P. 17—19.
147. Groterud C. Ice analyses. Data from Norvegian lakes// Hydrobiologia. — 1972. — Vol. 40, N 3. — P. 371—391.
148. Groterud C. Nutrients in ice. Some data from a hydromountain lake//Verh. Int. Thear. Agnew Limnol. — 1972. — Vol. 18. — P. 327—333.
149. Knudsen M., Forch C., Sorensen S. P. L. Bericht uber die konstantenbestimmungen zur Aufstellung Vibenscab//Selecabs. Skifter Naturvidenskab Math. Afted. — 1902. — Vol. 12, N 1. — S. 1—151.
150. Margalef R. Perspectives of ecological theory. — Chicago—London, 1968. — 111 p.
151. Millero F. F., Chetiskin P. V. The density of Caspian Sea water//Deep-Sea Res. — 1980. — Vol. 27a. — P. 265—272.
152. Yentson C. The measurement of chloroplastic pigments — thirty years of progress//Chemical environment in the aquatic habitat. — Amsterdam, 1967. — P. 255—270.

Часть II. ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Изучение биологической продуктивности Каспийского моря базируется на принципе функционального единства физико-географической среды и живого населения моря. Начиная с 30-х годов здесь регулярно проводятся комплексные наблюдения, включающие все разделы океанологии: гидрология, гидрохимия, планктон, бентос, рыбы и млекопитающие. По мере накопления материалов проводится их анализ и обобщение для отдельных периодов.

Одним из важных направлений исследований было изучение экологии организмов и поиски связей их развития с факторами среды. Первоначально были выделены группы организмов планктона и бентоса в зависимости от предпочитаемой солености и температуры. Затем были получены первые количественные связи биомассы отдельных экологических групп организмов с соленостью и пресноводным стоком. Для мелководного Северного Каспия отрабатывается связь первичной продукции планктона с биогенным стоком. Большое место в исследованиях отводится изучению последствий зарегулирования стока рек Каспийского бассейна. Первоначально проводится теоретический поиск, а после завершения строительства плотин и заполнения водохранилищ в 60-х годах ведется практическая разработка в этом направлении на основании данных регулярных наблюдений. Показано, как сокращение пресноводного стока и изменение режима половодья повлекло за собой снижение биологической продуктивности Северного Каспия и ухудшение условий размножения полупроходных и проходных рыб.

В настоящей коллективной монографии впервые делается попытка обобщить все разрозненные результаты исследований ВНИРО и КаспНИРХа по влиянию океанологических условий на формирование биологической продуктивности в мелководных и глубоководных районах моря, на воспроизводство, поведение и распределение гидробионтов и основных промысловых объектов. Наряду с осмыслением известных разработок, в книгу включен ряд оригинальных исследований.

8. ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА

Фитопланктон Каспийского моря исследуют с начала текущего столетия. С 30-х годов начали применять количественные методы. В Северном Каспии была изучена сезонная и годовая динамика состава и биомассы фитопланктона, его распределение, колебание средней биомассы по годам [122]. Первые количественные данные о фитопланктоне Среднего Каспия были получены летом 1934 г. [109]. Осенью того же года в планктоне южной части Каспия был впервые обнаружен средиземноморский вселенец *Rhizosolenia calcar avis*. В дальнейшем отмечалось быстрое распространение ризосолении по всему морю и превращение ее в доминанта каспийского фитопланктона [80, 81, 122, 132, 133].

Прерванные в 1941 г. регулярные наблюдения за фитопланктоном Северного Каспия были возобновлены в 1965 г. [74—76, 78]. Главное внимание в этих работах уделялось влиянию зарегулирования стока Волги на развитие фитопланктона. Полный обзор литературы за 1900—1965 гг. представлен в книге А. И. Прошкиной-Лавренко и И. В. Макаровой [101], в которой критически рассмотрены результаты таксономических и гидробиологических исследований, описан систематический состав фитопланктона и дана его экологическая характеристика. Более поздние материалы, полученные в комплексных экспедициях 1962, 1975 и 1976 гг., подробно изложены и сопоставлены с многолетними данными в монографическом сборнике «Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность» [43].

Видовой состав фитопланктона и его экологические особенности к настоящему времени довольно хорошо изучены. Фитопланктон Северного Каспия квалифицируется как типично эстуарный, а в Среднем и Южном Каспии господствуют эвригалинные, морские неретические и солоноватоводные виды. Из 449 видов, разновидностей и форм фитопланктона Каспийского моря, по исследованиям 1962—1976 гг., в Северном Каспии обнаружено 414 видов, в Среднем — 225 видов, а в Южном — 71 вид. Видовое разнообразие фитопланктона уменьшается с севера на юг. Отчасти это происходит за счет выпадения пресноводных форм. При этом доля морских видов увеличивается от 9 % в северной до 18 % в средней и 31 % в южной частях моря (табл. 8.1). Систематические отделы водорослей расположены в таблице в порядке увеличения доли солелюбивых видов.

Среди пресноводных форм по качественному разнообразию на первом месте стоят зеленые водоросли. Для этого отдела характерна большая изменчивость видового состава, что связано с выносом большинства пресноводных видов из рек, особенно из Волги. Основное количество видов зеленых водорослей встречается при солености воды до 3‰. В заметном количестве развиваются всего несколько видов. Наиболее высокую биомассу на мелководьях Северного Каспия образуют нитчатые водоросли — зигнема и, особенно, спирогира [76—79]. Встречаемость нитчатых водорослей в очень динамичной северокаспийской воде явление необычное, так как эти виды, как правило,

Таблица 8.1

Число видов в экологических группах и отделах фитопланктона Каспийского моря

Район	Пресноводные	Солоноватоводно-пресноводные	Солоноватоводные	Морские	Прочие	Всего
Золотистые						
Северный Каспий	1	—	—	—	—	1
Эвгленовые						
Северный Каспий	4	—	—	—	—	4
Средний Каспий	4	—	—	—	—	4
Южный Каспий	1	—	—	—	—	1
Все море	5	—	—	—	—	5
Зеленые						
Северный Каспий	131	6	1	—	—	138
Средний Каспий	31	5	1	—	—	37
Южный Каспий	5	3	—	—	—	8
Все море	132	6	1	—	—	139
Сине-зеленые						
Северный Каспий	31	23	10	2	24	90
Средний Каспий	16	19	11	1	13	60
Южный Каспий	3	2	1	—	4	10
Все море	34	27	13	2	26	102
Диатомовые						
Северный Каспий	32	34	36	26	21	149
Средний Каспий	16	14	20	25	15	90
Южный Каспий	7	4	3	13	5	32
Все море	34	37	39	30	23	163
Пирофитовые						
Северный Каспий	4	3	12	11	2	32
Средний Каспий	4	2	11	14	3	34
Южный Каспий	2	—	7	9	2	20
Все море	4	4	13	15	3	39
Все отделы						
Северный Каспий	203	66	59	39	47	414
Средний Каспий	71	40	43	40	31	225
Южный Каспий	18	9	11	22	11	71
Все море	210	74	66	47	52	449

распространены в стоячих и медленно текущих водах. Возможно, что они выносятся пресноводным потоком из устьевого взморья.

Сине-зеленые водоросли представлены пресноводными и солоноватоводно-пресноводными видами. Имеются также морские и солоноватоводные формы, но их роль незначительна. Пресноводные зеленые и сине-зеленые водоросли создают значительные биомассы в зоне смешения пресных и соленых вод.

Диатомовые водоросли распространяются по всей акватории моря, так как представлены одинаково разнообразно во всех экологических группах. Они занимают ведущее место по числу видов (163), их видовой состав наиболее устойчив на протяжении всего вегетационного периода. Ведущее место по биомассе занимает крупная морская диатомея ризосоления, которая доминирует в каспийском фитопланктоне круглый год. Массовое ее развитие отчасти связано с тем, что она в силу своих размеров не потребляется зоопланктоном и в трофические цепи включается только после отмирания.

Пирофитовые водоросли представлены главным образом морскими и солоноватоводными формами. Эта группа водорослей имеет большое значение в трофике водоема. Особая роль принадлежит *Exuviella cordata*. Этот вид вегетирует в массе в Среднем и Южном Каспии круглогодично, а в зоне повышенной солености Северного Каспия — в период наибольшего прогрева вод. Эксувиелла является доминантом в морском фитопланктоне по численности клеток и основным кормом для зоопланктонных организмов.

Соленость воды определяет распространение отдельных экологических групп водорослей в Северном Каспии. На рис. 8.1 показано в качестве примера распределение пресноводной нитчатой спирогиры и морской ризосолении. Спирогира концентрируется в опресненной зоне вдоль дельт Волги и Урала и не выходит за пределы изогалины 4‰. Область распространения ризосолении зависит от проникновения среднекаспийских вод и ограничена изогалинами 10—12‰. В многоводном 1974 г. площадь распресненной зоны была больше, чем в маловодном 1976 г. Соответственно возрастала акватория, занятая пресноводными водорослями, и их концентрация.

Сезонные изменения фитопланктона выражены более отчетливо в Северном Каспии, чем в Среднем и Южном Каспии. Быстрое прогревание и охлаждение мелководного Северного Каспия и колебания солености в связи с изменением притока пресных вод в течение года оказывают существенное влияние на состав фитопланктона и его динамику.

Весенний биологический сезон в Северном Каспии начинается с момента освобождения моря ото льда, обычно в конце марта при температуре воды 4—7 °С. В это время появляются холодолюбивые диатомовые водоросли, но фитопланктон еще бедный. Постепенно с повышением температуры ранневесенний комплекс фитопланктона количественно увеличивается и распространяется от берегов в центральную приглубую часть Северного Каспия. В мае он обогащается видами поздневесеннего сезона. Весной в годы естественного режима (до 1958 г.) доминировали по биомассе диатомовые, главным образом ризосоления (табл. 8.2). В условиях зарегулированного стока постепенно возрастает доля зеленых нитчатых водорослей, и в 1974 и 1976 гг. они дают уже 90 % общей биомассы фитопланктона. В период подъема уровня в 80-х годах роль нитчатых водорослей опять падает.

Летний биологический сезон наступает в начале июня и длится до конца августа — начала сентября. В период минимальной солености в июне количество морской ризосолении снижается, но в августе, когда после спада полых вод соленость возрастает, она опять занимает доминирующее положение по биомассе. В наиболее распресненных районах вдоль дельт Волги и Урала летом достигают своего максимального развития сине-зеленые и протококковые водоросли, которые являются основной пищей зоопланктонных организмов пресноводного комплекса. До зарегулирования стока сине-зеленые водоросли вызывали «цветение». Среди них преобладали крупные формы *Aphanizomenon* и колонии *Microcystis*. В настоящее время массовое развитие получили мелкие формы (*Me-*

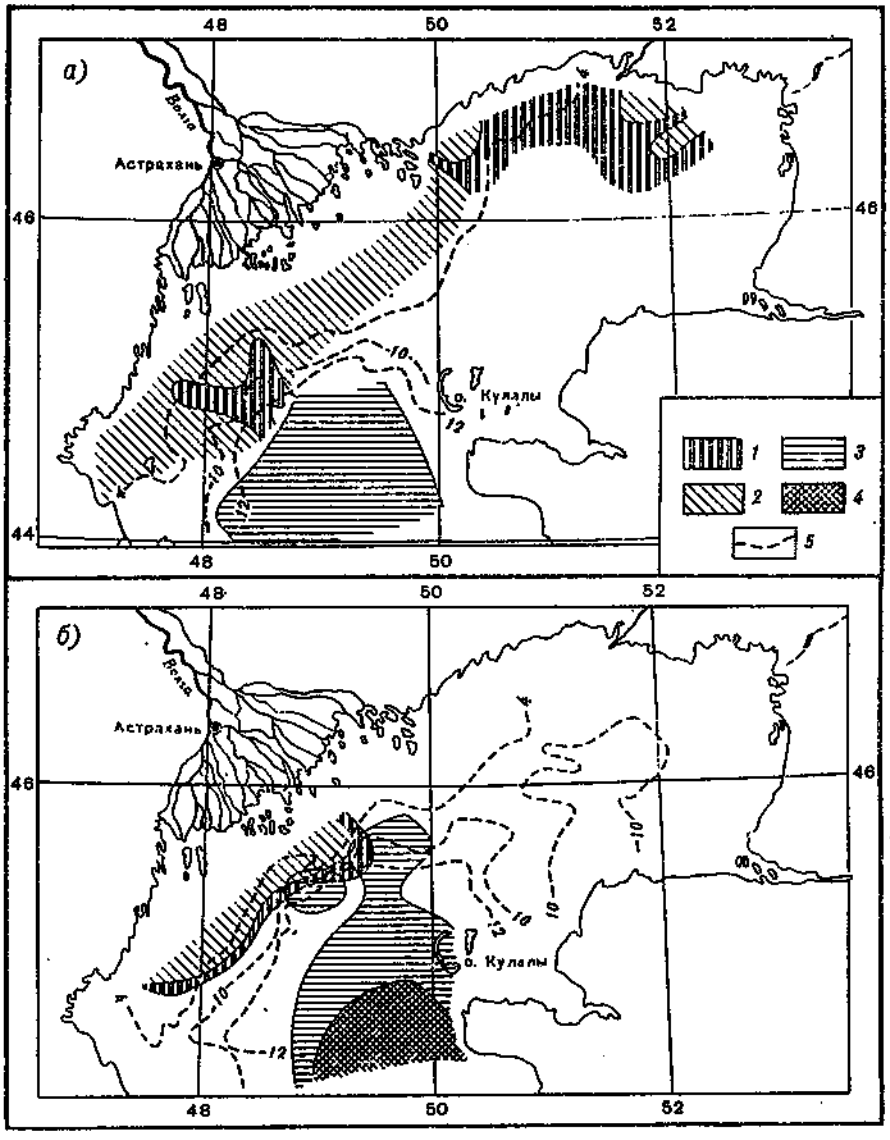


Рис. 8.1. Распределение спирогиры (*1*, *2*), ризосолении (*3*, *4*) и солености (‰) (*5*) в апреле 1974 г. (*а*) и 1976 г. (*б*).

1 и *3* — 100—1000 мг/м³; *2* и *4* — более 1000 мг/м³.

rismopedia), которые доминируют по численности клеток, но не создают значительную биомассу.

Переход к осеннему биологическому сезону характеризуется выпадением из фитопланктона синезеленых и усилением развития диатомовых, а в некоторые годы перидиниевых. Осенний сезон начинается в середине сентября при понижении температуры до 20—15 °С. В октябре развитие фитопланктона затухает и его видовой состав обедняется.

Таким образом, для фитопланктона Северного Каспия характерно повышение биомассы по мере роста температуры. Однако в экстремально маловодном 1976 г. летний пик развития водорослей не проявился. Их биомасса неуклонно понижалась от весны к осени (см. табл. 8.2).

В Среднем и Южном Каспии во все сезоны доминируют по биомассе ризосоления, а по численности пирофитовые, главным образом эксувиелла. Диатомовый фитопланктон типичен для зимы и весны, а пирофитовый — для лета и осени. Ход развития фитопланктона в течение года различается в разных районах и обусловлен разными факторами. В прибрежной области западного района Среднего Каспия на глубинах менее 50 м максимум развития водорослей наблюдается летом при наибольшем прогреве воды (табл. 8.3). Это обусловлено поступлением вдоль западного берега биогенных элементов из Северного Каспия и рек Сулака и Терека. Доминируют здесь пирофитовые, среди которых основную массу составляет эксувиелла. Зимой и весной здесь обычно господствуют диатомовые, за исключением теплой зимы 1975 г., когда в западном прибрежье в массе развивалась эксувиелла. В прибрежной области восточного района Среднего Каспия фитопланктон интенсивно развивается зимой под влиянием адвекции теплых вод из Южного Каспия. Наибольшая биомасса наблюдалась в суровую зиму 1976 г. В летний период увеличение концентрации водорослей на востоке по сравнению с центральным районом наблюдается в годы с хорошо развитым апвеллингом.

В центральной части моря развитие водорослей лимитирует зимой температура, а летом — биогенные элементы. Формирующийся в летнее время термоклин препятствует вертикальному перемеши-

Таблица 8.2

Сезонные изменения биомассы фитопланктона (г/м³) Северного Каспия в разные годы

Месяц	1936	1938	1940	1956	1958	1962	1964	1974	1976	1981	1986
Весь фитопланктон											
Апрель	0,80	0,30	2,10	2,46	1,32	0,66	0,36	3,31	3,21	0,94	—
Июнь	—	—	—	1,26	1,15	1,48	1,35	1,92	—	—	0,37
Август	6,10	3,70	2,50	3,19	4,25	6,90	3,38	0,53	0,89	0,87	2,43
Октябрь	5,80	2,10	2,20	1,89	9,70	1,67	—	0,58	0,14	—	—
Диатомовые											
Апрель	0,72	0,18	1,70	1,46	0,78	0,28	0,09	0,23	0,42	0,30	—
Июнь	—	—	—	0,52	0,49	0,50	0,58	0,27	—	—	0,21
Август	4,57	2,48	1,30	1,77	2,15	1,37	1,31	0,26	0,70	0,61	2,06
Октябрь	3,19	1,90	1,98	0,49	0,53	0,84	—	0,07	0,08	—	—
Сине-зеленые											
Апрель	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	+	+	—
Июнь	—	—	—	0,40	0,15	0,18	0,22	0,09	—	—	0,04
Август	0,91	0,67	0,70	1,18	1,71	1,75	1,67	0,07	0,07	0,09	0,18
Октябрь	1,57	0,04	0,07	0,82	8,77	0,22	—	0,04	0,02	—	—
Зеленые											
Апрель	0,03	0,08	0,34	0,96	0,50	0,37	0,26	3,09	2,78	0,64	—
Июнь	—	—	—	0,34	0,48	0,55	0,53	1,55	—	—	0,11
Август	0,38	0,33	0,35	0,07	0,20	3,61	0,37	0,18	0,07	0,13	0,10
Октябрь	0,87	0,10	0,11	0,36	0,04	0,24	—	0,44	0,01	—	—
Пирофитовые											
Апрель	0,02	0,01	0,02	+	+	0,01	+	+	+	+	—
Июнь	—	—	—	+	0,04	0,24	0,02	+	—	—	+
Август	0,24	0,22	0,15	0,17	0,18	0,16	0,03	0,02	0,03	0,04	0,09
Октябрь	0,17	0,06	0,04	0,22	0,36	0,36	—	0,03	0,03	—	—

Примечания. 1. В таблице использованы данные из монографии [43], которые дополнены материалами из отчетов КаспНИРХа и публикаций [8, 9]. 2. Знак «+» означает присутствие фитопланктона, но его биомасса ниже 0,01 г/м³.

ванию вод и сообщество фитопланктона существует в основном за счет регенерации биогенных веществ в слое над термоклином. Дополнительное их поступление из нижележащих слоев в эвфотическую зону происходит только в момент разрушения термоклина в штормовых условиях. Поэтому максимум развития водорослей наблюдается весной и осенью при отсутствии термоклина.

Таблица 8.3

Биомасса фитопланктона на поверхности Среднего и Южного Каспия (мг/м³) в разные сезоны [по 43]

Год	Средний Каспий			Южный Каспий		
	Запад	Центр (более 50 м)	Восток	Запад	Центр (более 50 м)	Восток
Февраль						
1963	76	66	192	—	78	126
1975	220	173	304	155	207	338
1976	13	443	1110	—	—	—
Апрель						
1962	994	1370	637	—	379	30
1974	446	997	546	114	237	483
1976	281	944	522	—	—	—
Август						
1962	1767	495	469	—	59	606
1974	511	353	258	145	458	200
1975	422	149	237	929	82	133
1976	1276	174	174	—	—	—
Октябрь						
1962	741	772	742	—	450	665
1974	28	60	40	14	20	47
1976	741	2431	977	—	—	—

Фитопланктон Южного Каспия характеризуется постоянным численным преобладанием пирофитовых (эксувиелла), а в некоторые годы (1975) синезеленых над диатомовыми. Судя по небольшим материалам, сезонные изменения биомассы фитопланктона повторяют закономерности, выявленные в Среднем Каспии, но проявляются они в меньшей степени.

Большая протяженность Каспия с севера на юг и особенности сезонных изменений фитопланктона в разных районах обусловили закономерное изменение количества водорослей в меридиональном направлении. В летний период наблюдается снижение численности и биомассы фитопланктона с севера на юг (табл. 8.4). Зимой, когда Северный Каспий покрыт льдом, а в Южном Каспии температура воды 8—10 °С, наблюдается обратная картина. В Южном Каспии в мягкие зимы интенсивность фотосинтеза настолько велика, что в поверхностных слоях наблюдается перенасыщение воды кислородом [53].

Изучение сезонной динамики фитопланктона показывает, что лимитирующими факторами развития водорослей и формирования сезонных комплексов являются температура и соленость, а количественное их развитие определяется наличием в воде биогенных элементов. Последнее может быть проиллюстрировано двумя примерами, полученными на многолетних материалах по Северному Каспию.

Таблица 8.4

Количество фитопланктона (в числителе — млн экз/м³, в знаменателе — мг/м³) в поверхностном слое разных районов Каспийского моря в августе 1981 и 1986 гг. (по данным А. Г. Ардабьевой и Т. А. Татариницевой)

Отдел водорослей	Северный Каспий		Средний Каспий		Южный Каспий
	1981 г.	1986 г.	1981 г.	1986 г.	1981 г.
Диатомовые	37,3 / 611	113,8 / 2062	5,2 / 509	4,8 / 320	2,7 / 120
Зеленые	50,7 / 126	101,1 / 101	0,3 / 1	1,0 / 0,2	0,02 / 1
Сине-зеленые	188,1 / 90	498,9 / 181	2,9 / 4,0	0,3 / 5,0	1,7 / 5,0
Пирофитовые	8,4 / 42	36,6 / 89	19,0 / 55	18,8 / 54	3,9 / 17
Всего	284,5 / 869	750,4 / 2434	27,4 / 569	25,9 / 379	8,4 / 144

Биомасса диатомовых в июне, когда преобладают мелкие их формы, в большой степени зависит ($r = 0{,}89$) от количества кремния, поступившего с полыми водами за апрель — июнь (рис. 8.2). С увеличением количества поступившего в Северный Каспий кремния биомасса диатомовых закономерно возрастает. Кривая выходит на стабильный уровень при количестве кремния приблизительно 300 тыс. т. Экстраполяция полученной зависимости в области малых значений показывает минимальное количество кремния, обеспечивающее развитие диатомовых — 50 тыс. т. Подобная зависимость гораздо хуже прослеживается на августовских материалах ($r = 0{,}35$), когда среди диатомовых преобладает ризосоления. Известно, что она заносится из основного своего ареала в Среднем Каспии и ее биомасса не соответствует условиям в северной части моря (табл. 8.5).

Второй пример связи фитопланктона с биогенными элементами — зависимость первичной продукции от количества фосфора, поступившего

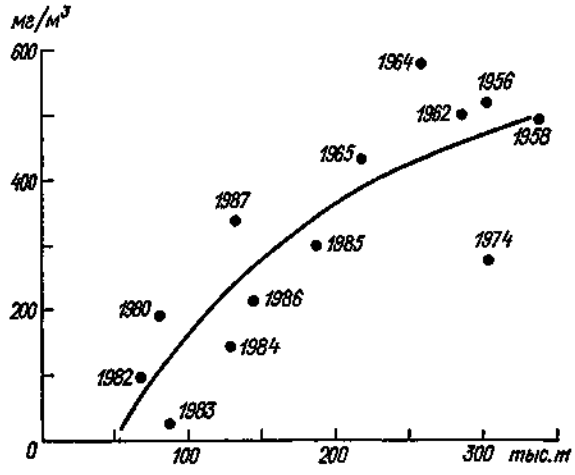


Рис. 8.2. Зависимость биомассы диатомовых (мг/м³) в Северном Каспии в июне от количества кремния (тыс. т), поступившего со стоком р. Волги в период половодья (апрель—июнь).

Здесь и на рис. 8.3 числа у точек — годы.

Таблица 8.5

Многолетние изменения биомассы диатомовых водорослей в Северном Каспии в летний период и количества кремния, поступившего с волжскими водами в половодье (по данным КаспНИРХа)

Год	Количество кремния, тыс. т	Биомасса диатомовых, г/м³		Доля ризосоления, %	
	Апрель—июнь	Июнь	Август	Июнь	Август
1938	391	—	2,48	—	23
1956	303	0,52	1,77	91	76
1958	339	0,49	2,15	38	10
1962	287	0,55	1,37	65	72
1964	259	0,58	1,31	32	61
1965	219	0,43	—	4	—
1966	573	—	1,73	—	65
1967	178	—	0,45	—	67
1968	204	—	0,69	—	67
1969	149	—	0,79	—	62
1971	198	—	1,72	—	70
1972	260	—	1,18	—	36
1973	122	—	1,70	—	88
1974	306	0,28	0,26	71	85
1976	111	—	0,70	—	77
1980	83	0,19	—	23	—
1981	205	—	0,61	—	71
1982	70	0,10	—	19	—
1983	88	0,03	—	—	—
1984	130	0,14	—	54	—
1985	187	0,30	—	3	—
1986	145	0,21	2,06	+	79
1987	134	0,34	—	+	—

Примечание. Прочерк — нет данных, знак «+» — ризосоления присутствует в пробах, но биомасса меньше 1 %.

в Северный Каспий во время половодья. Еще в первых исследованиях П. И. Усачев [122] связывал колебание биомассы фитопланктона по годам с объемом стока Волги и объяснял уменьшение его количества в маловодные годы сокращением притока фосфатов. Н. И. Винецкая [25, 27] по материалам периода до зарегулирования стока Волги получила прямолинейную зависимость первичной продукции планктона в западной, более продуктивной части Северного Каспия от стока фосфатов в половодье. Она показала, что в мелководной придельтовой зоне первичная продукция в период половодья (июнь) находится в обратной зависимости от количества фосфатов, а в глубоководной зоне — в прямой. Исследование этой связи было продолжено Е. А. Яблонской и А. И. Зайцевым [130] на более обширных материалах (табл. 8.6, рис. 8.3). Исследовано влияние притока фосфатов x на валовую первичную продукцию планктона y всего Северного Каспия, при расчете которой учитывалось изменение объема этой части моря с изменением уровня. Получено уравнение

$$y = 6{,}55x^{0{,}51}, \quad r = 0{,}77.$$

Повышение прихода фосфатов до 2 тыс. т вызывает быстрый рост продукции фитопланктона. При дальнейшем увеличении количества фосфатов рост первичной продукции замедляется.

Таким образом, сезонная динамика развития фитопланктона во всех районах Каспийского моря является следствием взаимодействия двух основных факторов: температуры и биогенных элементов. В Северном Каспии максимум развития водорослей наблюдается в тот момент, когда вслед за поступлением биогенных элементов с полыми во-

Таблица 8.6

Многолетние изменения первичной продукции планктона Северного Каспия в летний период и выноса фосфатов с волжскими водами в половодье (по данным КаспНИРХа)

Год	Количество фосфатов, тыс. т	Первичная продукция (глюкоза), млн т/мес		
	Апрель—июнь	Июнь	Август	Средняя
1936	4,6	16,1	12,5	14,3
1937	2,7	5,7	—	—
1938	2,2	5,3	9,3	7,3
1940	3,5	13,6	10,6	12,1
1941	8,0	10,3	9,1	9,7
1946	4,9	—	20,4	—
1947	3,0	18,6	10,5	14,5
1948	3,2	15,9	17,6	16,7
1949	2,2	—	6,8	—
1950	1,5	8,9	0,9	4,9
1951	1,3	6,3	7,7	7,0
1954	0,9	4,7	9,4	7,0
1955	1,7	7,9	13,5	10,7
1956	1,8	11,6	16,0	13,8
1957	1,7	5,9	12,8	9,3
1958	1,0	9,9	8,5	9,2
1959	1,5	8,0	10,3	9,1
1960	0,7	3,1	3,2	3,1
1961	0,6	6,2	6,2	6,2
1962	1,3	4,1	6,0	5,0
1963	1,0	4,6	7,4	6,0
1964	0,5	2,4	4,4	3,4
1965	1,3	2,3	8,1	5,2
1966	7,1	3,2	12,9	8,0
1967	0,6	4,2	4,4	4,3
1968	0,6	7,4	6,7	7,0
1969	0,7	5,8	6,7	6,2
1970	1,0	3,0	—	—
1971	0,6	4,4	5,2	4,8
1972	0,8	9,5	3,1	6,2
1973	1,1	9,5	7,3	7,6
1974	1,7	6,3	6,6	6,4
1975	0,3	8,3	2,4	5,2
1976	0,6	—	6,9	—
1977	1,1	—	2,0	—
1978	1,0	—	9,8	—

дами температура воды повышается до максимальной. Летний максимум прослеживается также вдоль всего западного мелководья Среднего и Южного Каспия по пути следования северокаспийских вод и рек западного побережья, обогащенных биогенными элементами. Зимний максимум в восточном прибрежье Среднего Каспия обусловлен поступлением из Южного Каспия теплых вод. В центральной глубоководной зоне максимальная биомасса наблюдается весной и осенью при усилении вертикальной циркуляции, что приводит к поступлению биогенных элементов из нижних слоев в эвфотическую зону. Многолетние изменения развития фитопланктона в Северном Каспии закономерно связаны с количеством биогенных элементов, поступающих со стоком р. Волги.

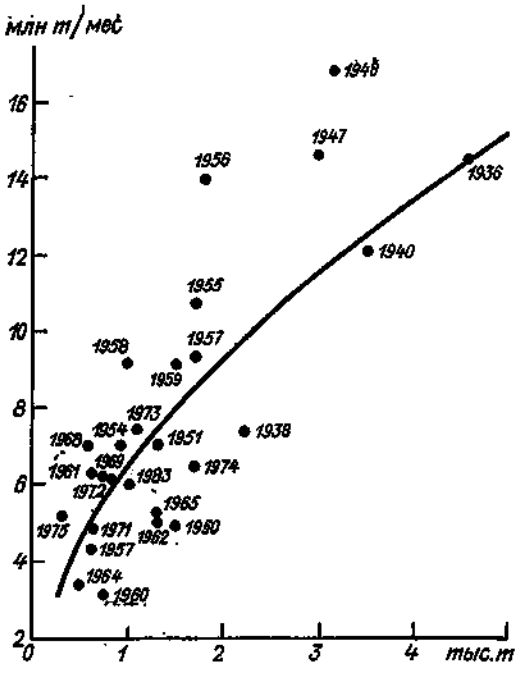


Рис. 8.3. Зависимость первичной продукции планктона (глюкоза, млн т/мес) в летний период (июнь, август) в Северном Каспии от количества фосфатов (тыс. т), поступивших со стоком р. Волги в период половодья (апрель—июнь).

9. ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗООПЛАНКТОНА

Первые количественные исследования зоопланктона проведены в 1934—1935 гг. в Северном Каспии в разные сезоны [72], в глубоководной части моря летом [132] и зимой [21]. С 1938 г. начинаются постоянные наблюдения за состоянием планктона, более подробные, ежегодные — в северной части моря и менее регулярные — в средней и южной частях. Первые результаты этих наблюдений по сезонному изменению зоопланктона в 1937—1939 гг. на четырех стандартных разрезах в глубоководной части моря известны специалистам по рукописи М. С. Идельсона, которая была опубликована только в 1980 г. [39].

В период, предшествующий зарегулированию стока р. Волги, подводятся первые итоги многолетних гидрологических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений, в том числе по зоопланктону Северного Каспия [82] и глубоководных частей моря [65]. В этих работах обобщаются материалы по сезонным изменениям, дается характеристика экологических комплексов, анализируются причины межгодовых колебаний биомассы зоопланктона. Последствия зарегулирования стока р. Волги обсуждает М. С. Кун [68], которая показала значительное уменьшение количества зоопланктона в северной части моря и увеличение его в Среднем Каспии.

Анализ материалов 70-х годов и обобщение предшествующих исследований проведены в коллективной монографии «Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность» [43].

9.1. Видовой состав, экологические комплексы и распределение зоопланктона

Видовой состав зоопланктона Каспия небогат. В Атласе беспозвоночных Каспийского моря [9] описано 18 видов веслоногих рачков, 24 — ветвистоусых рачков, 32 — коловраток и 5 — инфузорий,

всего 79 морских и солоноватоводных видов. К этому надо прибавить пресноводные формы, обитающие в придельтовых районах. Всего в настоящее время при обработке материалов регулярных наблюдений идентифицируется примерно 120 видов зоопланктеров, не считая временных форм — личинок бентосных организмов. Из этого количества можно выделить 3—4 десятка видов, представители которых достаточно регулярно встречаются в планктонных пробах.

Каспийский зоопланктон, как и вся каспийская фауна, резко отличается от обычной морской вследствие длительного ее развития в условиях изоляции от океана. Значительная часть зоопланктона Каспия составляют автохтонные виды, т. е. виды каспийского происхождения. Наиболее полно они представлены при нормальной или близкой к нормальной солености этого моря (12—13‰). Основной район их обитания — глубоководная часть моря, где соленость воды наиболее стабильна. Характерные представители этой группы — копеподы *Eurytemora minor*, *E. grimmi* и кладоцера семейства Polyphemidae. Более теплолюбивая *E. minor* доминирует в Южном Каспии во все сезоны, а в Среднем Каспии только летом. Холодолюбивая *E. grimmi* в массе развивается зимой в Среднем Каспии и практически не встречается в Южном [21, 66].

Наряду с автохтонными формами, для каспийского планктона характерно присутствие иммигрантов арктического, средиземноморского и пресноводного происхождения. Представители арктической фауны копепода *Limnocalanus grimaldii* и 4 вида планктонных мизид (*Mysis caspia*, *M. microphtalma*, *M. macrophtalma*, *M. ambliops*) проникли в Каспий в позднеледниковую эпоху. Они обитают также в глубоководных районах. Эти виды сохранили в Каспии черты холодноводности, предпочитают низкую температуру, размножаются зимой, а летом при вертикальных миграциях не поднимаются выше термоклина [43, 66]. Для вселенцев из средиземноморского бассейна характерны эвригалинность и эвритермность. Они обитают во всех районах Каспийского моря, а значительные концентрации создают в прибрежной зоне. Типичные представители этой группы копепода *Calanipeda aquae-dulcis* и кладоцера *Podon polyphemoides*. Калянипеда — наиболее эвригалинная форма из всех каспийских ракообразных, подон предпочитает морские воды. Вселение в Каспийское море средиземноморских видов продолжается. В 1983 г. было отмечено появление копеподы

Таблица 9.1

Распределение организмов зоопланктона в разных зонах солености Северного Каспия [по 71]

Экологическая группа, вид	Фаунистический комплекс	Диапазон солености (‰) с численностью организмов, % от максимальной			Диапазон солености (‰), при которой встречается организм
		100	50	5	
Пресноводные:					
Brachionus angularis	Пресноводный	0—1	0—1	0—1	0—6
Chydorus sphaericus	»	0—1	0—1	0—3	0—6
Diaphanosoma brachyurum	»	0—1	0—1	0—3	0—6
Alona rectangula	»	0—1	0—1	0—3	0—8
Keratella cochlearis	»	0—1	0—1	0—3	0—9
Bosmina longirostris	»	0—1	0—3	0—4	0—11
Brachionus calyciflorus	»	0—1	0—3	0—5	0—12
Notholca acuminata	»	0—1	0—3	0—7	0—13
Солоноватоводные:					
Polyarthra sp.	»	1—2	1—2	1—8	0—13
Heterocope caspia	Автохтонный	1—2	0—3	0—13	0—13
Euchlanis pyriformis	Пресноводный	1—2	0—4	0—9	0—9
Moina rectirostris	»	2—3	2—3	0—4	0—8
Cornigerius maeoticus hircus	Автохтонный	2—3	2—3	0—11	0—13
Brachionus quadridentatus	Пресноводный	2—3	2—3	1—12	0—13
Filinia longiseta	»	2—3	1—3	0—7	0—13
Harpacticoida	»	2—3	0—4	0—11	0—13
Keratella quadrata	»	2—3	2—6	0—12	0—13
Asplanchna priodonta	»	2—3	1—7	0—9	0—13
Эвригалинные:					
Calanipeda aquae-dulcis	Средиземноморский	2—3	1—11	0—13	0—13
Synchaeta stylata	»	2—3	1—12	0—13	0—13
Halicyclops sarsi	Автохтонный	5—6	1—12	0—13	0—13
Acartia clausi	»	6—7	2—11	0—13	0—13
Podonevadne trigona typica	»	6—7	5—11	1—13	0—13
P. camptonyx	Средиземноморский	7—8	4—12	1—13	0—13
Морские:					
Cercopagis sp.	Автохтонный	9—10	9—11	3—13	2—13
Synchaeta sp. (neapolitana)	Средиземноморский	11—12	9—12	2—13	0—13
Evadne anonyx deflexa	Автохтонный	10—11	9—13	3—13	3—13
Polyphemus exiguus	»	10—11	10—12	6—13	0—13
Balanus sp. sp. (nauplii)	Средиземноморский	12—13	8—13	5—13	1—13
Podon polyphemoides	»	12—13	10—13	5—13	4—13
Eurytemora minor	Автохтонный	12—13	11—13	11—13	11—13
Limnocalanus grimaldii	Арктический	12—13	12—13	12—13	12—13

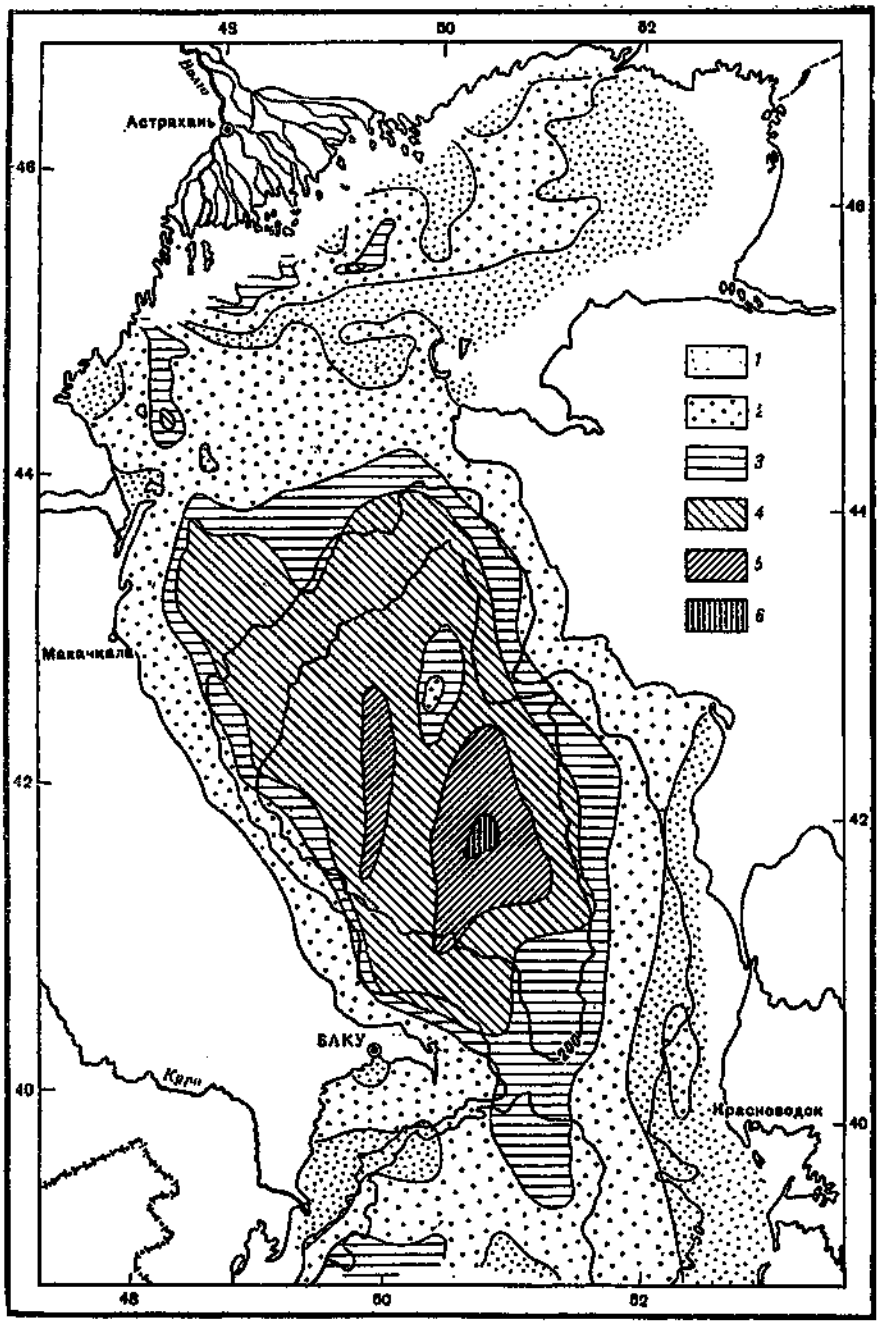


Рис. 9.1. Распределение биомассы зоопланктона (г/м²) в Каспийском море в августе 1976 г.

1 — менее 1; *2* — от 1 до 5; *3* — от 5 до 10; *4* — от 10; до 25; *5* — от 25 до 50; *6* — более 50.

Acartia clausi [70], которая за короткое время создала значительные концентрации во всех мелководных районах и потеснила каляниледу.

Четвертая группа каспийского планктона — это виды, пресноводные по происхождению. Наиболее массовые среди них — ветвистоусые рачки и коловратки. Основные зоны их обитания — опресненные мелководные районы Северного Каспия. Некоторые виды способны переносить повышение солености воды до 6—8‰. Таким образом, группы зоопланктеров, выделенные по происхождению, различаются и по экологии.

Наиболее разработан вопрос об отношении организмов к солености [71, 82, 125]. В табл. 9.1 показаны на примере Северного Каспия диапазоны солености, где организмы имели максимальную численность (100 %), значительную численность (более 50 %) и значимую численность (более 5 %). Виды представлены в порядке увеличения оптимальной для них солености воды. Прослеживается постепенный переход от одной экологической группы к другой.

В группе пресноводных форм максимум численности наблюдается в зоне 0—1‰, у солоноватоводных — при 1—2 и 2—3‰, у морских — от 9—10 до 12—13‰. Эвригалинные организмы имеют наиболее широкий диапазон солености со значительной численностью (более 50 %) — от 5—11 до 11—12‰.

Для различных районов моря характерны разные экологические комплексы организмов. В глубоководной зоне Среднего и Южного Каспия доминируют стеногалинные морские виды автохтонного и арктического происхождения. В мелководных

районах (с глубинами менее 50 м) преобладают эвригалинные представители средиземноморской фауны. В Северном Каспии по мере увеличения солености от придельтовых участков к границе со Средним Каспием происходит смена комплексов организмов от пресноводных и солоноватоводных к эвригалинным и морским.

По биомассе в Каспийском море преобладают стеногалинные морские виды, среди которых доминируют копеподы: два вида эвритеморы и лимнокалянус. Они обитают в центральных районах Среднего и Южного Каспия и создают максимальные для моря концентрации планктона (рис. 9.1). В этих районах сосредоточены запасы основных планктофагов Каспия — анчоусовидной и большеглазой килек. Значительные концентрации зоопланктона наблюдаются также в предустье Волги, где в высокопродуктивной зоне смешения пресных и морских вод в массе развиваются пресноводные и солоноватоводные коловратки и ветвистоусые рачки. Однако их вклад в общую массу планктона моря не превышает 1—2 %, так как развиваются они на ограниченной площади и на малых глубинах.

9.2. Сезонные и многолетние изменения зоопланктона Северного Каспия

Сезонное развитие отдельных видов и экологических групп зоопланктона Северного Каспия определяется температурой, а их распределение по акватории — соленостью воды.

Зимой Северный Каспий покрывается льдом, а летом вода здесь прогревается до 24—28 °С, а в отдельных районах — до 35 °С. Это обусловливает сезонный ход развития планктона с максимумом в летний период и минимумом зимой. Соленость воды Северного Каспия определяется водообменом со средней частью моря и поступлением пресных вод из рек Волги и Урала, объем которых составляет примерно половину объема вод этого района. Во время половодья расширяется опресненная зона и оттесняется морская, что влечет изменение распределения организмов разных экологических комплексов. Вследствие неравномерности поступления пресноводного стока и ветровой деятельности режим солености здесь неустойчивый.

Весной, после разрушения ледяного покрова и до начала поступления в море паводковых вод в планктоне доминируют эвригалинные и морские копеподы. Эвригалинные калянипеда, акарция и галициклопс, определяющие биомассу этой группы, зимуют подо льдом и начинают размножаться в апреле. Морские организмы, среди которых доминирует весной копепода эвритемора, глубоко проникают с водами из Среднего Каспия, но не образуют значительной биомассы.

В мае с повышением температуры воды в Северном Каспии начинают развиваться пресноводные ветвистоусые и коловратки, достигающие максимальной биомассы летом (табл. 9.2). Большинство из них фитофаги и их развитие совпадает во времени с вегетированием мелких сине-зеленых и протококковых водорослей, которые дают вспышку в послепаводковый период. Пресноводный комплекс организмов развивается в основном в зоне смешения пресных и морских вод и доминирует по биомассе в летнем планктоне западной части Северного Каспия. На востоке, в уральском придельтовом распресненном районе, также развиваются пресноводные организмы, но биомасса их значительно ниже.

В октябре доминирующее положение в планктоне опять занимают эвригалинные копеподы, у которых в это время преобладают взрослые формы. Они относительно равномерно распределены в западной и восточной частях Северного Каспия.

На западе максимальная биомасса наблюдается летом при доминировании организмов пресноводного комплекса. На востоке эта группа развивается слабо и максимальная биомасса наблю-

Таблица 9.2

Сезонные изменения биомассы зоопланктона (мг/м³) различных экологических комплексов в Северном Каспии (по данным КаспНИРХа)

Комплекс	1974 г.				1976 г.			
	IV	VI	VIII	X	IV	VI	VIII	X
Западный район								
Пресноводный	35,8	136,4	149,3	35,5	18,0	132,5	430,4	14,4
Морской	34,3	38,5	67,9	26,5	18,3	35,5	59,4	14,7
Эвригалинный	58,3	54,3	30,9	241,0	46,0	110,3	73,2	308,2
Прочие	36,0	24,3	36,4	12,4	183,3	66,5	52,9	5,5
Всего	164,4	253,5	284,5	315,4	265,6	244,8	615,9	342,8
Соленость, ‰	10,4	8,4	9,7	9,7	11,0	10,0	10,0	11,5
Восточный район								
Пресноводный	10,6	4,3	73,7	24,1	1,3	3,6	18,6	1,6
Морской	1,4	4,2	25,2	8,3	0,9	10,5	22,8	3,0
Эвригалинный	148,9	5,3	51,9	215,1	21,7	7,7	75,1	230,7
Прочие	130,6	2,8	13,8	1,1	38,8	9,0	56,9	0,7
Всего	291,5	16,6	164,6	248,6	62,7	30,8	173,4	236,0
Соленость, ‰	5,7	5,8	5,4	6,2	9,0	9,4	9,2	10,4
Сток р. Волги, км³	19,3	49,0	15,5	12,1	10,9	20,8	13,0	15,4

Примечание. Более 90 % группы «Прочие» составляют личинки моллюсков, которые относятся к пресноводным и морским формам, но при обработке не разделяются по видам.

дается в этом районе осенью за счет эвригалинных копепод.

Многолетние изменения биологической структуры и продуктивности Северного Каспия определяются пресноводным стоком и количеством поступающих взвешенных и растворенных питательных веществ. Эти характеристики колеблются под влиянием как климатических условий, так и антропогенных факторов. В рассматриваемый период 1939—1987 гг. на изменение климатических условий, уровня моря, на увеличение антропогенного загрязнения наложилось мощное воздействие гидростроительства на Волге. Основным следствием совместного воздействия этих процессов было сокращение объема весеннего половодья Волги с 156 км³ (1942—1948 гг.) до 64 км³ (1975—1977 гг.). Это вызвало повышение солености воды в северной части моря, уменьшение площади распресненных зон, привело к уменьшению площади распространения наиболее продуктивных пресноводных водорослей и зоопланктона. В то же время формирование водохранилищ привело к трансформации биогенного стока Волги [17]. Произошло уменьшение поступлений в море растворенных минеральных соединений фосфора и кремния, азота взвешенных веществ и увеличение количества фосфора и азота в составе растворенных органических соединений, трудно усвояемых организмами. Сложный комплекс происшедших изменений экологических условий затрудняет анализ влияния отдельных факторов. В предшествующих исследованиях были предприняты попытки оценить это влияние. По материалам 1939—1951 гг., Л. А. Лесниковым и Р. П. Матвеевой [82] получена обратная связь между стоком Волги в половодье и биомассой зоопланктона в летние месяцы. Причину этого авторы видят в нарушении при повышенном стоке условий формирования высокопродуктивной приволжской зоны, которая пресноводным потоком отодвигается на большие глубины и разрывается на отдельные пятна. В последующих исследованиях отмечается нарушение обратной связи летней биомассы зоопланктона со стоком [51, 68, 110]. Были сделаны попытки дать количественные оценки связей многолетних изменений биомассы зоопланктона с некоторыми элементами стока Волги. Получена положительная корреляция со стоком минерального растворенного фосфора (в логарифмической форме $r = 0{,}71$) и азота ($r = 0{,}67$) и со стоком органического фосфора взвешенных веществ (в июне $r = 0{,}72$, в августе $r = 0{,}44$) [22, 69].

Более детальный статистический анализ, проведенный Н. А. Тимофеевым [118, 119], показал, что ежегодные изменения зоопланктона Северного Каспия в большинстве случаев в обратной зависимости связаны с различными элементами стока Волги. В наибольшей степени отрицательному влиянию паводка подвержены копеподы. Основным фактором, определяющим многолетние изменения средней биомассы зоопланктона и его основных групп, является первичная продукция на западном мелководье в июне, которая, в свою очередь, зависит от поступления в море биогенных веществ (см. гл. 8).

Анализ материалов 1939—1987 гг. показал, что по значениям биомассы летнего зоопланктона выделяются два периода 50-х и 80-х годов (табл. 9.3). Повышение биомассы четко видно в западной части моря, а в восточной — выражено в меньшей степени и сдвинуто во времени. Для этих периодов характерно резкое изменение уровня моря: в первом случае его падение, а во втором — подъем. В остальные периоды уровень моря находился в квазистационарном состоянии и биомасса зоопланктона стабилизировалась на более низком уровне.

Средние значения биомассы зоопланктона для отдельных периодов, выделенных по скорости из-

Таблица 9.3

Многолетние изменения биомассы зоопланктона Северного Каспия в летний период (по данным КаспНИРХа)

Период	Год	Изменение уровня, см/год	Сток половодья, км³	Биомасса зоопланктона, мг/м³			
				Запад		Восток	
				Июнь	Август	Июнь	Август
0*	1939	—30	120	132	834	145	—
	1940	—17	122	302	395	276	148
	1941	—5	140	168	206	114	—
1	1942	8	152	84	—	103	—
	1943	2	138	266	236	495	—
	1944	—4	146	—	—	—	—
	1945	—19	111	—	—	—	—
	1946	6	166	—	386	—	66
	1947	12	212	72	136	68	128
	1948	2	168	89	—	74	—
2	1949	—10	129	345	806	208	307
	1950	—19	110	—	—	—	—
	1951	—13	141	228	983	110	279
	1952	—2	109	—	—	—	—
	1953	—9	149	1044	460	—	260
	1954	—3	104	594	—	321	—
	1955	—7	190	605	1036	176	312
	1956	—5	106	423	701	326	191
3	1957	7	150	647	467	416	146
	1958	13	145	—	419	—	96
	1959	3	100	337	380	268	289
	1960	—7	89	371	348	141	103
	1961	—20	120	142	147	49	154
	1962	—9	96	99	446	157	87
	1963	8	117	175	303	153	122
	1964	6	78	174	219	138	93
	1965	—5	100	380	168	184	100
	1966	15	158	127	434	81	72
	1967	—8	66	165	280	162	84
	1968	—14	104	197	150	116	78
	1969	16	86	304	170	95	28
	1970	13	134	155	—	54	—
4	1971	—5	98	298	198	79	69
	1972	—8	94	381	292	78	59
	1973	—7	77	200	251	33	103
	1974	—2	125	253	284	16	165
5	1975	—9	57	386	506	83	46
	1976	—25	64	345	616	31	174
	1977	—9	71	344	872	111	158
6	1978	4	88	243	328	100	73
	1979	30	146	413	—	168	—
	1980	17	83	576	—	52	—
	1981	26	128	1056	1368	108	141
	1982	9	77	704	488	114	98
	1983	6	90	981	976	49	275
	1984	3	71	490	—	77	—
	1985	4	117	1000	—	236	—
	1986	6	120	1002	1055	190	146
	1987	19	108	2033	—	208	—
	Среднее	—1	116	426	482	194	141

* Конец периода 1930—1941 гг., для начала которого (1930—1938 гг.) данных по зоопланктону нет.

Таблица 9.4

Средняя биомасса зоопланктона Северного Каспия в разные периоды

Период, годы	Сток, км³		Изменение уровня, см/год	Биомасса зоопланктона, мг/м³			
				Запад		Восток	
	Апрель—июнь	Год		Июнь	Август	Июнь	Август
1942—1948	156	269	1,0	128	253	185	97
1949—1956	130	241	—8,5	543	797	228	270
1957—1970	110	240	1,3	252	302	155	112
1971—1974	98	223	—5,5	283	256	52	98
1975—1977	64	179	—14,3	358	665	75	126
1978—1987	103	268	11,8	850	843	130	147

менения уровня моря, приведены в табл. 9.4. В западной части Северного Каспия для периодов с близкими значениями среднего годового стока (240—269 км³) наблюдается закономерный рост летней биомассы (средняя за июнь и август) от 190 до 846 мг/м³ по мере увеличения абсолютного значения скорости изменения уровня моря от 1,0 до 11,8 см/год. Направленность процесса в данном случае роли не играет. Вероятно, это связано с тем, что при изменении уровня моря волновому воздействию подвергаются новые участки дна, расположенные выше или ниже участков предшествующего периода. Вследствие этого происходит дополнительное поступление взвешенных и растворенных питательных веществ, которые вымываются из грунта. Скорость изменения уровня моря определяет степень обновления этих участков. При стационарном уровне моря участки дна, подверженные активному волновому воздействию, остаются из года в год постоянными и дополнительного наступления питательных веществ не происходит, что приводит к стабилизации продукционных процессов на низком уровне.

Анализ связи летней биомассы зоопланктона западной части моря (средней за июнь и август) со стоком р. Волги в половодье (апрель — июнь) показал, что ее характер различается для разных периодов (табл. 9.5, рис. 9.2).

Таблица 9.5

Показатели связи средней летней биомассы зоопланктона западной части Северного Каспия со стоком Волги в половодье в разные периоды

Период	Годы	n	r	a	b
2	1949—1956	5	0,91	181	3,38
3	1959—1969	11	0,01	248±97	0,93±0,03
5, 6	1975—1977 1981—1986	7	0,96	—147±129	10,51±1,43

Примечание. n — количество лет; r — коэффициент корреляции; a — свободный член уравнения; b — угловой коэффициент уравнения.

Наиболее высокий прирост биомассы зоопланктона по мере увеличения стока отмечен для данных 80-х годов при максимальной скорости подъема уровня (11,8 см/год). С ними согласуются данные 1975—1977 гг., когда наблюдалась максимальная скорость падения уровня (—14,3 см/год).

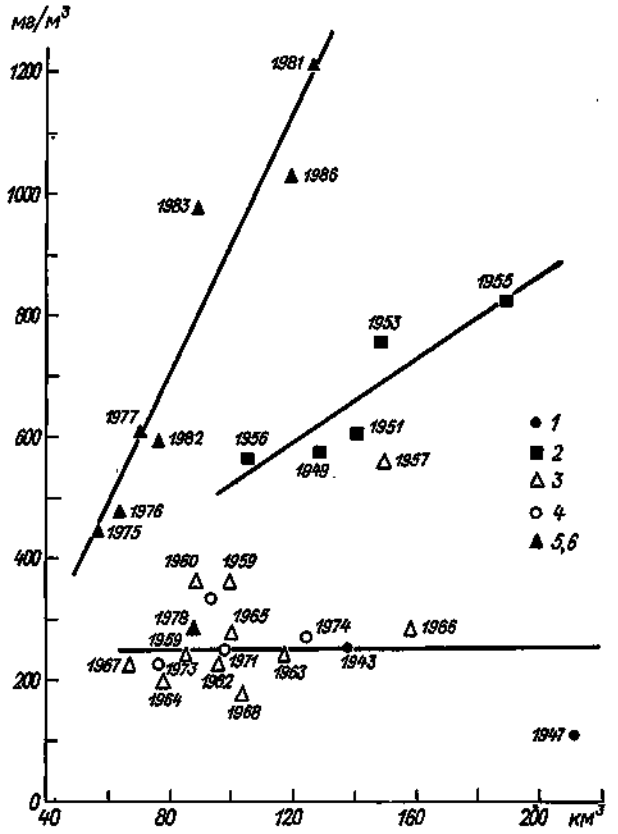


Рис. 9.2. Зависимость средней летней (июнь, август) биомассы зоопланктона западной части Северного Каспия (мг/м³) от объема стока р. Волги в половодье (апрель—июнь) (км³) для 1—6 периодов (см. табл. 9.3) (соответственно *1—6*).

Здесь и на рис. 9.3 и 9.5 числа у точек — годы.

Данные этих периодов (5-го и 6-го) были аппроксимированы общим уравнением и показали высокую степень корреляции со стоком ($r = 0{,}96$) и высокий угловой коэффициент ($b = 10{,}51$). Более низкое значение этого коэффициента ($b = 3{,}38$) получено во 2-й период при падении уровня с меньшей скоростью (—8,5 см/год). При квазистационарном уровне моря (3-й период) связь биомассы зоопланктона со стоком практически отсутствует.

Несмотря на ограниченный материал, прослеживается тенденция уменьшения углового коэффициента по мере снижения скорости изменения уровня моря. Интересно, что при смене знака от отрицательного к положительному реакция зоопланктона несколько запаздывает по сравнению с изменением уровня. Это наблюдается в 1957 и 1978 гг., данные по которым не были использованы при расчете соответствующих уравнений.

В 3-й период при отсутствии статистической связи со стоком ($r = 0{,}01$) на первое место выходит температурный фактор, влияние которого хорошо прослеживается по июньским данным. При сопоставлении для западной части Северного Каспия средних значений биомассы зоопланктона и температуры воды для всего слоя была обнаружена общая тенденция: увеличение биомассы по мере роста температуры до среднего многолетнего уровня (21,8 °С). При дальнейшем ее увеличении биомасса зоопланктона стабилизируется на достигнутом уровне. Однако этот уровень различается для лет с разным объемом стока в половодье. Более высокие значения (в среднем 351 мг/м³) по-

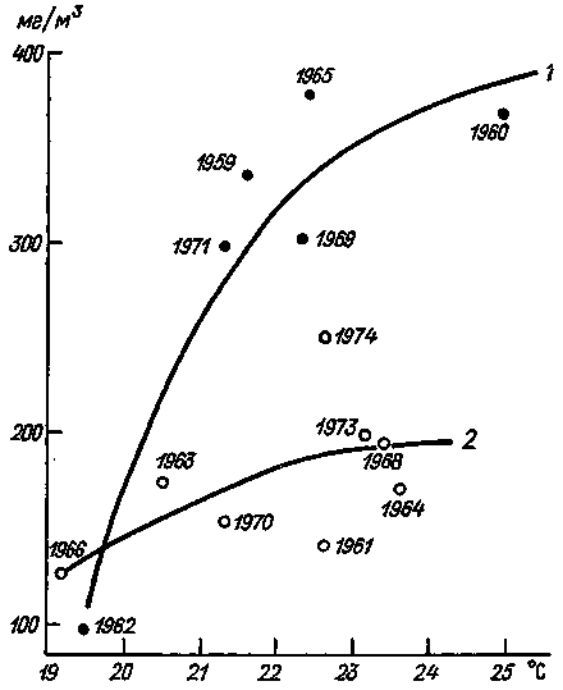


Рис. 9.3. Зависимость биомассы зоопланктона (мг/м³) западной части Северного Каспия в июне от температуры воды в период с квазистационарным уровнем моря при разном объеме р. Волги в половодье.

1 — от 80 до 100 км³; *2* — более 100 и менее 80 км³.

лучены для лет со стоком около 100 км³ (86—100 км³). При стоке более 100 и менее 80 км³ средняя биомасса зоопланктона при температуре выше 22 °С составляла 193 мг/м³ (рис. 9.3).

Изменения продуктивности западной части Северного Каспия в большой степени связаны с процессами, протекающими в авандельте Волги. После резкого понижения уровня в 30-х годах площадь ее увеличилась, глубина уменьшилась и она начала зарастать высшей водной растительностью. В периоды стабилизации уровня происходило замедление течения, подпор воды, аккумуляция взвешенных веществ. В периоды резкого изменения уровня моря в 50-х и 80-х годах глубина воды в авандельте изменялась, что приводило к отмиранию старых сообществ растительности и возникновению новых. В этих условиях от объема стока зависел вынос в Северный Каспий дополнительного количества взвешенных ОВ, которые утилизировались зоопланктоном как непосредственно, так и после их трансформации в виде бактерий и фитопланктона. На протяжении рассматриваемого периода степень зарастания авандельты существенно менялась. По данным авиаразведки, в 1963 г. растительностью было занято 20 % площади, в 1970 г.— 29 %, и резко возросло ее количество в 1975 г.— 80 %. Поэтому за подъемом уровня в 80-х годах последовало отмирание колоссального количества растительности. В результате в западной части Северного Каспия были получены рекордные значения биомассы зоопланктона — до 2 г/м³ (июнь 1987 г.), причем ¾ этой биомассы составила босмина, способная потреблять бактерии.

Таким образом, изменение продуктивности Северного Каспия обусловлено сложным комплексом факторов, основными из которых являются объем пресноводного стока и уровень моря.

9.3. Сезонные и многолетние изменения зоопланктона Среднего и Южного Каспия

Сезонные изменения биомассы зоопланктона Среднего и Южного Каспия связаны с развитием трех основных видов копепод, составляющих 70 % валовой биомассы зоопланктона летом и до 90 % — зимой. Это лимнокалянус и два вида эвритеморы.

Лимнокалянус моноцикличен. Размножение этого арктического иммигранта происходит зимой и развитие протекает на протяжении года. Распределение лимнокалянуса в Среднем Каспии меняется по сезонам (рис. 9.4 *а*). На рисунке показана средняя для всех разрезов численность по зонам глубин, ширина которых дана пропорционально их площади. Летом лимнокалянус сосредоточен в центральном глубоководном районе. Зимой и весной его ареал расширяется и он встречается в значительном количестве до глубины 50 м. По сезонам меняется возрастной состав его популяции. В Среднем Каспии наибольшее количество науплиев наблюдается в феврале, в апреле преобладают IV—V копеподиты, в августе и ноябре доминируют взрослые особи (рис. 9.4 *б*).

Оптимальная температура размножения лимнокалянуса лежит в узких пределах 6—8 °С [66]. Небольшие отклонения в ту или другую сторону действуют на него губительно, что влечет за собой снижение его количества во все последующие сезоны. Например, численность лимнокалянуса в Среднем Каспии суровой зимой 1976 г. была на порядок ниже, чем в мягкую зиму 1975 г. В Южном Каспии, напротив, наиболее благоприятны для его размножения суровые зимы.

На основании многолетних материалов установлена связь летней биомассы лимнокалянуса в центральной зоне разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский y с суровостью предшествующей зимы x, которая рассчитывается по сумме отрица-

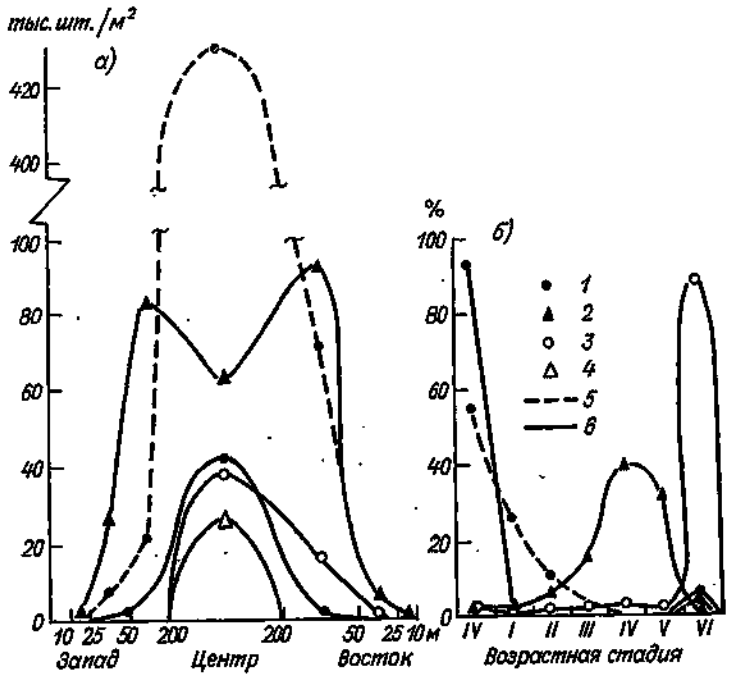


Рис. 9.4. Распределение численности лимнокалянуса (тыс. шт./м²) по зонам глубин (м) Среднего Каспия (*а*) и его возрастной состав (%) в разные сезоны (*б*).

1 — февраль; *2* — апрель; *3* — август; *4* — октябрь; *5* — 1975 г., *6* — 1976 г.

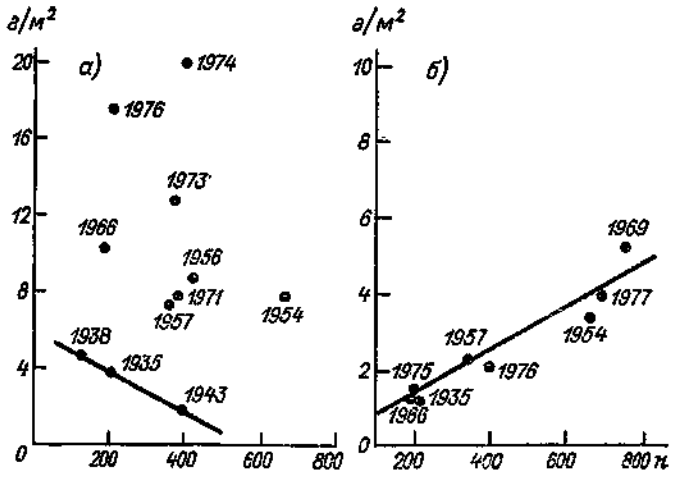


Рис. 9.5. Зависимость биомассы лимнокалануса в августе (г/м²) от суровости предшествующей зимы n (градусо-дней мороза) в Среднем (*а*) и Южном Каспии (*б*).

тельных температур воздуха в г. Астрахани (рис. 9.5 *б*). Получено уравнение: $y = 0{,}2 + 0{,}0057x$. Высокая степень корреляции между этими показателями говорит о том, что в Южном Каспии условия развития лимнокалануса лимитируются в первую очередь температурой в период зимнего его размножения. В Среднем Каспии проявляется обратная зависимость, но выражена она менее четко (рис. 9.5 *а*). Наряду с зимней температурой, его развитие здесь лимитирует, вероятно, трофический фактор. В низкопродуктивные 30—40-е годы биомасса лимнокалануса была значительно ниже, чем в 50—70-е годы.

Два вида эвритеморы не разделяются при массовой обработке проб. Специальные исследования показали, что они различаются по экологии в основном по отношению к температуре [66]. Холодолюбивая *E. grimmi* развивается в Среднем Каспии в холодное время года, а летом встречается единично. Более теплолюбивая *E. minor* доминирует летом в Среднем Каспии и во все сезоны в Южном. Оба вида дают за год несколько генераций и в пробах обычно встречаются все возрастные группы.

Распределение эвритеморы в Среднем Каспии совпадает в зимний и летний периоды. Максимальное ее количество бывает в зоне кругового течения восточной половины моря и в центральном глубоководном районе. В феврале на восточных станциях этой области наблюдается повышение температуры воды за счет адвекции вод из Южного Каспия, которое ощущается вплоть до м. Песчаного. На этих же станциях по сравнению с близлежащими отмечено увеличение концентрации хлорофилла в 2—3 раза (рис. 9.6). Летом в этом районе также наблюдается повышение концентрации хлорофилла, но обусловлено оно иными причинами. Снижение температуры воды в поверхностных слоях указывает на существование в это время отрицательной аномалии температур, когда под влиянием сгонных ветров происходит выход на поверхность глубинных вод, обогащенных биогенами [53]. Совпадение станций с повышенной концентрацией эвритеморы и хлорофилла зимой и летом говорит о том, что в эти сезоны ее развитие лимитирует трофический фактор. Весной и осенью, когда численность эвритеморы уменьшается, а концентрация хлорофилла значительно возрастает, распределение их не согласуется, что указывает на отсутствие в эти сезоны зависимости развития эвритеморы от количества пищи.

Тенденция многолетних изменений биомассы эвритеморы проанализирована по летним материалам. Наиболее ярко межгодовые колебания проявляются в центральном районе. В зоне кругового течения изменения летней биомассы снивелированы, вероятно, из-за более сильного пресса хищников, так как в этой зоне сосредоточены основные запасы анчоусовидной кильки — главного промыслового планктофага Каспийского моря. Наиболее длинный ряд наблюдений имеется для разре-

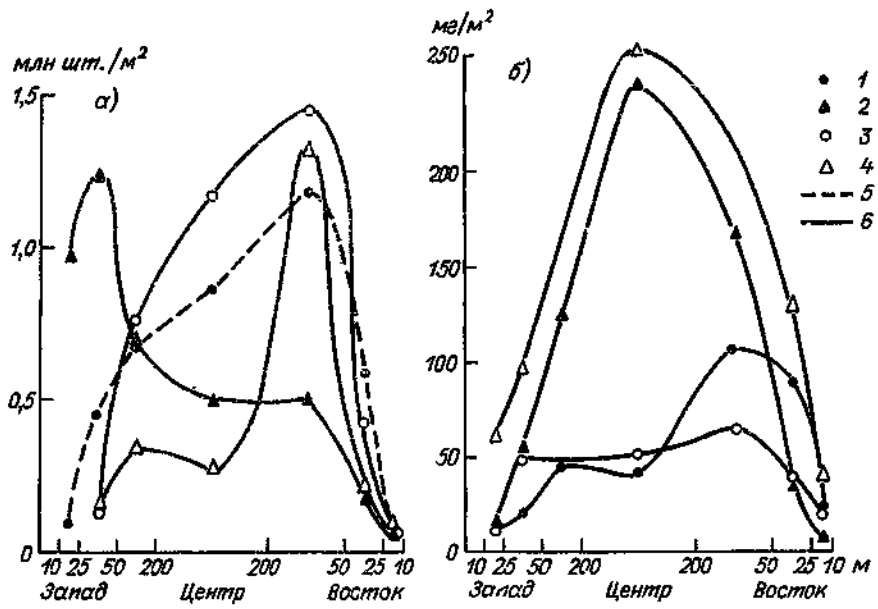


Рис. 9.6. Распределение численности эвритеморы (млн шт./м²) (*а*) и концентрации хлорофилла (мг/м²) (*б*) по зонам глубин (м) Среднего Каспия в разные сезоны.

Условные обозначения см. на рис. 9.4.

зов Дивичи — Кендерли и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (табл. 9.6).

Статистический анализ данных 1971—1985 гг. по Среднему Каспию показал, что средняя биомасса эвритеморы в центральной части разреза Дивичи — Кендерли по 3—4 станциям x находится в тесной связи со средней биомассой во всей халистатической зоне по 6—10 станциям y_1 и во всем ареале эвритеморы до 40-метровой изобаты по 30 станциям y_2:

$$y_1 = 3{,}25 + 0{,}57x, \quad r = 0{,}84;$$

$$y_2 = 4{,}12 + 0{,}26x, \quad r = 0{,}66.$$

Это дало основание использовать для анализа многолетних изменений данные по биомассе эвритеморы на центральных станциях двух упомянутых разрезов [67].

Многолетние изменения биомассы фитофага эвритеморы отражают изменения первичной продуктивности глубоководной части моря. Развитие фитопланктона в свою очередь зависит от количества биогенных элементов, поступающих из нижних слоев в эвфотическую зону.

Вертикальное перемешивание вод обеспечивается двумя основными процессами: зимней конвекцией и плотностным стоком поверхностных вод по склону в глубинные слои. В большинстве районов средней и южной частей моря конвекция происходит по субполярному типу — за счет охлаждения поверхностных слоев воды. Глубина ее распространения уменьшается с севера на юг и составляет в средних условиях 120—200 м в Среднем Каспии, 80—100 м в центральной части Южного Каспия и 40—60 м в иранских водах. В суровые зимы глубина конвективного перемешивания увеличивается и в Среднем Каспии может охватывать всю толщу воды, доходя до дна [41]. Процесс плотностного стока развивается в основном на границе Северного и Среднего Каспия в период ледообразования и зависит от солености и температуры вод. В наибольшей степени он проявляется в периоды осолонения северной части моря. Индикатором глубины проникновения поверхностных вод может служить концентрация кислорода. Увеличение ее в придонном слое глубоководных впадин говорит о максимальной интенсивности процесса (табл. 9.6).

Впервые усиление вертикальной циркуляции за счет плоскостного стока было зафиксировано при сравнении данных 1934 и 1937 гг., т. е. в момент резкого снижения уровня и осолонения северной части моря. Был отмечен рост концентрации кислорода на глубоководных станциях сначала Среднего, а затем и Южного Каспия. В дальнейшем было прослежено выравнивание концентрации биогенных элементов по вертикали и увеличение ее в эвфотическом слое [1, 95]. Максимальная концентрация кислорода в придонных слоях Среднего Каспия была зафиксирована в 1943 г. (6,84 ‰ по объему). Реакция второго трофического звена запаздывает. В 1935—1943 гг. биомасса эвритеморы стабильно держалась на низком уровне (см. табл. 9.6). Далее данные отсутствуют, но можно предположить, что максимальная биомасса была в Среднем Каспии в конце 40-х годов, а в Южном — в начале 50-х. В 1954 г. на центральных станциях разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский получена биомасса эвритеморы, близкая, вероятно, к максимальной (19,2 мг/м²). В Среднем Каспии пик биомассы не мог быть ниже, чем в Южном, и в этом году, по всей видимости, зафиксирован уже ее спад (14,8 мг/м²).

В 50—60-х годах параллельно идет уменьшение концентрации кислорода в придонных слоях и биомассы эвритеморы (рис. 9.7). В этот период ее

Таблица 9.6

Многолетние изменения концентрации кислорода в придонном слое (более 700 м) и биомассы эвритеморы в центральной части (более 200 м) разрезов Дивичи — Кендерли и о. Куринский Камень — о. Огурчинский в августе [по 1, 36, 66, 108]

Год	Суровость зимы, число градусо-дней мороза	Дивичи-Кендерли		о. Куринский Камень—о. Огурчинский	
		Концентрация кислорода, ‰ по объему	Биомасса, г/м²	Концентрация кислорода, ‰ по объему	Биомасса, г/м²
1933	300	—	—	0,00	—
1934	319	0,13	—	0,00	—
1935	212	0,90	2,5	0,15	3,1
1936	162	0,11	—	0,30	—
1937	221	1,12	—	—	—
1938	122	0,92	2,8	0,71	—
1939	300	—	—	—	—
1940	316	—	2,3	0,96	—
1941	175	—	—	—	—
1942	634	—	—	—	—
1943	391	6,84	1,9	—	—
1944	100	—	—	—	—
1945	522	—	—	—	—
1946	237	—	—	—	—
1947	374	—	—	—	—
1948	79	—	—	—	—
1949	352	2,97	—	—	—
1950	451	—	—	—	—
1951	386	—	—	—	—
1952	246	5,48	—	—	—
1953	341	—	—	—	—
1954	669	4,50	14,8	3,55	19,2
1955	162	—	—	—	—
1956	426	—	7,8	2,14	—
1957	352	—	8,2	2,22	12,4
1958	—	—	—	2,50	—
1959	—	—	13,0	—	15,0
1960	—	—	—	—	—
1961	—	—	—	2,13	—
1962	128	3,55	—	1,67	—
1963	218	—	—	—	—
1964	452	3,35	—	2,43	—
1965	369	—	—	1,66	—
1966	194	—	4,4	1,47	7,7
1967	431	3,16	—	1,54	—
1968	270	2,74	—	1,38	—
1969	761	3,12	—	3,87	10,2
1970	149	—	—	2,31	—
1971	387	5,25	9,7	—	—
1972	609	—	—	3,24	—
1973	380	—	7,1	—	5,8
1974	420	3,32	2,6	—	4,9
1975	220	3,83	11,2	2,43	8,5
1976	400	6,10	12,0	2,10	3,4
1977	700	3,95	—	1,74	3,7
1978	402	3,61	—	1,75	1,9
1979	329	—	5,3	2,08	—
1980	621	3,40	3,4	3,04	3,2
1981	93	2,53	5,8	1,74	—
1982	420	2,87	—	2,31	—
1983	187	2,68	7,0	3,37	—
1984	338	3,22	—	2,48	3,4
1985	721	2,13	9,4	3,17	3,1
1986	386	2,84	8,0	2,24	—
1987	503	3,91	11,9	2,73	—
1988	—	2,93	—	2,31	—

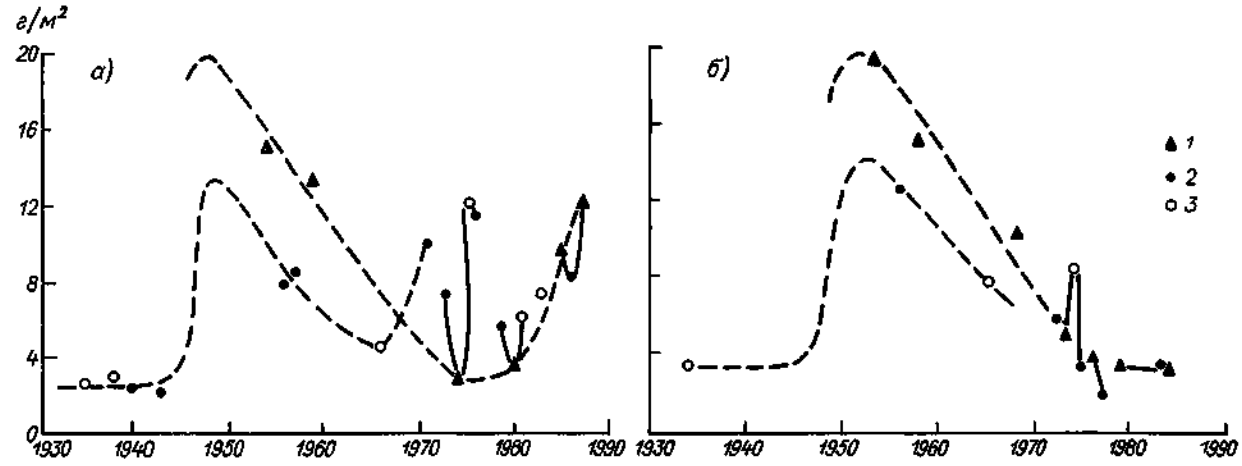


Рис. 9.7. Многолетние изменения биомассы эвритеморы (г/м²) в Среднем (*а*) и Южном (*б*) Каспии в августе после суровых (*1*), умеренных (*2*) и мягких (*3*) зим.

биомасса после суровых зим повышается примерно в 1,5 раза по сравнению с умеренными и мягкими.

В 70-х годах происходит падение уровня моря, снижение до минимальных значений объема пресноводного стока и повышение солености Северного Каспия. Как и в 30-х годах, это повлекло за собой повышение концентрации придонного кислорода вследствие усиления плотностного стока. Однако, в отличие от 30-х годов, не проявляется инерционность процесса и увеличение биомассы эвритеморы происходит в те же годы, что и концентрации кислорода. Отличительной особенностью этого периода были резкие колебания концентрации придонного кислорода в обеих частях моря. Биомасса эвритеморы также проявляет колебания с большей амплитудой в Среднем Каспии и с меньшей — в Южном. В 80-е годы при подъеме уровня моря и увеличении пресноводного стока колебания биомассы уменьшаются. В Южном Каспии она стабилизируется на низком уровне 30-х годов, а в Среднем Каспии возрастает и почти достигает уровня 50-х годов.

В дальнейшем можно ожидать затухание колебаний и снижение биомассы эвритеморы, если не возникнет условий для нового развития процесса плоскостного стока по северному склону. В результате уменьшения кормовой базы каспийских килек можно ожидать снижение их уловов.

Таким образом, продуктивность на всех трофических уровнях в глубоководной части моря определяется скоростью поступления биогенных элементов в эвфотическую зону вследствие вертикальной циркуляции вод.

10. ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ БЕНТОСА

Бентос играет важную роль в функционировании экосистем Каспийского моря и формировании рыбной продуктивности этого водоема. За счет пищевых ресурсов бентоса создается продукция таких многочисленных промысловых рыб, как вобла, лещ, сазан, кутум, осетр, севрюга и шип. Беспозвоночными бентоса питаются многие бычки Каспийского моря, которые в свою очередь служат главной пищей ценных хищников — судака, белуги, тюленя. Бентос прибрежных мелководий — главный источник пищи для многих водоплавающих и околоводных птиц.

10.1. Видовой состав и фаунистические комплексы бентоса

Видовой состав каспийской донной фауны значительно беднее, чем в родственном солоноватоводном Азово-Черноморском бассейне и, особенно, в открытых морях. Это следствие длительной изоляции Каспия от океана, понижения общей солености и изменения солевого состава вод, низких зимних температур. Для фауны донных беспозвоночных Каспия характерно выпадение целых типов и классов животных, обитающих в морях с океанической соленостью. По числу видов и биомассе в бентосе Каспия наиболее богато представлены ракообразные (143 вида), моллюски (106) и черви (96). Из 379 видов свободноживущих донных беспозвоночных на долю этих трех групп приходится более 90 % (табл. 10.1).

Качественно небогатая донная фауна моря разнородна по происхождению и состоит из четырех фаунистических комплексов. Наиболее характерная ее особенность — преобладание видов так называемого автохтонного каспийского комплекса. Эти самобытные солоноватоводные виды ведут свое начало от морской третичной фауны, которая сформировалась в процессе эволюции водоемов, существовавших на месте современного Каспийского моря. К автохтонному комплексу относятся более $^3/_4$ общего числа видов донной фауны Каспия. Остальные комплексы представлены несколькими видами, проникшими в Каспий из северных морей (арктический комплекс), видами средиземноморского происхождения, а также пресноводными по генезису видами, которые приспособились к обитанию в солоноватой воде Каспийского моря (см. табл. 10.1).

Для автохтонного комплекса донной фауны Каспия характерны группы ракообразных и мол-

Таблица 10.1

Число видов свободноживущих донных беспозвоночных Каспийского моря [по 43]

Группа	Число видов в фаунистическом комплексе				
	всего	автохтонном	средиземноморском	арктическом	пресноводном
Фораминиферы	13	13	—	—	—
Обыкновенные губки	1	1	—	—	—
Гидрозоа	5	3	2	—	—
Турбеллярии	25	18	—	—	7
Немертины	1	1	—	—	—
Колокольчиковые	1	—	1	—	—
Нематоды	52	35	11	—	6
Полихеты	7	4	3	—	—
Олигохеты	8	—	—	—	8
Пиявки	3	3	—	—	—
Усоногие	2	—	2	—	—
Ракушковые	23	23	—	—	—
Мизиды	20	16	—	4	—
Кумовые	18	18	—	—	—
Бокоплавы	73	68	1	4	—
Равноногие	2	1	—	1	—
Десятиногие	5	2	3	—	—
Хирономиды	8	—	—	—	8
Двустворчатые моллюски	25	22	3	—	—
Брюхоногие моллюски	81	81	—	—	—
Мшанки	6	1	3	—	2
Всего	379	310	29	9	31
В том числе в %	100	81,8	7,6	2,4	8,2

люсков, в составе которых отмечается большое количество эндемичных видов.

В период исследований средиземноморский комплекс пополнился новыми видами как вследствие планомерной интродукции, так и в результате стихийного проникновения. В 1920—1930 гг. в Каспий случайно попали и размножились моллюск митилястер (*Mytilaster lineatus*) и два вида креветок рода *Palaemon*. В 1939 г. в целях повышения продуктивности зоны мягких грунтов была осуществлена интродукция в Каспийское море из Азовского полихеты нереис (*Nereis diversicolor*) и моллюска абры (*Abra ovata*), которые широко распространились в прибрежной области Каспийского моря. После ввода в эксплуатацию Волго-Донского канала (1954 г.) в Каспийское море переселились еще несколько видов донных беспозвоночных средиземноморского комплекса. Из них в бентосе моря наиболее массовое развитие получили усоногий рачок балянус (*Balanus improvisus*) и краб (*Rhithropanopeus harrisii*). Преодолеть пресноводный путь по Волго-Донскому каналу и нижнему течению Волги могут только наиболее эврибионтные формы, поэтому вселенцы широко распространяются в различных частях Каспийского моря.

В бентосе Северного Каспия преобладают виды, которые выносят колебания температуры и солености в широком диапазоне. В средней и южной частях моря, наряду с эврибионтными видами, около $^1/_3$ составляют формы стеногалинные и стенотермные, которые обитают при солености не ниже 10 ‰ и температуре не выше 15 °С.

Видовое разнообразие донной фауны увеличивается от Северного Каспия к Южному Каспию в основном за счет роста числа видов автохтонного комплекса и появления арктических по генезису видов (табл. 10.2). Донные беспозвоночные арктического комплекса населяют открытые районы Среднего и Южного Каспия на глубинах от 40 до 300—600 м с постоянно низкой температурой (4—5 °С) и высокой соленостью (12—13 ‰). Температура 10 °С определяет верхнюю границу распространения видов арктического комплекса в Каспийском море [106].

Таблица 10.2

Число видов донных беспозвоночных различных фаунистических комплексов и экологических групп в отдельных частях Каспийского моря [по 43]

Фаунистический комплекс	Северный Каспий	Средний Каспий	Южный Каспий
Автохтонный	178	287	310
Средиземноморский	25	29	29
Арктический	—	9	9
Пресноводный	31	31	31
Всего	234	356	379

10.2. Распределение бентоса

Общую продуктивность дна Каспийского моря определяют немногие наиболее массовые виды макробентоса (размер более 3 мм). Из 379 видов донных беспозвоночных только примерно 30 видов из ракообразных, моллюсков и червей встречаются часто, отличаются высокой численностью и биомассой. Наиболее плотные поселения (сотни граммов на 1 м²) донных беспозвоночных ограничены в Каспийском море прибрежными районами и глубинами до 50—75 м [107]. За пределами 100-метровой изобаты, где недостаточно пищи, кислорода и тепла, бентоса мало (доли грамма на 1 м²). Эти площади с разреженным донным населением не представляют ценности как нагульные угодья для бентосоядных рыб, хотя и составляют более 60 % площади всей акватории Среднего и Южного Каспия.

В прибрежных хорошо прогреваемых районах Среднего и Южного Каспия наибольшую биомассу на глубинах до 20 м образуют донные беспозвоночные средиземноморского комплекса (абра, церостодерма, митилястер, нереис). Такие массовые представители автохтонного комплекса донной фауны, как дрейссена, гаммариды, корофиды, в наибольшем количестве встречаются в зоне глубин 20—50 м. За пределами 50-метровой изобаты биомасса большинства форм бентоса существенно уменьшается (табл. 10.3).

В Северном Каспии распределение донных беспозвоночных определяется в первую очередь соленостью. Биомасса форм средиземноморского комплекса увеличивается по мере возрастания солености и наибольшие ее значения отмечаются в районах, находящихся под влиянием соленых среднекаспийских вод, на глубинах более 6 м. Массовое развитие большинства видов пресноводного и автохтонного комплексов донной фауны наблюдается

Таблица 10.3

Распределение общей биомассы бентоса, массовых видов и групп (г/м²) по зонам глубин в Среднем и Южном Каспии в августе 1976 г., по [43]

Вид и группа	Зона глубин, м								
	в Северном Каспии						в Южном Каспии		
	менее 10	10—20	21—25	26—50	51—100	101—200	менее 20	21—50	50—100
Абра	168,1 / 11,2	52,8 / —	66,1 / —	0,1 / —	—	—	102,1 / 13,9	27,9 / 2,7	24,4 / 0,0
Церастодерма	46,2 / 0,7	44,4 / 0,1	26,1 / 0,0	0,3 / —	—	—	54,4 / 5,3	3,9 / 0,1	— / 0,0
Митилястер	21,8 / 2,5	1,4 / 27,8	2,4 / 10,8	— / 15,7	— / 0,2	—	3,0 / 0,7	9,7 / 4,0	—
Дрейссена	— / 0,4	— / 17,5	0,3 / 40,7	111,7 / 124,6	11,2 / 28,8	—	—	1,7 / 0,3	3,5 / —
Нереис	10,2 / 4,8	6,6 / 5,3	3,1 / 4,7	1,6 / —	0,0 / 0,0	—	5,3 / 2,3	2,2 / 1,4	9,2 / —
Гаммариды	0,0 / 3,7	0,0 / 7,6	0,8 / 17,5	4,0 / 10,2	2,6 / 5,8	2,0 / 1,5	0,0 / 0,0	0,2 / 0,4	1,1 / 0,4
Корофииды	0,0 / 0,7	0,0 / 3,2	1,1 / 17,5	0,9 / 5,3	1,5 / 2,8	0,4 / 0,1	—	1,5 / 2,5	0,2 / 0,7
Весь бентос	282,9 / 52,1	112,9 / 132,9	123,4 / 140,5	243,8 / 259,5	27,4 / 46,1	7,7 / 3,1	175,7 / 24,3	64,7 / 23,0	50,2 / 5,3

Примечание. Числитель — западная часть; знаменатель — восточная часть.

в прибрежных опресненных районах Северного Каспия, на глубинах менее 6 м (табл. 10.4).

Общая биомасса бентоса возрастает в районах повышенной продуктивности (рис. 10.1). Более высокая биомасса донных беспозвоночных, как правило, отмечается в западной половине, куда поступает сток всех главных рукавов дельты Волги, тогда как восточная его часть получает питательные вещества лишь с небольшим стоком р. Урала и примерно с $^1/_3$ стока восточных рукавов дельты Волги [41]. Эти различия стали особенно резкими после зарегулирования Волги и относительного уменьшения доли стока по восточным рукавам (табл. 10.5). Сток Волги и рек кавказского побережья Каспия оказывает стимулирующее влияние и на уровень продуктивности бентоса западных районов Среднего и Южного Каспия. Здесь повышенной биомассой бентоса характеризуется прибрежная область в районе Махачкала — Худат и Прикуринском районе. Высокая биомасса бентоса у восточного побережья Среднего Каспия в районе п-ова Мангышлак до м. Песчаного и зал. Кендерли формируется под влиянием существующего здесь апвеллинга.

Таблица 10.4

Распределение биомассы донных беспозвоночных (г/м²) разных фаунистических комплексов по зонам глубин в Северном Каспии в июне 1981—1982 гг.

Фаунистический комплекс	Зона глубин, м			
	3	3—6	6—10	10
Пресноводный	9,6/2,5	14,1/1,3	2,0/1,6	1,5/—
Автохтонный	35,3/27,0	46,0/30,2	14,9/13,5	39,2/—
Средиземноморский	0/7,8	5,2/15,8	72,2/30,8	97,0/—
Весь бентос	44,9/37,3	65,3/47,3	89,1/45,9	136,7/—

Примечание. Числитель — западная, знаменатель — восточная часть Северного Каспия.

Таблица 10.5

Биомасса донных беспозвоночных (г/м²) в западной (числитель) и восточной (знаменатель) частях Северного Каспия

Годы	Моллюски	Черви	Ракообразные	Прочие	Всего
1935	42,1/20,1	0,3/0,6	1,1/4,7	0,1/0,0	43,6/25,4
1938—1940	6,4/9,7	2,1/1,5	0,8/1,1	0,1/0,1	9,4/12.4
1947—1956	22,0/15,4	4,1/2,4	2,7/2,5	0,3/0,1	29,1/20,4
1957—1962	85,2/10,7	8,2/5,5	6,2/4,5	0,5/0,1	100,1/20,8
1963—1969	51,8/17,8	7,1/3,6	4,4/4,0	0,3/0,0	63,6/25,4
1970—1974	43,4/27,6	7,9/5,8	6,7/5,1	0,4/0,0	58,4/38,5
1975—1980	63,0/38,4	7,9/4,7	7,4/3,4	1,4/0,7	79,7/47,2
1981—1987	91,1/25,7	12,7/6,5	9,0/4,6	1,6/0,0	114,4/36,8

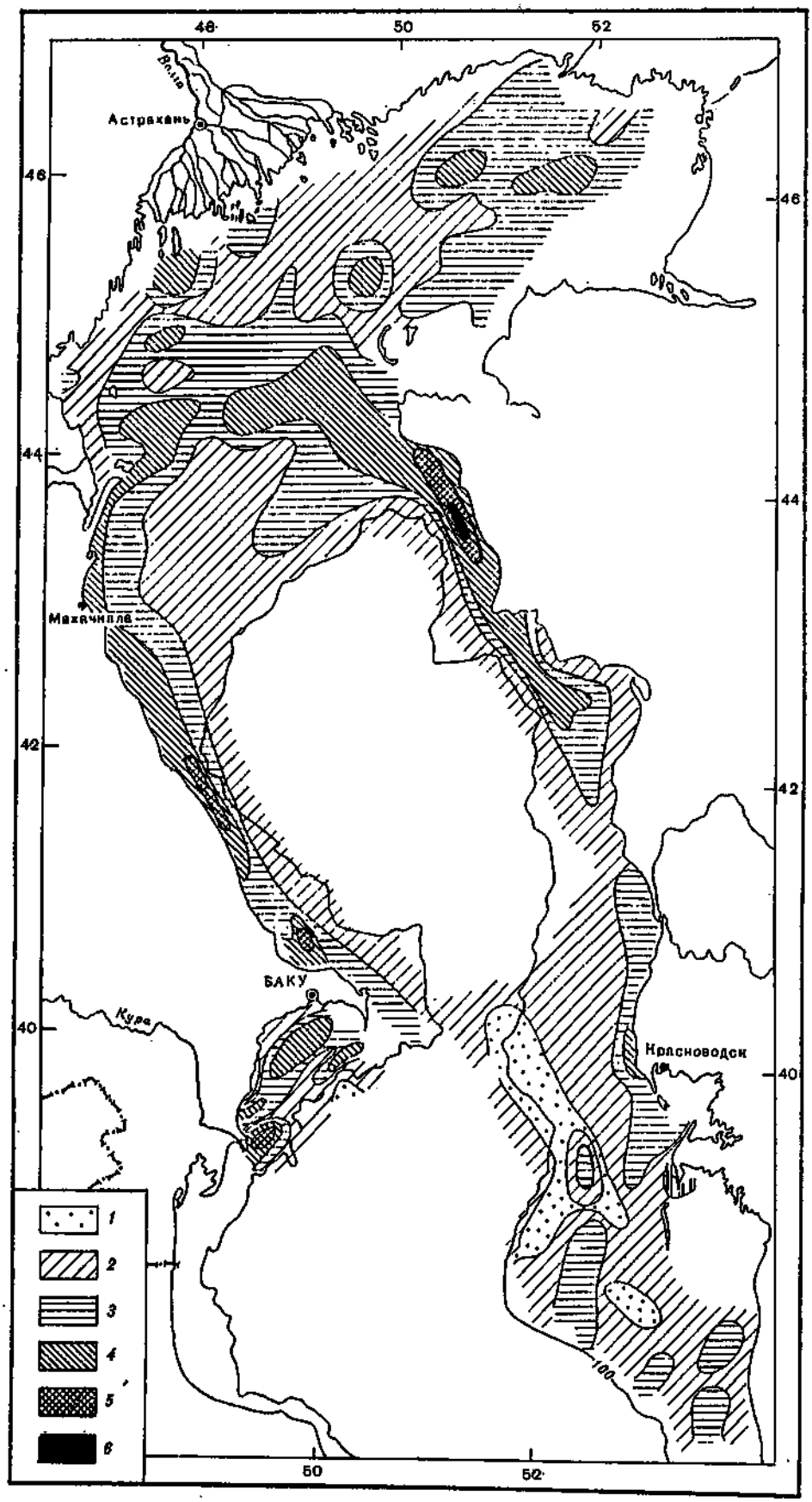


Рис. 10.1. Распределение общей биомассы бентоса (г/м²) в Каспийском море в августе 1976 г.

1 — менее 1; *2* — от 1 до 30; *3* — от 30 до 100; *4* — от 100 до 500; *5* — от 500 до 1000; *6* — более 1000.

Сезонные изменения в бентосе моря определяются особенностями размножения и роста донных беспозвоночных, гибелью их от выедания рыбами и под воздействием неблагоприятных факторов внешней среды.

Для бентоса Северного Каспия характерно повышение численности и биомассы большинства донных беспозвоночных от апреля к июню вследствие появления нового поколения животных, которые начинают размножаться в мае (табл. 10.6).

Таблица 10.6

Сезонные изменения биомассы (г/м²) и численности беспозвоночных бентоса (экз/м²) в Каспийском море в 1976—1977 гг., по [43]

Кормовые организмы рыб	Апрель	Июнь	Август	Октябрь	Февраль
Северный Каспий					
Главные	13,9 / 4005	37,6 / 7528	28,0 / 5172	35,4 / 4992	—
Второстепенные	30,5 / 7112	65,2 / 13851	59,1 / 11721	82,4 / 13668	—
Средний Каспий, западная часть					
Главные	—	—	6206	2280	13668
Второстепенные	—	—	8885	4934	13981
Восточная часть					
Главные	—	—	7924	6217	5734
Второстепенные	—	—	10 823	8507	7603
Южный Каспий, западная часть					
Главные	—	—	3466	1594	9572
Второстепенные	—	—	4167	2385	11800
Восточная часть					
Главные	—	—	962	808	1620
Второстепенные	—	—	1164	1006	2117

Примечание. Для Северного Каспия в числителе — биомасса, в знаменателе — численность.

Между июнем и августом существенно уменьшается количество тех форм, которые наиболее интенсивно потребляются рыбами (нереис, гаммариды, корофииды, кумовые, хирономиды, дрейссена). К осени в связи с перемещением рыб-бентофагов с пастбищ Северного Каспия к дельтам рек и в южные районы моря и ослаблением интенсивности выедания наблюдается увеличение биомассы как главных объектов питания рыб, так и слабо использованных животных бентоса (дидакна, митилястер, балянус, олигохеты, церастодерма).

В средней и южной частях Каспийского моря трофическая деятельность рыб также влияет на сезонную динамику бентоса. Так, существенное уменьшение численности абры, нереис и высших ракообразных от августа к октябрю в западных районах Среднего и Южного Каспия совпадает с образованием в этих районах осенне-зимних скоплений осетровых. Восточные районы характеризуются менее резкими сезонными колебаниями количества донных беспозвоночных. Максимальная их численность во всех районах Среднего и Южного Каспия наблюдается в феврале в результате интенсивного размножения многих видов донных животных [43]. Конечно, на сезонные изменения количества бентоса влияет и газовый режим (дефицит кислорода), особенности биологических циклов разных видов, их биотические взаимоотношения, обеспеченность пищей, но эти вопросы изучены еще слабо.

10.3. Экологические группы донных беспозвоночных и многолетние изменения их биомассы

В бентосе Каспия различают 4 экологические группы донных беспозвоночных, представляющие совокупность форм, обитающих в сходных условиях солености воды [28]. Группа пресноводных форм распространяется в пределах опресненного устьевого взморья при солености 0—2‰. Для нее характерны пресноводные брюхоногие и двустворчатые моллюски, олигохеты, личинки хирономид.

Группа прибрежных и слабосолоноватоводных форм состоит как из пресноводных по генезису беспозвоночных (олигохеты, личинки хирономид), так и из представителей автохтонной каспийской фауны (высшие ракообразные, амфаретиды, моллюски *Adacna vitrea*, *D. polymorpha polymorpha*. Эти формы обитают преимущественно при солености от 0—2 до 7‰. Некоторые формы этой группы, например высшие ракообразные, эвригалинны и способны жить в широком диапазоне солености и глубины [104, 105]. Их приуроченность к прибрежной и слабосолоноватой области Северного Каспия обусловлена обилием здесь детрита — их пищи — который выносится из дельт и с морского прибрежья. Донные беспозвоночные группы прибрежных и слабосолоноватоводных форм составляют главную пищу молоди всех каспийских бентосоядных рыб, а также белуги, судака и взрослого северокаспийского леща.

Группа солоноватоводных форм обитает при солености от 3—5 до 10—11‰. Для нее характерно массовое развитие реликтовых каспийских моллюсков, ареал которых ограничен северной частью Каспийского моря (*Didacna trigonoides*, *Hypanis* (*Monodacna*) *angusticostata*, *Dreissena polymorpha andrusovi*). Эти формы служат пищей для северокаспийской воблы, отчасти леща, осетра, бычков.

Наконец, группу морских форм составляют средиземноморские по происхождению беспозвоночные: церастодерма (*C. lamarckii*), митилястер (*M. lineatus*), абра (*A. ovata*), нереис (*N. diversicolor*), балянус (*B. improvisus*) и солелюбивые формы реликтового каспийского фаунистического комплекса. Последние обитают главным образом в Среднем и Южном Каспии (*Didacna barbotdemarnyi*, *D. longipes*, *Dreissena rostriformis*), но в небольшом количестве проникают в южную часть Северного Каспия. Массовое развитие группы морских форм наблюдается при солености выше 8—10‰. Представителями этой группы питаются главным образом осетр, севрюга и бычки.

Донные беспозвоночные группы прибрежных и солоноватоводных форм наибольшую биомассу создают в мелководных районах Северного Каспия, на глубинах менее 6 м (табл. 10.7). Только более эвригалинная из солоноватоводных моллюсков трехгранная дидакна значительную биомассу образует в более глубоких зонах Северного Каспия. Высокая биомасса группы морских форм приуро-

Таблица 10.7

Распределение биомассы донных беспозвоночных (г/м²) разных экологических групп по глубинам в Северном Каспии (1981—1987 гг.)

Группы донных беспозвоночных	Зона глубин, м			
	<3	3—6	6—10	>10
Прибрежные и слабосолоноватоводные	31,3 / 10,2	35,3 / 6,9	4,8 / 6,5	7,4 / —
Солоноватоводные	2,2 / 16,3	31,1 / 23,4	18,4 / 5,7	13,6 / —
Морские	0,1 / 3,8	9,2 / 9,6	135,6 / 27,0	218,3 / —

Примечание. Числитель — западная, знаменатель — восточная часть Северного Каспия.

чена к открытым, более глубоководным, районам Северного Каспия, особенно в западной его части. Сюда вместе со среднекаспийскими водами заносятся личинки многих донных животных, типичных обитателей Среднего Каспия (митилястер, балянус, дидакны и др.), которые при благоприятных условиях солености оседают на дно и формируют в Северном Каспии более или менее обширные поселения морских форм.

До начала падения уровня Каспийского моря в 1930-х годах соленость вод почти на всей акватории Северного Каспия была благоприятной (менее 9‰) для обитания пресноводной и автохтонной солоноватоводной фауны. Донные беспозвоночные группы прибрежных слабосолоноватоводных и солоноватоводных форм составляли в 1935 г. основную массу бентоса (табл. 10.8).

В результате понижения уровня моря и сокращения стока Волги почти половина акватории Северного Каспия к 1940 г. оказалась занятой водами повышенной солености. Средняя соленость в вегетационный период повысилась с 8,6‰ в 1934 г. до 11—12‰ в 1939—1940 гг. [25]. В восточной половине Северного Каспия образовались очаги повышенной солености до 15—17‰ в связи с выносом вод из обсыхающих заливов Комсомолец и Кайдак [45]. Быстрое понижение уровня моря, обсыхание больших акваторий Северного Каспия и осолонение его вод вызвали перестройку сообществ донной фауны и обусловили понижение биомассы бентоса. Общая биомасса донных беспозвоночных от 1935 до 1938—1940 гг. уменьшелась в 4 раза, а биомасса солоноватоводных моллюсков — почти в 10 раз (см. табл. 10.8).

В дальнейшем (1947—1956 гг.) с увеличением водности и понижением солености вод Северного Каспия происходило восстановление уровня количественного развития солоноватоводных и прибрежных форм. Однако солоноватоводные моллюски (дрейсена, гипанис, дидакна) никогда уже не создавали такой биомассы, как до падения уровня моря. Эти моллюски, особенно дрейссены, после понижения уровня утратили наиболее плотно заселенные биотопы в мелководной опресняемой зоне Северного Каспия (табл. 10.9). В этот период наблюдалось некоторое увеличение биомассы морских донных беспозвоночных, чему способствовала и успешная акклиматизация нереис [23]. Общая биомасса бентоса в 1947—1956 гг. была на 40 % меньше, чем в 1935 г. После зарегулирования стока Волги Куйбышевским (1956 г.) и Волгоградским (1959 г.) гидроузлами создались благоприятные условия для массового развития группы морских форм. В результате уменьшения объема стока Волги в половодье и усиления поступления среднекаспийских вод в южной части Северного Каспия образовались устойчивые зоны повышенной солености, на 40 % уменьшились ее сезонные изменения [45]. Режим солености благоприятствовал расширению ареала и увеличению биомассы донных беспозвоночных средиземноморского (митилястер, балянус, абра, церастодерма, нереис) и соленолюбивого автохтонного комплексов (морская дидакна, клювовидная дрейссена и др.) (табл. 10.10). Для бентоса Северного Каспия при зарегулированном стоке стало характерным преобладание биомассы морских форм, особенно вселенцев, над местными солоноватоводными и пресноводными видами. Это особенно проявилось в период интенсивного понижения уровня моря в середине 1970-х годов, когда, помимо акклиматизантов, значительную биомассу создавали и соленолюбивые формы автохтонного каспийского комплекса — среднекаспийские виды (родов монодакна, дидакна, дрейссена).

Для северокаспийского бентоса периода зарегулированного стока Волги характерно также увеличение биомассы пресноводных донных беспозвоночных (олигохеты, пиявки, брюхоногие моллюски) в группе прибрежных и слабосолоноватоводных форм (табл. 10.8, 10.9). Это, видимо, связано с влиянием образовавшейся в устьевой области

Таблица 10.8

Многолетние изменения биомассы (г/м²) экологических групп бентоса Северного Каспия

Экологические группы донных беспозвоночных	Годы								
	1935	1938—1940	1947—1956	1957—1962	1963—1969	1970—1974	1975—1978	1979—1982	1983—1987
Прибрежные и слабосолоноватоводные	9,1	3,5	6,5	14,4	9,8	13,8	10,0	19,4	20,6
в том числе пресноводные формы	1,9	1,4	2,3	7,0	4,1	4,4	3,0	8,2	9,0
Солоноватоводные	29,9	3,5	12,1	17,2	12,5	13,4	13,2	16,7	24,1
Морские	1,3	2,9	5,0	40,2	28,2	23,6	45,2	31,8	55,5
в том числе средиземноморские формы	1,3	2,9	5,0	40,2	26,3	18,4	38,2	28,5	45,5
Весь бентос	40,3	9,9	23,6	71,8	50,5	50,8	68,4	67,9	100,2

Таблица 10.9

Многолетние колебания средней биомассы (г/м²) прибрежных и солоноватоводных форм бентоса в западной (числитель) и восточной (знаменатель) частях Северного Каспия в июне

Год	Моллюски					Черви			Ракообразные	Хирономиды	Все группы
	Дрейссена	Адакна	Монодакна	Дидакна	Всего	Олигохеты, пиявки	Амфаретиды	Всего			
1935	5,4/4,9	2,0/0,0	8,8/3,9	1,5/9,4	17,7/18,2	0,3/0,4	0,0/0,2	0,3/0,6	1,0/4,6	0,1/—	19,1/23,4
1938	0,8/0,8	0,9/0,9	0,5/0,5	0,3/0,3	2,5/2,5	0,0/0,2	0,0/0,0	0,0/0,2	0,4/0,4	0,2/0,2	3,1/3,1
1940	1,1/0,2	2,5/0,8	0,8/1,3	1,7/0,8	6,1/3,1	2,9/1,9	1,0/0,8	3,9/2,7	1,3/1,7	0,1/0,1	11,4/7,6
1947	0,9/6,1	0,7/4,1	2,0/2,9	2,0/6,1	5,6/19,2	2,3/0,9	0,4/0,1	2,7/1,0	3,6/2,6	1,0/0,3	12,9/23,1
1948	3,6/9,2	0,5/0,7	8,9/2,4	2,4/14,9	15,4/27,2	1,1/1,3	0,1/0,1	1,2/1,4	1,3/1,3	0,4/0,0	18,3/29,9
1949	4,5/9,6	1,4/2,5	9,3/4,6	0,4/9,8	15,6/26,5	0,7/1,1	0,1/0,0	0,8/1,1	1,7/2,6	0,3/0,0	18,4/30,2
1950	2,1/4,3	0,5/2,2	5,6/2,1	1,1/4,9	9,3/13,5	1,4/0,5	0,1/0,1	1,5/0,6	1,4/2,0	0,2/0,0	12,4/16,1
1951	0,7/5,4	1,6/1,0	8,6/2,5	0,8/5,6	11,7/14,5	0,5/0,7	0,0/0,0	0,5/0,7	1,9/1,5	0,0/0,0	14,1/16,7
1952	0,3/1,3	1,4/0,8	9,5/2,3	0,5/7,0	11,7/11,4	0,8/0,6	0,1/0,0	0,9/0,6	2,7/2,4	0,1/0,0	15,4/14,4
1953	0,3/0,9	1,4/0,4	5,3/2,3	0,5/4,1	7,5/7,7	1,0/1,1	0,2/0,1	1,2/1,2	3,3/3,4	0,1/0,0	12,1/12,3
1954	4,5/2,1	3,4/0,7	6,2/3,0	0,2/4,2	14,3/10,0	2,2/0,5	1,2/0,1	3,4/0,6	2,4/2,4	0,1/0,0	20,2/13,0
1955	4,2/2,0	1,7/0.6	13,1/1,4	8,9/5,5	27,9/9,5	2,9/1,6	0,7/0,1	3,6/1,7	4,6/3,3	0,6/0,0	36,7/14,5
1956	6,9/2,5	1,4/0,7	8,7/1,8	3,5/4,2	20.5/9,2	5,4/2,3	0,7/0,1	6,1/2,4	4,5/3,2	0,6/0,0	31,7/14,8
1957	14,5/0,7	1,5/1,4	11,5/2,5	2,7/1,5	30,2/6,1	3,1/4,7	0,5/0,3	3,6/5,0	3,3/3,4	0,8/0,0	37,9/14,5
1958	7,7/3,9	1,4/1,3	7,5/1,7	2,4/2,3	19,0/9,2	6,9/3,6	1,2/0,3	8,1/3,9	7,4/5,2	0,5/0,1	35,0/18,4
1959	13,6/3,6	2,9/1,8	15,3/1,5	0,9/2,0	32,7/8,9	4,8/2,9	1,2/0,2	6,0/3,1	6,8/3,7	0,7/0,1	46,2/15,8
1960	12,2/7,7	1,5/0,9	13,9/1,4	2,8/2,9	30,4/12,9	5,2/4,1	0,6/0,4	5,8/4,5	6,7/4,0	0,6/0,0	43,5/21,4
1961	10,2/2,1	1,1/1,5	5,7/0,8	2,3/3,8	19,3/8,2	4,7/3,9	0,3/0,3	5,0/4,2	8,5/6,5	0,1/0,0	32,9/18,9
1962	3,7/3,3	0,3/0,3	1,8/1,8	7,6/3,4	13,4/8,8	2,7/2,4	0,2/0,2	2,9/2,6	4,4/4,3	0,3/0,0	21,0/15,7
1963	1,8/3,3	0,9/0,6	4,2/1,1	3,9/4,3	10,8/9,3	3,7/1,3	0,6/0,1	4,3/1,4	3,0/2,8	0,1/0,0	18,2/13,5
1964	2,0/0,3	0,8/0,7	2,7/2,0	6,4/4,4	11,9/7,4	2,7/1,9	0,7/0,2	3,4/2,1	3,4/2,5	0,4/0,0	19,1/12,0
1965	0,1/0,8	1,2/0,7	5,3/1,1	10,0/5,8	16,6/8,4	4,9/1,6	0,6/0,3	5,5/1,9	3,5/5,3	0,3/0,0	25,9/15,6
1966	0,3/1,8	1,8/1,5	3,8/1,5	14,6/5,3	20,5/10,1	4,0/2,3	0,6/0,2	4,6/2,5	6,6/6,7	0,1/0,0	31,8/19,3
1967	1,2/0,8	1,0/0,4	6,4/0,6	3,5/6,0	12,1/7,8	4,0/1,3	0,7/0,2	4,7/1,5	4,1/3,4	0,7/0,0	18,4/12,7
1968	0,9/2,0	1,1/0,8	10,9/2,0	14,5/9,0	27,4/13,8	5,4/1,0	0,4/0,1	5,8/1,1	5,6/4,1	0,2/0,0	39,0/19,0
1969	2,7/3,1	1,4/1,3	7,8/3,1	18,4/12,4	30,3/19,9	2,7/1,3	0,4/0,2	3,1/1,5	4,8/3,1	0,0/0,0	38,2/24,5
1970	1,8/4,1	5,8/2,2	6,3/4,1	29,8/5,4	43,7/15,8	3,6/2,3	0,5/0,2	4,1/2,5	8,6/10,1	0,2/0,0	56,6/28,4
1971	2,0/1,7	0,7/1,4	5,3/2,1	7,3/3,0	15,3/8,2	3,1/1,4	0,8/0,2	3,9/1,6	5,9/4,6	0,6/0,0	25,7/14,4
1972	1,8/1,1	3,1/1,5	3,2/1,9	11,3/4,5	19,4/9,0	5,9/2,0	1,4/0,3	7,3/2,3	6,0/3,9	0,8/0,0	33,5/15,2
1973	1,9/0,6	2,6/0,6	5,7/2,5	4,7/2,8	14,9/6,5	2,3/4,9	1,3/0,4	3,6/5,3	7,0/2,9	0,1/0,0	25,6/14,7
1974	1,7/1,1	4,0/1,1	9,0/9,1	1,9/17,1	16,6/28,4	4,8/3,4	0,7/0,2	5,5/3,6	6,2/4,1	0,3/0,0	28,6/36,1
1975	0,4/0,7	1,4/0,2	10,0/2,1	3,9/3,1	15,7/6,1	2,8/2,3	0,2/0,1	3,0/2,4	4,5/2,3	0,0/0,0	23,2/10,8
1976	0,7/0,4	1,3/0,0	7,7/2,0	2,3/6,2	12,0/8,6	2,2/1,1	0,7/0,0	2,9/1,1	3,0/1,7	0,7/0,0	18,6/11,4
1977	2,4/0,6	4,7/1,5	11,8/4,4	2,0/14,8	20,9/21,3	4,9/0,6	0,9/0,1	5,8/0,7	6,4/4,0	0,2/0,0	33,3/26,0
1978	1,6/0,6	5,5/0,1	3,9/3,1	3,4/18,7	14,4/22,5	2,8/0,6	0,6/0,2	3,4/0,8	6,9/2,5	0,2/0,0	24,9/25,8
1979	4,3/0,9	3,5/0,2	7,4/6,1	1,8/19,6	17,0/26,8	4,4/0,9	0,5/0,1	5,0/1,0	11,1/4,3	0,1/0,0	33,2/32,1
1980	9,1/1,0	1,4/0,1	3,2/2,3	1,8/9,8	15,5/13,2	6,4/1,3	1,1/0,2	7,5/1,5	12,4/5,3	1,3/0,0	36,7/20,0
1981	3,8/1,4	5,3/0,6	6,9/4,3	6,1/15,7	22,1/22,0	6,0/2,0	1,3/0,4	7,3/2,4	8,5/6,2	0,9/0,0	38,8/30,6
1982	4,2/1,5	4,0/0,1	8,1/2,7	2,0/16,1	18,3/20,5	8,8/1,4	2,5/0,1	11,3/1,5	7,1/2,5	3,4/0,0	40,1/24,5
1983	3,5/0,5	4,8/0,4	11,8/5,9	7,4/11,2	27,5/18,0	5,7/1,9	1,8/0,1	8,5/2,0	10,1/4,3	1,3/0,0	47,4/24,3
1984	1,8/0,5	4,0/0,4	10,6/2,7	13,3/18,0	29,7/11,6	6,8/1,9	1,0/0,2	7,8/2,1	7,8/3,1	0,7/0,0	46,0/16,8
1985	2,1/2,1	5,8/0,7	9,1/8,9	15,1/27,4	32,1/39,1	9,2/2,9	1,3/0,9	10,5/3,8	10,3/4,9	0,3/0,0	53,2/47,8
1986	1,8/0,9	2,9/0,8	13,0/5,2	14,7/9,3	32,4/16,2	7,3/2,2	1,6/0,2	8,9/2,4	8,7/5,2	0,6/0,0	50,6/23,8
1987	11,5/0,6	1,9/0,8	12,7/1,0	7,2/3,2	33,3/5,6	12,7/2,8	2,3/0,4	15,0/3,2	10,4/5,7	4,0/0,0	62,7/14,5

Таблица 10.10

Многолетние колебания средней биомассы (г/м²) морских форм бентоса в западной (числитель) и восточной (знаменатель) частях Северного Каспия в июне

Год	Моллюски							Черви нереис	Ракообразные Баланус	Все группы
	Митилястер	Дрейссена	Дидакна	Церастодерма	Абра	Прочие	Всего			
1935	0,9/—	—	—	0,5/1,4	—	—	1,4/1,4	—	—	1,4/1,4
1938	0,2/0,2	—	—	1,3/1,3	—	—	1,5/1,5	—	—	1,5/1,5
1940	—	—	—	0,8/12,3	—	—	0,8/12,3	—	—	0,8/12,3
1947	—	—	—	0,1/—	—	—	0,1/—	1,3/1,2	—	1,5/1,2
1948	3,5/—	—	—	6,0/—	—	—	9,5/—	3,2/0,7	—	12,7/0,7
1949	7,5/1,8	—	—	1,3/0,1	—	—	8,8/1,9	1,6/1,0	—	10,4/2,9
1950	4,7/—	—	—	9,4/1,0	—	—	14,1/1,0	1,9/0,9	—	16,0/1,9
1951	8,3/0,0	—	—	2,3/0,4	—	—	10,6/0,4	3,2/1,1	—	13,8/1,5
1952	0,9/—	—	—	2,5/0,1	—	—	3,4/0,1	1,2/0,9	—	4,6/1,0
1953	4,1/0,1	—	—	0,1/0,0	—	—	4,2/0,1	1,9/1,3	—	6,1/1,4
1954	0,1/—	—	—	0,1/0,2	—	—	0,2/0,2	0,9/1,4	—	1,1/1,6
1955	4,7/—	—	—	7,5/0,7	0,1/—	—	12,3/0,7	1,9/1,7	—	14,2/2,4
1956	0,7/0,0	—	—	1,1/0,2	0,2/0,1	—	2,0/0,3	1,5/2,5	—	3,5/2,8
1957	18,5/—	—	—	5,4/0,0	11,1/0,5	—	35,0/0,5	2,5/1,4	—	37,5/1,9
1958	52,7/—	—	—	3,4/—	22,4/3,2	—	78,5/3,2	2,1/2,4	—	80,6/5,6
1959	4,0/0,0	—	—	1,4/—	17,0/0,6	—	22,4/0,6	1,3/1,9	—	23,7/2,5
1960	16,8/—	—	—	7,3/—	31,3/0,9	—	55,4/0,9	4,2/1,5	—	59,6/2,4
1961	62,5/—	—	—	2,2/—	21,2/0,7	—	85,9/0,7	3,3/1,1	—	89,2/1,8
1962	50,3/0,1	—	—	1,9/0,1	16,3/1,8	—	68,3/2,0	4,0/1,2	—	72,3/3,2
1963	48,7/—	—	—	3,7/0,0	11,3/2,7	—	63,7/2,7	3,6/2,4	—	67,3/5,1
1964	37,0/—	—	—	0,8/—	5,3/5,0	—	43,1/5,0	2,7/1,7	—	45,8/6,7
1965	36,5/—	—	—	1,4/—	5,9/7,1	—	43,8/7,1	3,6/0,9	—	47,4/8,0
1966	8,8/—	—	—	2,8/0,0	18,4/6,3	—	30,0/6,3	2,5/1,8	—	32,5/8,1
1967	0,8/—	—	—	5,2/0,1	8,7/4,9	—	14,7/5,0	2,1/3,1	—	16,8/8,1
1968	4,5/—	—	—	3,4/0,5	9,5/9,1	—	17,4/9,6	2,0/1,3	—	19,4/10,9
1969	0,6/—	—	—	0,6/0,8	9,0/11,3	—	10,2/12,1	1,5/1,8	—	11,7/13,9
1970	3,2/0,0	—	—	3,1/0,8	11,2/26,2	—	17,5/27,0	5,8/3,4	—	23,3/30,4
1971	4,3/1,3	—	—	2,1/0,9	14,7/12,1	—	21,1/14,3	1,9/2,0	—	23,0/16,3
1972	1,1/—	0,3/—	—	1,0/—	12,6/5,3	—	15,0/5,3	2,5/2,4	—	17,5/7,7
1973	3,3/—	0,6/—	6,2/—	1,6/0,1	8,1/11,7	—/0,1	19,8/11,9	2,1/3,3	—	21,9/15,2
1974	2,6/—	—	14,8/—	2,2/0,1	11,3/12,3	—/0,2	30,9/12,6	2,9/2,5	—	33,8/15,1
1975	17,2/0,0	0,1/—	8,1/—	8,1/0,0	8,9/1,5	0,0/0,0	42,4/1,5	4,5/3,2	—	46,9/4,7
1976	9,7/—	1,4/—	9,2/0,0	7,2/0,1	20,9/21,5	0,0/0,1	48,4/21,7	3,7/5,3	—	52,1/27,0
1977	17,9/—	2,4/—	18,5/0,3	4,1/3,6	18,9/32,7	—/0,1	61,8/36,7	2,6/3,7	—	64,4/40,4
1978	32,3/—	0,2/—	2,0/2,7	0,9/4,3	13,3/33,2	0,9/0,2	49,6/40,4	3,7/3,2	—	53,3/43,6
1979	29,8/0,1	0,5/—	4,1/—	1,3/1,2	9,4/18,4	—	45,1/19,7	3,3/2,3	1,3/0,7	49,7/22,7
1980	11,8/—	0,1/—	1,6/—	1,6/0,3	9,8/10,4	—	24,9/10,7	2,4/3,2	1,8/0,2	29,1/14,1
1981	21,9/0,0	—	13,7/—	1,6/0,8	9,8/10,1	2,8/0,8	49,8/11,7	2,7/2,8	1,4/0,6	53,9/15,1
1982	10,1/0,0	0,3/—	3,1/—	5,0/0,6	6,9/14,5	0,1/0,4	25,5/15,5	1,6/3,5	0,7/3,0	27,8/22,0
1983	60,8/0,0	—	3,3/—	2,6/0,7	10,0/8,0	4,9/0,3	81,6/9,0	4,7/4,4	4,1/1,8	90,4/15,2
1984	19,0/—	0,0/—	6,3/—	0,2/0,0	5,7/1,8	3,2/0,9	34,4/2,7	3,8/4,0	1,6/0,3	39,8/7,0
1985	32,4/0,0	0,1/—	9,2/—	0,7/0,0	12,6/4,1	3,5/0,2	58,5/4,3	2,8/5,1	2,6/1,0	63,9/10,4
1986	58,1/—	0,2/—	13,1/—	0,5/—	13,2/2,0	7,3/1,0	92,4/3,0	2,8/4,1	4,8/0,8	100,0/7,9
1987	51,8/0,0	2,0/—	29,0/—	1,0/—	8,9/0,5	1,2/0,1	93,9/0,6	2,5/3,7	6,8/0,0	103,2/4,3

Таблица 10.11

Годовые изменения биомассы донных беспозвоночных (г/м²) в Среднем и Южном Каспии (до изобаты 100 м), [43]

Донные беспозвоночные	Средний Каспий										Южный Каспий								
	Западная часть					Восточная часть					Западная часть				Восточная часть				
	1933, 1934 гг.	1956 г.	1962 г.	1971 г.	1976 г.	1935 г.	1956 г.	1962 г.	1971 г.	1976 г.	1956 г.	1962 г.	1966 г.	1976 г.	1935 г.	1956 г.	1962 г.	1956 г.	1979 г.
Моллюски:	169	85	291	32	117	304	132	200	203	110	727	289	160	209	51	36	32	76	12
митилястер	—	41	125	3	2	97	72	124	148	10	721	269	134	9	46	5	16	52	0
дрейссена	109	19	23	4	49	171	48	58	32	64	—	—	0	1	0	—	—	—	2
кардиниды	59	25	19	11	42	35	12	16	21	36	6	7	14	56	4	32	0	10	4
абра	—	—	124	14	24	—	—	0	1	0	—	13	12	143	—	—	16	14	6
прочие	1	0	0	0	0	1	—	2	1	0	—	0	—	0	1	—	0	—	0
Черви:	2	6	7	7	5	1	2	3	4	3	8	1	3	8	0	2	1	3	4
нереиды	—	4	4	4	3	—	1	1	2	1	8	1	2	8	0	1	1	3	4
прочие	2	2	3	3	2	1	1	2	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Высшие ракообразные:	3	13	8	8	8	7	15	19	27	15	2	0	3	9	0	2	2	3	4
амфиподы	2	8	4	4	3	6	13	17	26	13	1	0	0	1	0	2	0	1	1
прочие	1	5	4	4	5	1	2	2	1	2	1	0	3	8	0	0	2	2	3
Баланус	—	1	11	4	26	—	0	7	15	16	1	—	21	16	—	—	1	13	2
Прочие	1	0	0	0	0	1	0	2	0	1	—	0	0	0	—	0	—	—	0
Всего	175	105	317	51	156	313	149	231	249	145	738	290	187	242	51	49	36	96	22
Вселенцы	—	49	264	26	57	97	73	132	166	27	735	283	171	183	46	6	34	83	15
Кормовой бентос	58	35	147	32	53	9	18	21	33	20	16	21	31	216	4	35	18	30	18

Волги обширной пресноводной зоны, ее зарастанием и заилением. В то же время биомасса каспийских реликтовых беспозвоночных и слабосолоноватоводных форм осталась на уровне, близком к значениям, отмеченным в 1930-х годах, до падения уровня моря. Биомасса этих животных существенно увеличилась только при подъеме уровня моря в конце 1970-х и в 1980-е годы.

Таким образом, после понижения уровня моря и зарегулирования волжского стока в бентосе Северного Каспия менее интенсивно стали развиваться моллюски солоноватоводного комплекса, характерные для районов распространения северокаспийской водной массы. Это обусловлено как повышением солености вод Северного Каспия, так и менее интенсивным развитием солоноватоводных форм фитопланктона — пищи моллюсков-фильтраторов [128, 129].

В Среднем и Южном Каспии пресноводный комплекс донной фауны представлен слабо. Биомасса бентоса в основном формируется здесь из представителей автохтонного каспийского комплекса, способных переносить предельную для Каспия соленость (13‰) и азово-черноморских вселенцев, сравнительно недавно проникших в Каспийское море.

Массовое развитие средиземноморских вселенцев в бентосе Среднего и Южного Каспия проявилось раньше, чем в северной части моря. Уже в 1935 г. митилястер господствовал по биомассе над местными видами донной фауны Южного Каспия, куда он случайно был занесен из Черного моря (табл. 10.11). Быстро расселяясь на скальных и ракушечных грунтах прибрежной области моря, митилястер вытеснил обитавших там ранее дрейссен (*D. elata, D. caspia*), которые в настоящее время в живом состоянии в море не встречаются [86]. Только *D. rostriformis*, обитающая на глубинах более 20—25 м, избежала этого вытеснения и в настоящее время это единственный вид рода *Dreissena* в Среднем и Южном Каспии. В периоды повышения солености эта дрейссена проникает и в южную часть Северного Каспия. Угнетающее действие митилястера проявилось не только на дрейссенах, но и на местных кардиидах, биомасса которых стала увеличиваться только после повсеместного уменьшения количества этого вселенца в 1970-е годы, причина которого не выяснена.

Доля вселенцев в общей биомассе бентоса в некоторых районах Южного Каспия составляет более 90 %, а в средней части моря колеблется от 30 до 50 %. Годовые колебания биомассы бентоса в Среднем и Южном Каспии определялись главным образом резкими изменениями количества средиземноморских вселенцев в процессе их акклиматизации и натурализации в новом водоеме (см. табл. 10.11).

Ценные объекты питания рыб, абра и нереис, сознательно введенные в фауну Каспийского моря для повышения продуктивности дна, вместе с местными видами высших ракообразных составляют основную часть биомассы кормового бентоса, особенно в западных районах Среднего и Южного Каспия.

В целом для бентоса Среднего и Южного Каспия можно отметить тенденцию к уменьшению биомассы от 1930-х к 1970-м годам. Исключением оказался 1962 г., когда наблюдались очень высокие биомассы бентоса в западной части Среднего Каспия как результат влияния северокаспийских вод повышенной продуктивности в 1957—1962 гг. (первые годы заполнения Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ). В остальных районах средней и южной частей моря общая биомасса бентоса в 1976—1979 гг. была заметно меньше, чем в 1930-х годах.

10.4. Зависимость биомассы экологических групп донных беспозвоночных от факторов среды

Колебания биомассы видов и групп донных животных обусловлены разной их реакцией на изменения условий окружающей среды. Более подробно этот вопрос исследован для организмов Северного Каспия.

Группа прибрежных и слабосолоноватоводных форм в прошлом, при естественном стоке рек, сильно страдала от больших половодий вследствие ухудшения газового режима [28, 29] и снижения первичной продуктивности мелководной зоны Северного Каспия [26]. Увеличение попусков в зимнюю межень после зарегулирования стока Волги улучшило условия зимовки донных беспозвоночных, а уменьшение проточности в период половодья способствовало интенсивному развитию в прибрежной мелководной зоне донных и планктонных растений, накоплению детрита — пищи беспозвоночных животных. Все это способствовало значительному росту (в 1,5—2,0 раза) биомассы группы прибрежных и слабосолоноватоводных форм (рис. 10.2), особенно донных беспозвоночных пресноводного комплекса.

Прослеживается обратная связь между биомассой пресноводных форм этой группы и отношением объемов стока Волги в половодье и зимнюю межень (табл. 10.12, строки 1 и 2). При этом выделяются несколько уровней продуктивности: высокопродуктивные годы с повышенным поступлением фосфатов с водами Волги в среднем 5,3 тыс. т за год (от 2,0 до 8,7 тыс. т) и годы пониженной про-

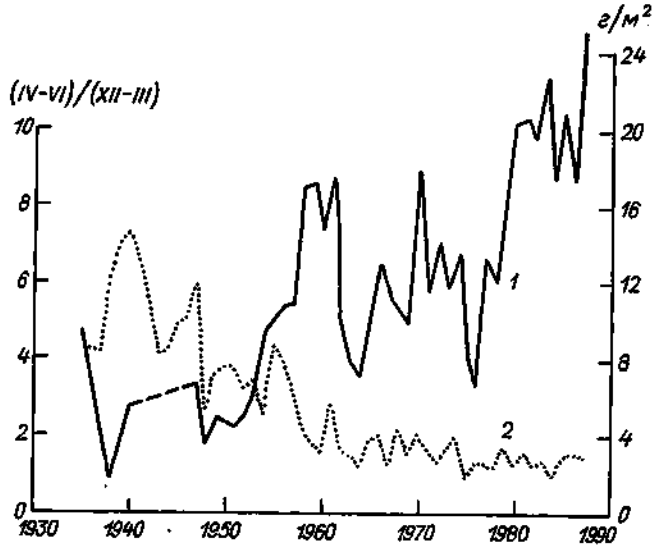


Рис. 10.2. Динамика биомассы (г/м²) прибрежных и слабосолоноватоводных форм бентоса Северного Каспия (*1*) и соотношения стока Волги в половодье и зимнюю межень (IV—VI)/(XII—III) (*2*).

Таблица 10.12

Параметры связи биомассы видов и групп бентоса Северного Каспия с океанологическими условиями среды их обитания

№ п/п	Район моря	Биомасса видов и групп бентоса (y)	Условия среды (x)	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии	Годы	Число наблюдений
1	Северный Каспий	Хирономиды, олигохеты, пиявки, брюхоногие моллюски	Отношение стока Волги в половодье и зимнюю межень (IV—VI)/(XII—III)	$-0{,}839 \pm 0{,}128$	$y = 10{,}38 - 1{,}36x$	Высокопродуктивные 1935—1947, 1955—1961, 1979—1987	20
2	»	То же	То же	$-0{,}724 \pm 0{,}147$	$y = 5{,}56 - 1{,}08x$	Пониженной продуктивности 1948—1954, 1962—1978	24
3	»	Прибрежные и слабосолоноватоводные формы	Уровень моря	$0{,}787 \pm 0{,}129$	$y = 471{,}58 - 16{,}14x$	1959—1976, 1981—1987	25
4	»	То же	То же	$0{,}949 \pm 0{,}222$	$y = 440{,}37 - 14{,}75x$	1977—1980	4
5	Восточная часть	Высшие ракообразные	Сток Волги за апрель — июнь	$0{,}809 \pm 0{,}152$	$y = -1{,}6 + 0{,}061x$	1959—1976, без 1963	17
6	»	»	»	$0{,}734 \pm 0{,}133$	$y = -0{,}523 + 0{,}049x$	1959—1987, без 1963	28
7	Западная часть	»	»	$0{,}633 \pm 0{,}200$	$y = 1{,}72 + 0{,}040x$	1959—1976, без 1963	17
8	»	»	»	$0{,}721 \pm 0{,}245$	$y = 4{,}026 + 0{,}046x$	1977—1987, без 1980	10
9	Северный Каспий	Хирономиды, амфаретиды, высшие ракообразные	Сток Волги за предшествующий год и за январь — июнь года определения биомассы	$0{,}536 \pm 0{,}162$	$y = -1{,}92 + 0{,}023x$	1959—1987	29
10	»	Высшие ракообразные	То же	$0{,}507 \pm 0{,}166$	$y = -1{,}41 + 0{,}019x$	1959—1987	29
11	Восточная часть	Адакна, монодакна, дрейссена двух смежных лет	Соленость средняя за июнь — август — октябрь предшествующего года и апрель — июнь года определения биомассы	$-0{,}620 \pm 0{,}128$	$y = 65{,}4/x - 3{,}29$	1948—1987	40
12	»	Дидакна трехгранная	То же	$0{,}790 \pm 0{,}106$	$y = 0{,}012x^{3{,}12}$	1950—1987	36
13	Западная часть	Адакна, монодакна, дрейссена двух смежных лет	Биомасса зоопланктона в июне двух смежных лет	$0{,}722 \pm 0{,}120$	$y = 8{,}34 + 0{,}009x$	1948—1987, без 1957—1961	35
14	»	То же	Соленость в июне двух смежных лет	$-0{,}595 \pm 0{,}195$	$y = 42{,}87 - 2{,}999x$	Высокопродуктивные 1955—1961, 1975—1987	19
15	»	»	»	$-0{,}561 \pm 0{,}136$	$y = 29{,}45 - 2{,}335x$	Пониженной продуктивности 1949—1954, 1962—1974	19
16	»	Дидакна, все виды	Соленость средняя за июнь — август — октябрь предшествующего года и апрель — июнь года определения биомассы	$0{,}856 \pm 0{,}183$	$y = -98{,}0 + 12{,}17x$	Митилястера мало 1956, 1959; 1966—1974	10
17	»	То же	То же	$0{,}592 \pm 0{,}215$	$y = 4{,}55x - 36{,}00$	Митилястера много 1957, 1958; 1960—1965; 1975—1980	14
18	»	Митилястер	»	$0{,}867 \pm 0{,}157$	$y = 38{,}993x - 323{,}48$	1960—1965; 1979—1985	12
19	»	Абра, церастодерма	»	$0{,}731 \pm 0{,}139$	$y = 6{,}434x - 45{,}67$	1962—1987	26
20	»	Нереис	»	$0{,}543 \pm 0{,}179$	$y = 0{,}672x - 3{,}37$	1962—1987, без 1970, 1983	24
21	Восточная часть	Абра, церастодерма	»	$0{,}800 \pm 0{,}125$	$y = 0{,}584x - 2{,}52$	1962—1987, без 1970	25
22	»	Нереис	»	$0{,}348 \pm 0{,}191$	$y = 0{,}332x + 0{,}446$	1962—1987	26

Примечание. В расчетах использована биомасса бентоса в г/м², биомасса зоопланктона в мг/м³, водный сток в км³, соленость в ‰, уровень моря в метрах.

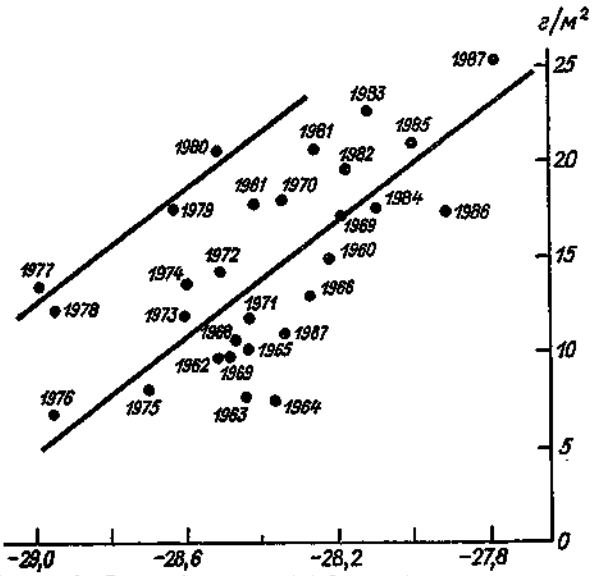


Рис. 10.3. Связь биомассы (г/м²) прибрежных и слабосолоноватоводных форм бентоса Северного Каспия в июне с уровнем моря (м).

Здесь и на рис. 10.4—10.7, 10.9—10.11 числа у точек — годы.

дуктивности, когда поступление фосфатов сокращалось почти вдвое — 2,7 тыс. т за год (от 1,6 до 5,0 тыс. т). Средняя биомасса в высокопродуктивные годы была примерно вдвое выше (6,1 г/м²), чем в малопродуктивные годы (3,4 г/м²). При этом в период постоянно понижающегося уровня моря (1973—1978 гг.) биомасса почти не менялась с уменьшением отношения стока половодья к зимнему стоку. В эти годы неустойчивость уровня моря и сокращение площади мелководий оказывали решающее отрицательное воздействие на интенсивность развития пресноводных форм бентоса мелководий.

На понижение или повышение уровня моря реагируют все донные животные группы прибрежных и слабосолоноватоводных форм. Коэффициент положительной корреляции между биомассой этой группы беспозвоночных и положением уровня моря в пределах его колебаний от —27,8 до —29 м составил 0,787 [табл. 10.12 (строка 3) и рис. 10.3]. Из общей закономерности выпадают годы (1977—1980), в которые происходит смена низкого уровня на быстрое его повышение. В результате благотворного влияния на развитие бентоса смыва растительного детрита с обсыхающих или вновь заливаемых площадей под воздействием сгонно-нагонных явлений получены более высокие биомассы, но зависимость от уровня моря сохраняется (табл. 10.12, строка 4).

В условиях зарегулированного стока Волги и относительно небольших колебаний уровня моря около отметки —28,5 м (1959—1976 гг.) прослеживалось положительное влияние объема стока половодья на уровень развития высших ракообразных. При увеличении стока половодья улучшаются трофические условия обитания этих эвригалинных форм, так как увеличивается первичная продукция открытой приглубой зоны Северного Каспия [26] и вынос в море детрита из дельты Волги и с устьевого взморья.

Связь объема стока половодья с биомассой высших ракообразных в восточной части Северного Каспия характеризовалась довольно высоким коэффициентом положительной корреляции ($r = 0{,}809$) для 1959—1976 гг. и для всего ряда наблюдений (1959—1987 гг.), включая и годы подъема уровня моря (рис. 10.4 *а* и табл. 10.12, строки 5 и 6).

В западной части Северного Каспия также отмечалась положительная связь между стоком половодья Волги и биомассой высших ракообразных ($r = 0{,}633$) для периода 1959—1976 гг. Однако при подъеме уровня моря в 1980-е годы биомасса этих ракообразных была выше, чем в соответствующие по стоку годы в период относительной стабильности уровня (рис. 10.4 *б* и табл. 10.12, строки 7 и 8). В этом случае проявилось положительное воздействие не только подъема уровня моря, но и поступления массы детрита, который образовался в результате отмирания донной растительности при увеличении глубины в сильно заросших райо-

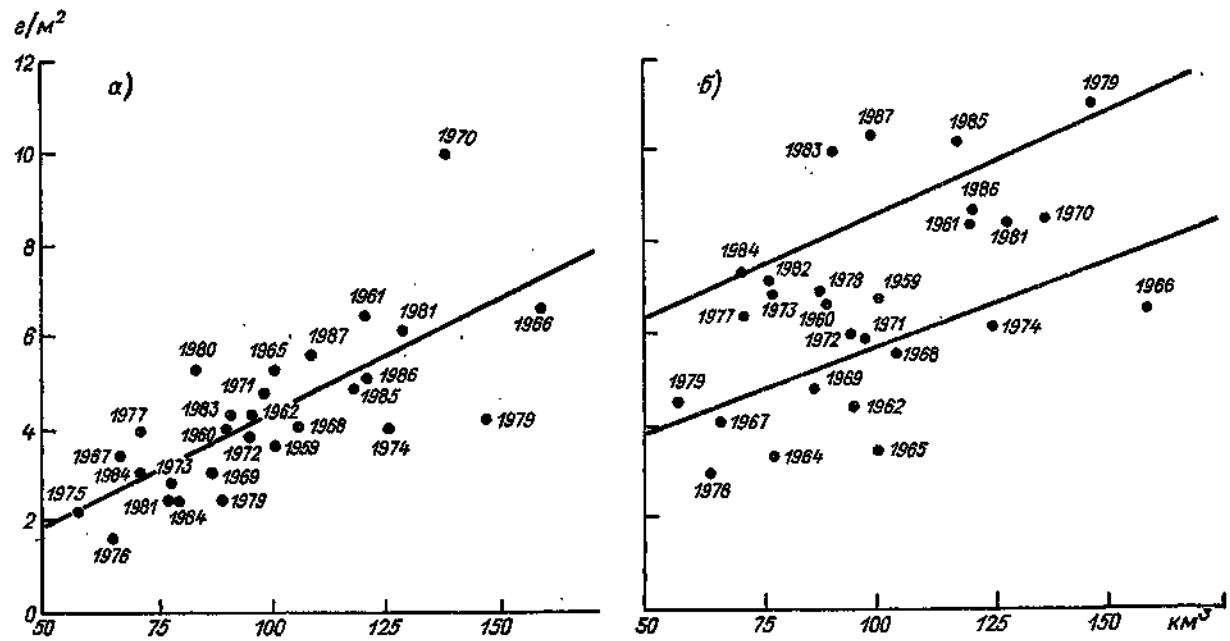


Рис. 10.4. Влияние стока Волги в половодье (апрель—июнь) (км³) на биомассу высших ракообразных в восточной (*а*) и западной (*б*) частях Северного Каспия.

нах устьевого взморья Волги. По мере стабилизации нового уровенного и трофического режимов можно ожидать постепенного уменьшения биомассы высших ракообразных в западной части Северного Каспия. Совокупное воздействие волжского стока как источника питательных веществ и как причины изменения уровня моря и состояния газового режима мелководий может отражать значение суммарного стока за предшествующий год и первую половину (январь — июнь) года учета биомассы организмов. Получена положительная корреляция объема этого стока с общей биомассой высших ракообразных, амфаретид и хирономид (табл. 10.12, строки 9 и 10). Уравнения могут быть использованы для ориентировочного прогноза биомассы этих организмов, которые являются основной частью кормовой базы молоди промысловых рыб (воблы, леща, судака, осетра, севрюги, белуги и др.).

Интенсивность развития солоноватоводных моллюсков, которые максимальную биомассу образуют при солености не выше 6—7 (адакна, дрейссена) — 9‰ (монодакна), находится в обратной связи с соленостью вод западной и восточной частей Северного Каспия [28]. В восточной части колебания средней солености в известной степени характеризуют и изменения трофического режима. В эту часть моря биогенные вещества, поддерживающие продукцию солоноватоводного фитопланктона — основной пищи моллюсков-фильтраторов, поступают как со стоком рек, так и с опресненными морскими водами из западной части Северного Каспия.

В популяциях солоноватоводных моллюсков в июне, когда проводится определение их биомассы, присутствует как молодь рождения данного года, так и прошлогодние особи, степень количественного развития и выживания которых определяется условиями солености в предыдущем году. Поэтому представляется целесообразным сопоставлять среднюю биомассу этих моллюсков с соленостью за 2 смежных года (за июнь — октябрь предшествующего года и апрель — июнь года учета биомассы). Биомасса дрейссены, адакны, монодакны в восточной части Северного Каспия почти не меняется при понижении солености от 10 до 7,5‰, составляя в среднем около 5 г/м² с колебаниями от 3 до 6 г/м². И только при дальнейшем опреснении, когда расширяются солевые границы для массового расселения этих видов, биомасса их существенно возрастает и достигает 10—15 г/м² (рис. 10.5 *а*).

Полученное уравнение связи биомассы солоноватоводных моллюсков с соленостью (табл. 10.12, строка 11) может быть использовано в первом приближении для прогноза их биомассы при изменении солености восточной части Северного Каспия.

Биомасса дидакны трехгранной, солевые границы которой находятся в пределах от 5‰ и выше [28], с повышением солености восточной части Северного Каспия увеличивается (рис. 10.5 *б* и табл. 10.12, строка 12). Биомасса этой формы с 4—6 г/м² при солености 5—7‰ возрастает до 15—20 г/м², когда соленость поднимается выше 8‰. В годы осолонения восточной части Северного Каспия трехгранная дидакна становится господствующим по биомассе видом солоноватоводных моллюсков.

В западной части Северного Каспия всегда имеются более или менее обширные зоны, благоприятные по солености для развития солоноватоводных моллюсков (адакна, монодакна, дрейссена). Уровень их биомассы в значительной степени определяется трофическими условиями. В связи с отсутствием непрерывного ряда данных о биомассе фитопланктона для характеристики продуктивности планктона приняты данные о биомассе зоопланктона, обеспеченность пищей которого, как и рассматриваемых моллюсков-сестонофагов, зависит от интенсивности развития фитопланктона. Прослеживается положительная зависимость биомассы солоноватоводных моллюсков от продуктивности планктона в западной части Северного Каспия (рис. 10.6 и табл. 10.12, строка 13) и обратная ее связь с соленостью моря (рис. 10.7 и табл. 10.12, строки 14 и 15). Однако в годы значительного опреснения западной части Северного Каспия (менее 8,5‰) соленость сравнительно мало влияет на биомассу и начинает проявляться воздействие трофического и других факторов.

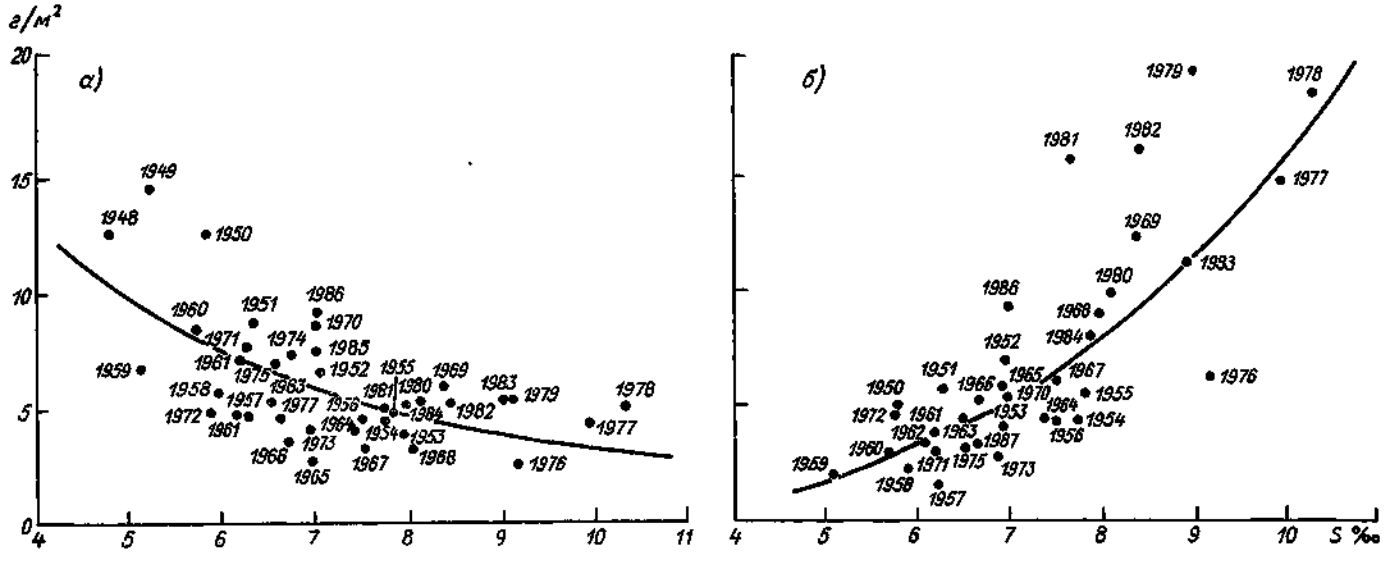


Рис. 10.5. Влияние солености (‰) на биомассу (г/м²) солоноватоводных моллюсков в восточной части Северного Каспия.
а — адакна, монодакна, дрейссена в июне двух смежных лет; *б* — дидакна трехгранная в июне.

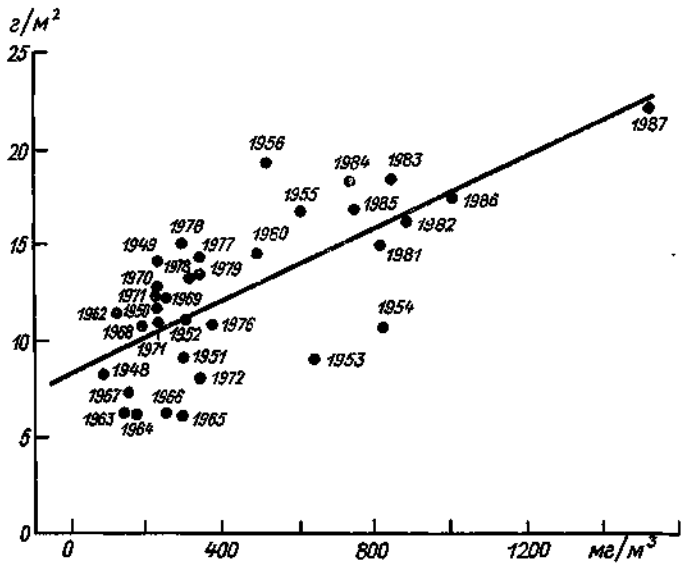


Рис. 10.6. Связь биомассы солоноватоводных моллюсков (адакна, монодакна, дрейссена) (г/м³) с биомассой зоопланктона (мг/м³) в западной части Северного Каспия в июне двух смежных лет.

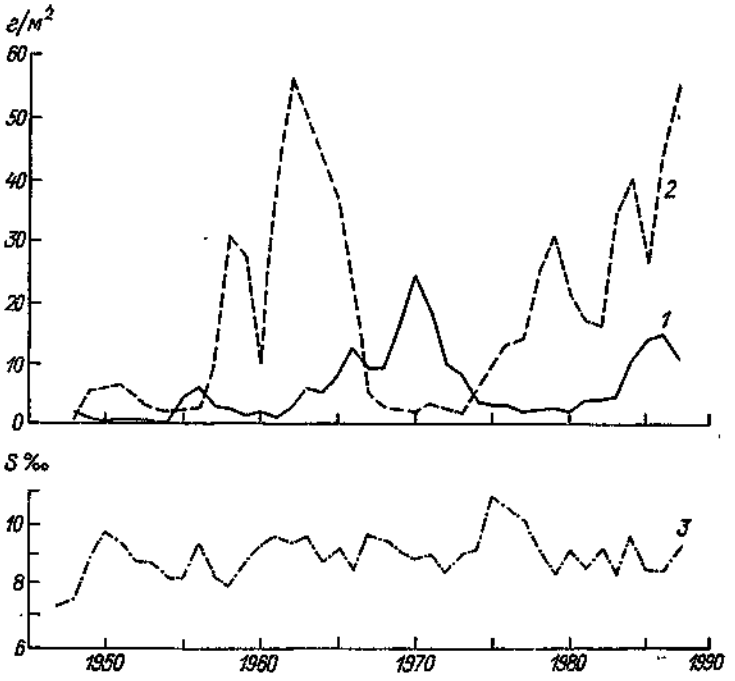


Рис. 10.8. Динамика биомассы (г/м²) дидакны (*1*), митилястера (*2*) в июне и средней годовой солености *S* (*3*) в западной части Северного Каспия.

Дидакна трехгранная как форма, более солеустойчивая по сравнению с другими солоноватоводными моллюсками, образует поселения наибольшей плотности на ракушечных и илисто-ракушечных грунтах южных районов западной части Северного Каспия. Здесь область ее распространения в значительной степени совпадает с ареалом митилястера, границы которого стабилизировались после зарегулирования стока Волги.

В результате конкуренции между этими моллюсками-сестонофагами из-за пищи и места обитания биомасса дидакны в годы интенсивного развития митилястера (до 40—50 г/м²) не превышала 5 г/м². Только в период резкого уменьшения количества митилястера повсеместно в Каспийском море (1966—1974 гг.) дидакна развивалась более интенсивно и средняя биомасса ее поднялась до 20 г/м² и более. По мере восстановления плотности популяции митилястера происходило сокращение количества дидакны, т. е. между биомассой этих двух близких по биологии форм прослеживается обратная зависимость. В некоторые высокопродуктивные по планктону годы в период подъема уровня моря (1984—1987 гг.) обе формы имели возможность массового развития (рис. 10.8).

В западной части Северного Каспия, помимо дидакны трехгранной, развиваются и другие виды этого рода. Во многих случаях при определении биомассы разные виды дидакны учитывались вместе. Суммарная их биомасса, как в годы относительно небольшого развития митилястера, так и в годы массового его развития, увеличивалась с повышением солености западной части Северного Каспия (табл. 10.12, строки 16 и 17). При высокой продуктивности планктона в годы повышения уровня моря (1981—1987) биомасса дидакны была значительно выше, чем при соответствующей солености в годы предыдущего периода.

Интенсивность развития митилястера в северной части моря тоже определяется соленостью и трофическими условиями. Размеры ареала митилястера в западной части Северного Каспия ограничены площадью зоны повышенной солености (9—10 ‰), а биомасса в пределах этой зоны — трофическими условиями. В маловодные годы (1975—1978) при повышенной средней солености Северного Каспия область распространения митилястера

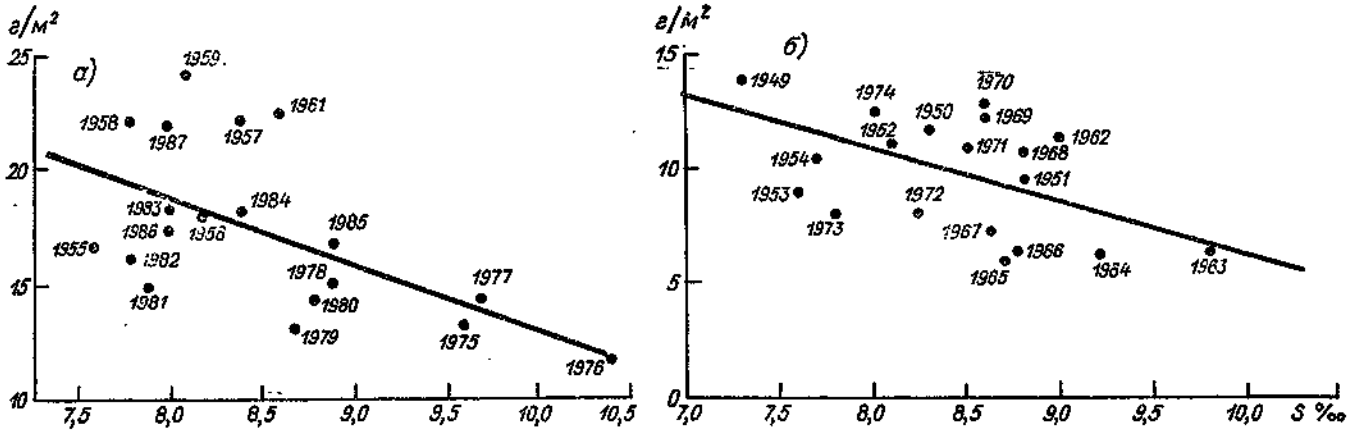


Рис. 10.7. Зависимость биомассы солоноватоводных моллюсков (адакна, монодакна, дрейссена) (г/м³) от солености *S* в западной части Северного Каспия в высокопродуктивные (*а*) и низкопродуктивные (*б*) годы для июня двух смежных лет.

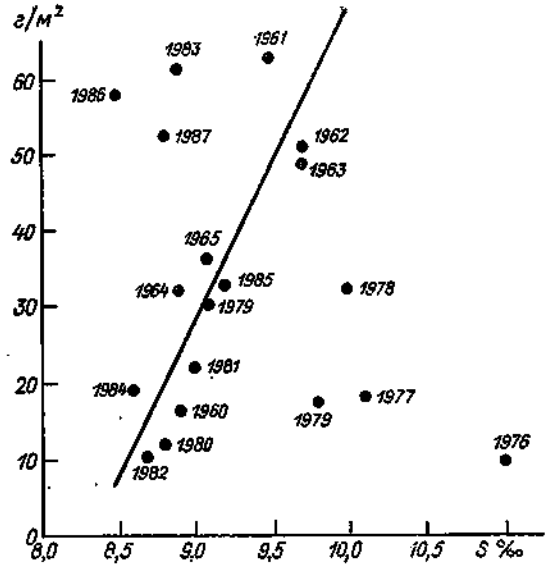


Рис. 10.9. Зависимость биомассы митилястера (г/м²) в июне от солености S (средней за июнь—август—октябрь предшествующего года и апрель—июнь года определения биомассы) в западной части Северного Каспия.

расширялась, но из-за недостатка пищи плотность популяции была невысокой и поэтому средняя биомасса в пересчете на всю площадь западной части Северного Каспия оказалась низкой. В годы невысокой средней солености ареал митилястера сокращался, но при высокой обеспеченности пищей (1983, 1986, 1987 гг.) на этом ареале образовалась большая биомасса. В годы умеренной продуктивности между соленостью и биомассой отмечается положительная связь (рис. 10.9 и табл. 10.12, строка 18).

Значение трофического фактора в формировании митилястера в западной части Северного Каспия косвенно подтверждает тенденция увеличения его биомассы с повышением объема стока Волги

Таблица 10.13

Влияние весеннего стока Волги на биомассу митилястера в западной части Северного Каспия

Градация стока, км³	Средний сток Волги в апреле—июне, км³	Средняя биомасса, г/м²	Средняя* соленость, ‰	Число лет	Годы
>70	60	13,5	10,4	2	1975, 1976
71—80	74	21,0	9,1	4	1964, 1977, 1982, 1984
81—90	87	20,1	9,2	3	1960, 1978, 1980
91—100	93	55,5	9,3	2	1962, 1983
101—110	104	44,1	8,9	2	1965, 1987
111—120	118	50,4	9,2	4	1961, 1963, 1985, 1986
<120	137	25,8	9,0	2	1979, 1981

* Соленость за июнь — август — октябрь предшествующего года и апрель — июнь года учета биомассы.

в половодье (табл. 10.13). В этом случае улучшается снабжение биогенными веществами приглубой части Северного Каспия как за счет более далекого распространения на юг волжских вод, так и в результате более интенсивного водообмена с продуктивными акваториями северной части Среднего Каспия.

Другие представители группы морских форм (моллюски абра и церастодерма, полихета нереис) более эвригалинны, чем митилястер, и широко распространены в Северном Каспии в зонах с соленостью от 5—7 ‰ и выше на грунтах с примесью ила. Биомасса этих детритоядных форм, как правило, увеличивается по мере повышения солености западной и восточной части Северного Каспия за счет распространения на богатые органическим веществом грунты юго-западного и северо-восточного районов моря. В большей степени эта связь выражена у абры и церастодермы (рис. 10.10 и

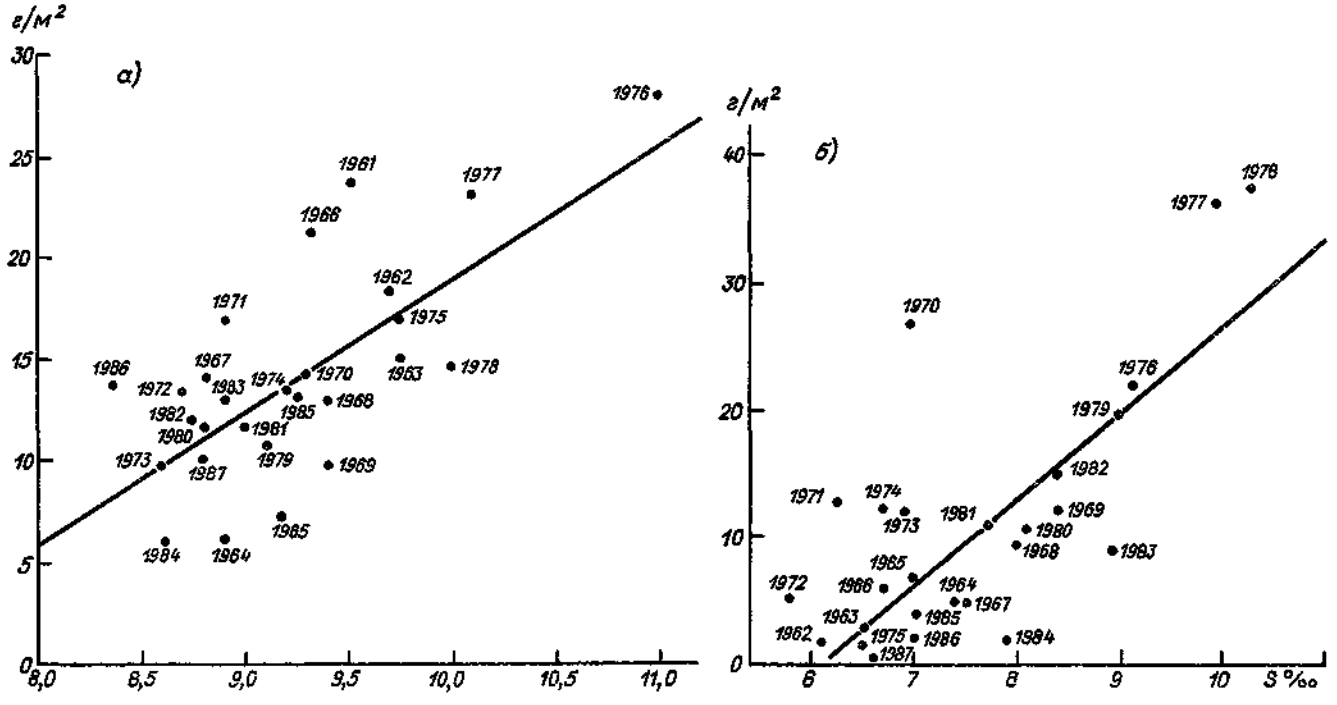


Рис. 10.10. Зависимость биомассы абры и церастодермы (г/м²) в июне от солености S (средней за июнь—август—сентябрь предшествующего года и апрель—июнь года определения биомассы) в западной (*а*) и восточной (*б*) частях Северного Каспия.

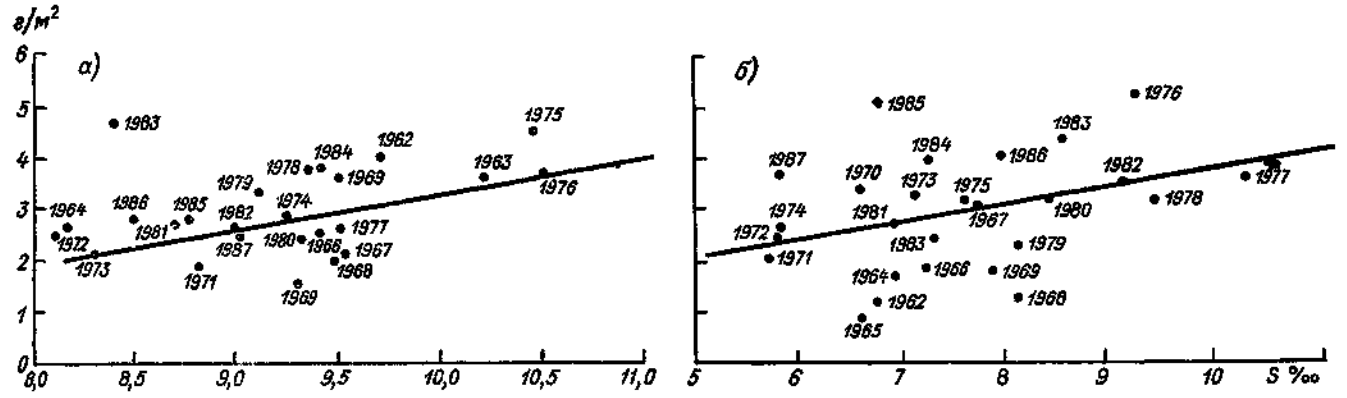


Рис. 10.11. Влияние солености S (средней за апрель—июнь) на биомассу нереис (г/м²) в июне для западной (*а*) и восточной (*б*) частей Северного Каспия.

табл. 10.12, строки 19 и 21). Биомасса нереис мало меняется с повышением солености (рис. 10.11 и табл. 10.12, строки 20 и 22).

Представленные связи и зависимости дают только первую ориентировочную оценку влияния наиболее общих характеристик гидрологического режима Северного Каспия на интенсивность развития видов и групп беспозвоночных бентоса. Для продолжения исследований в этом направлении представляется существенным получение репрезентативных рядов данных по размерам зон разной солености, температуре воды и газовому режиму отдельных районов и в разные месяцы года, по концентрации взвешенного органического вещества и его содержанию в поверхностном слое отложений, по первичной продукции планктона и другим показателям, характеризующим условия обитания донных беспозвоночных.

10.5. Многолетние изменения кормовых ресурсов бентосоядных рыб

Колебания биомассы отдельных видов и групп бентоса под воздействием изменяющихся условий среды их обитания обусловливали годовые и многолетние изменения продуктивности морского дна и кормовых ресурсов бентосоядных рыб (табл. 10.14). За рассматриваемый период наблюдается общая тенденция роста биомассы бентоса в Северном Каспии, но доля «кормовой» фракции снижается с 97 % в 1935 г. до 63—64 % в 1975—1980 гг. и до 45 % в 1981—1987 гг. После понижения уровня моря и зарегулирования стока Волги почти в 3 раза уменьшилось количество пищи для рыб-моллюскоедов, особенно для северокаспийской воблы. Наибольшие негативные последствия имело снижение запасов пищи для молоди всех бентосоядных рыб, которые только в 80-х годах в период подъема уровня приблизились к запасам 1935 г.

Таблица 10.14

Колебания общей биомассы бентоса (тыс. т) и запасов пищи для рыб-бентофагов в северной части Каспийского моря

Экологические группы бентоса	Преобладающие группы и виды донных беспозвоночных	Рыбы-потребители	1935 г.	1938—1940 гг.	1947—1956 гг.	1957—1974 гг.	1975—1978 гг.	1979—1980 гг.	1981—1987 гг.
Прибрежные и слабосолоноватоводные	Амфаретиды, амфиподы, кумацеи, мизиды, адакна, хирономиды	Молодь всех бентофагов, лещ, бычки	895	235	380	630	541	922	712
	Олигохеты, пиявки, брюхоногие моллюски	Частично сазан, используются слабо	98	128	203	406	207	535	347
Солоноватоводные	Северокаспийские дрейссена, монодакна, дидакна трехгранная	Вобла, частично лещ, осетр	3262	284	1148	1185	934	1232	1445
Морские	Нереис, абра, церастодерма, краб	Осетр, севрюга, бычки	109	275	309	1285	1897	1186	1174
	Митилястер, балянус	Потребляются слабо	33	10	194	1086	1126	1248	2882
	Среднекаспийские дидакна, монодакна, дрейссена	»	—	—	—	182	593	163	919
Весь бентос	—	—	4397	932	2234	4774	5298	5286	7479
Кормовой бентос	Амфаретиды, амфиподы, кумацеи, мизиды, адакна, дрейссена, монодакна, дидакна, абра, нереис, церастодерма	Молодь всех бентофагов, вобла, лещ, осетр, севрюга, бычки	4266	795	1837	3100	3371	3340	3331
Уровень моря, м	—	—	—26,5	—27,6	—28,1	—28,4	—28,9	—28,5	—28,0
Средня соленость Северного Каспия, ‰	—	—	8,8	10,6	7,9	8,2	10,1	8,6	8,4
Сток Волги, км³/год	—	—	210	182	257	236	202	283	263
Сток Волги за апрель—июнь, км³	—	—	103	119	142	108	70	114	102

Рост биомассы бентоса при повышении солености происходит за счет морских форм. В 10 раз и более увеличилась биомасса акклиматизантов, составляющих главную пищу взрослых осетра и севрюги.

Значительную часть прироста биомассы бентоса образовали формы, не потребляемые рыбами. Так, в 1980-е годы биомасса стихийных вселенцев (балянус, митилястер) почти равнялась биомассе всего кормового бентоса Северного Каспия. Эти формы образуют плотные скопления многочисленных особей («щетки»), недоступные для выедания большинству массовых рыб-бентософагов. Слабо используются рыбами и проникающие из Среднего Каспия виды кардинд и дрейссен, как из-за их крупных размеров и твердой раковины, так и в связи с распространением в зоне повышенной солености, куда северокаспийская вобла — главный потребитель моллюсков — почти не заходит.

Таким образом, изменение среды обитания донных беспозвоночных привело к перестройке бентосного сообщества и снижению пищевой ценности бентоса для промысловых рыб.

11. ИХТИОФАУНА. ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ РАЗМНОЖЕНИЯ РЫБ

11.1. Характеристика ихтиофауны

Ихтиофауна Каспийского моря и устьевых областей впадающих в него рек представлена 124 видами и подвидами, принадлежащими к 17 семействам. Она уступает по разнообразию другим южным морям, но для нее характерна высокая продуктивность массовых промысловых видов. Особенность каспийской ихтиофауны — большое количество эндемиков.

В составе ихтиофауны моря преобладают формы (виды, подвиды), относящиеся к группам морских (44 %) и речных (34 %) рыб. Первые всю жизнь проводят в море и не выходят за его пределы, речные рыбы обитают только в пресных водах. В отличие от них, проходные рыбы (15 %) до наступления половой зрелости обитают в море, а для размножения мигрируют в реки. Наименьшее количество форм относится к полупроходным рыбам (7 %), которые придерживаются опресненных участков моря, а для размножения мигрируют на небольшие расстояния от устьев рек и обычно не выходят за пределы водоемов дельты. В морской воде размножается подавляющее число видов сельдей и бычков, все виды килек, кефали, атерина, игла-рыба и морской судак. Наиболее ценные в промысловом отношении осетровые, лососевые, карповые, волжская сельдь и сельдь черноспинка размножаются в речных водах, что делает их уязвимыми при изменении режима рек (табл. 11.1).

По составу пищи рыбы делятся на планктофагов, бентофагов, фитофагов и хищников. К планктофагам относятся все три вида килек (анчоусовидная, обыкновенная, большеглазая), каспийский пузанок, волжская сельдь. Последняя по спектру питания может быть и хищником. Бентофагами являются такие рыбы, как вобла, лещ, сазан, линь, карась, бычки. Осетр и севрюга питаются бентосом и частично мелкой рыбой. Трофическую пирамиду завершают рыбы-хищники: проходные — белуга, белорыбица, каспийская кумжа, сельдь черноспинка, морские — бражниковские сельди, большеглазый пузанок и речные — сом, щука, окунь.

Каспийскими рыбами освоена вся акватория моря, за исключением придонных слоев Дербентской и Южнокаспийской впадин. Бентофаги обитают в прибрежной зоне моря до глубин 50—75 м. Только некоторые виды из семейства бычковых встречаются на глубинах более 200 м. Пелагические планктофаги держатся в верхних слоях воды по всему морю, но основные концентрации создают над глубинами более 50 м. Хищники имеются как в пелагиали, так и в придонных слоях. Количество пелагических форм рыб равно числу придонных, однако по массе преобладают пелагические рыбы, главным образом кильки.

Общая ихтиомасса в Каспийском море, по оценкам 1974—1976 гг., составляет 2,9 млн т. Основную ее часть составляют кильки (51,4 %) и осетровые

Таблица 11.1

Экологические группы основных промысловых рыб Каспийского бассейна

Рыбы	По районам размножения				По зонам обитания		По питанию			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Осетровые:										
осетр			+			+		+	+	
севрюга			+			+		+	+	
белуга			+		+				+	
Сельдевые:										
килька анчоусовидная	+				+		+			
килька большеглазая	+				+		+			
килька обыкновенная	+				+		+			
пузанок большеглазый	+				+				+	
пузанок каспийский	+				+		+			
сельдь долгинская	+				+				+	
сельдь волжская			+		+		+		+	
сельдь черноспинка			+		+				+	
Лососевые:										
каспийская кумжа			+		+				+	
белорыбица			+		+				+	
Карповые:										
вобла				+		+		+		
лещ				+		+		+		
сазан				+		+		+		
жерех				+	+				+	
кутум			+			+		+		
красноперка		+			+					+
линь		+				+		+		
Окуневые:										
судак				+		+			+	
окунь		+			+				+	
Щуковые:										
щука		+				+			+	
Сомовые:										
сом		+				+			+	
Кефалевые:										
сингаль	+				+					+
остронос	+				+					+
Бычковые	+	+				+		+		

Примечание. I — морские; II — речные; III — проходные; IV — полупроходные; V — пелагические; VI — придонные и донные; VII — планктофаги; VIII — бентофаги; IX — ихтиофаги; X — фитофаги.

(30,5 %). На полупроходных и речных рыб приходится 6,9 и 4,8 % соответственно. Промысел рыб распределен неравномерно. В настоящее время промысел кильки ведется преимущественно в открытых частях Южного Каспия. Осетровые и полупроходные рыбы вылавливаются в дельтах Волги (77,3 %) и Урала (19,4 %). В прибрежных водах Дагестана, Азербайджана и Туркменистана добывается всего 0,3—1,7 % общего улова рыб.

На протяжении XX в. наблюдались значительные колебания уловов отдельных видов рыб, а во второй его половине произошло качественное изменение состава уловов (табл. 11.2). При относи-

Таблица 11.2

Динамика вылова рыбы (тыс. т) в Каспийском море, по [42]

Рыбы	Год						
	1932	1940	1950	1960	1970	1980	1990
Осетровые	16,9	7,5	13,5	10,1	16,1	25,0	13,6
Лососевые	0,9	1,1	0,4	0,01	0,01	0,02	0,01
Полупроходные (вобла, лещ, судак, сазан)	241,9	165,1	202,9	112,4	44,3	14,6	46,4
Речные (сом, щука, красноперка, линь и др.)	62,2	25,8	34,0	32,1	42,8	37,2	26,0
Сельди	81,8	136,5	56,1	54,9	1,8	1,2	2,3
Кефаль	—	0,1	0,3	0,8	0,6	0,2	0,2
Кильки	6,9	8,9	21,6	176,0	423,2	304,8	235,3
Всего	410,6	345,0	328,0	386,3	528,8	383,0	323,8

тельно стабильном общем годовом вылове около 0,4 млн т возросла добыча кильки и резко сократилась добыча ценных полупроходных и сельдевых рыб. Рост добычи кильки начался в 50-х годах после внедрения метода лова на электрический свет, что позволило добывать самую многочисленную анчоусовидную кильку. Ранее промысел килек базировался на сравнительно малочисленной обыкновенной кильке. В результате доля килек в общем улове повысилась от 1,7 % в 1932 г. до 80 % в 1970 г. Снижение уловов полупроходных рыб и проходных сельдей связано, с одной стороны, с ухудшением условий их воспроизводства в связи с гидростроительством на основных нерестовых реках и с другой — с климатическими изменениями.

Среди большого количества абиотических факторов, определяющих размножение рыб в речных системах, можно выделить три основных: температура, водный режим в реке и уровень моря.

11.2. Оптимальные температурные условия

Массовый нерест разных видов рыб проходит не единовременно, а сдвигается в соответствии с оптимальным диапазоном их нерестовых температур. Так, в дельте Волги весной первой нерестится щука при температуре 4—5 °С. Далее следуют судак (8 °С), вобла (7—10 °С), лещ (11—19 °С), сазан (15—22 °С) и красноперка (19—27 °С). Соответственно сроки нереста для этих видов сдвигаются от конца марта — апреля до июня — июля. На южных реках (Кура, Атрек) нерестовый ход этих видов начинается в более ранние сроки, но при более высоких температурах воды (табл. 11.3). Подобная закономерность наблюдается и для рыб, нерестящихся в руслах рек (осетровые, жерех).

Различие сроков нереста в разных реках определяется также временем прохождения в них волны половодья. Для рыб, размножающихся в реках со снеговым питанием, период нереста приурочен к апрелю — июню. В реках с ледниковым питанием (Терек, Кура) нерестовый цикл растягивается до августа, поскольку наибольшие расходы воды в естественных условиях отмечались в летний период.

В естественных условиях водности рек весеннее повышение температуры воды обычно совпадало с подъемом волны половодья. После зарегулирования стока Волги наблюдается запаздывание залития нерестилищ по отношению ко времени наступления нерестовых температур, что приводит к совпадению сроков нереста разных видов рыб. В этих условиях возрастает значение различий в районах и биотопах их нереста, сформировавшихся в процессе эволюции (см. табл. 11.3).

Большинство каспийских рыб нерестится в северной части моря, в Волге и Урале. В южные реки заход проходных и полупроходных рыб даже до зарегулирования стока был намного ниже. Из проходных видов только каспийский лосось и кутум практически не заходят в северную часть моря. Ареал их нагула приходится на среднюю и южную части моря, а нерест происходит в бассейнах Куры, Терека, Самура, Сулака и реках иранского побережья.

11.3. Оптимальный гидрологический режим для размножения рыб

Гидрологический режим наиболее полно исследован на Волге, в нижнем течении и дельте которой формируются основные запасы ценных промысловых рыб Каспийского моря. Условия водного режима определяют успех прохождения всех фаз нерестового цикла: заход производителей на нерест, собственно нерест рыб, формирование жизнестойкой молоди, постепенный скат молоди и производителей с нерестилищ.

У каждого вида рыб эволюционно сформировались определенные требования к расходу воды в реке на разных этапах размножения (табл. 11.4). В основу построения таблицы были положены средние многолетние расходы воды, обеспечивающие благоприятные по срокам условия затопления нерестилищ осетровых и полупроходных рыб, заход рыб на нерест, собственно нерестовый цикл и его окончание.

Так, например, для обеспечения полного затопления каменистогалечных гряд весенненерестующего осетра на Волге необходим расход воды не менее 25 тыс. м³/с. При расходах воды, превышающих 28 тыс. м³/с, происходит размыв и заиление нерестилищ осетровых рыб. Оптимальные условия для нереста севрюги в русловой части реки обеспечиваются расходами воды около 6 тыс. м³/с и т. п. Промежуточные расходы воды между началом подъема волны половодья и максимальными значениями получены как средние многолетние декадные, обеспечивающие плавный подъем и спад волны половодья.

Таблица 11.3

Температура (°С) нерестового хода и размножения основных промысловых видов рыб Каспийского бассейна

Вид рыб	Район	Водоем и биотоп	Нерестовый ход		Нерест		Месяцы*	Источник
			начало	массовый	начало	массовый		
Вобла	Дельта:							
	р. Волги	Полои	2—3	5—8	6—10	7—10	$IV—V_2$	[40, 42]
	р. Терека	Придаточные водоемы	—	8—11	8—9	12—16	IV—V	[87]
	р. Урала	Полои, ильмени	1—1,5	8—11	—	10—17	IV—V	[40]
	р. Куры	Залив	3—6	6—10	7—19		III—IV	[40]
	р. Атрека	Разливы	9—10	10—12	—	14,5—18	II—III	[42]
Лещ	р. Волги	Полои	2—4	8—12	8—11	11—19	IV—V	[42]
	р. Куры	Придаточн. водоемы, пойменные озера	—	—	15—16	19—24	IV—V	[40]
Сазан	рек Волги и Урала	Авандельта, култуки	—	9—12	15—22		IV—V	[40, 42]
	р. Терека	Придаточные водоемы, рыбоходные каналы	—	—	17	19—20	V—VIII	[87]
	р. Атрека	Разливы	—	—	12—14	14—21	III—V	[42]
Судак	р. Волги	Ерики, затоны, ильмени	0,2—2,2	4—10	6	8	IV—V	[40]
	р. Урала	Русло	—	—	7	10—18	IV—V	[42]
Щука	р. Волги	Ерики, култуки, авандельта	—	—	—	4—5	III_3—IV	[40]
	Бассейн р. Куры	Внутренние водоемы	—	—	—	—	II_3—IV	[40]
Красноперка	Дельта р. Волги	Полои, ильмени, култуки	—	—	—	19—23	VI—VII	[46]
	р. Кура	»	—	—	—	19—27	IV—V	[40]
Жерех	Дельта р. Волги	Русло	—	—	—	4—12	IV—V	[40]
	р. Урал	»	—	—	—	—	IV_3—V_1	[40]
	Дельта р. Терека	Песчано-каменистый грунт	—	—	—	—	III_3—V_1	[87]
Жерех-хамаш	р. Кура	Русло	—	—	—	12—15	III_3—IV_3	[87]
Кутум	р. Самур	Русло с галечным грунтом, растительностью	2,5—3	4,5—8,5	7—10	8—11	III_2—IV_1	[40, 42]
Осетр	р. Волга	Русло, гряды	1—6	21—27	9,2	10—13	V—VI	[42]
	р. Урал	Русло	—	—	—	—	V—VI	[40]
	р. Кура	»	8—12	—	8—18		V—VI	[40]
Севрюга	реки Волга и Урал	Русло, гряды	5—6	8—10	16,5	20—26	VI—VIII	[42]
	р. Терек	Затопляемые нерестилища	5—6	17—19	14—26		V—VIII	[40]
	р. Кура	Русло, галечные гряды	—	—	15—26		V—VIII	[40]
Белуга	р. Волга	Каменисто-галечные россыпи	—	4—7	6—8	10—12	IV—VI	[42]
				11—17	—	—	VIII—X	[42]
	р. Урал	Русло, гряды	—	6—8	—	10—15	IV—VI	[97]
	р. Терек	Временно затопляемые нерестилища	—	—	—	10—21	IV—VI	[40]
Белорыбица	р. Волга	Песчаный грунт, галечник	18—19	0	—	—	XI	[40]
Каспийская кумжа	р. Кура	Галечный грунт	Более 13	13—8	17	8—14	X—XII	[40, 42]
Волжская сельдь	р. Волга	Русло, у дна	6—10	10—16	13	15—16	IV_2—V	[40]
Сельдь-черноспинка	»	Русло	5—10	13—15	13—16	18—20	V_3—VIII	[42]
Большеглазый пузанок	Северный Каспий	Западное и восточное прибрежье, глубина 1—6 м	5—7	6—8	14—16	—	V	[42]
Каспийский пузанок	»	Волжское предустье, глубина 3—5 м	6—7	9—12	16—17	19—20	V	[40, 42]
Долгинская сельдь	»	Восточное мелководье, глубина 1—3 м	5—6	6—8	14—16	14—18	IV_3—V_2	[42]
Обыкновенная килька	»	Устьевое взморье	6—14		—	11—19	VI_3—V_2	[42]
	Южный Каспий	Прибрежье	—	—	—	—	II	[42]
Анчоусовидная килька	Средний и Южный Каспий	Толща воды над глубинами 20—200 м	—	—	—	15—25	V—XII	[42]
Большеглазая килька	То же	Толща воды над глубинами более 50 м	—	—	—	—	I—IV, X	[42]

* В индексе указана декада месяца.

Таблица 11.4

Сроки нереста рыб в р. Волге и необходимые расходы воды (тыс. м³/с) для привлечения производителей и размножения рыб в р. Волге, по [121]

Рыба	Период размножения		IV_1*	IV_2	IV_3	V_1	V_2	V_3	VI_1	VI_2	VI_3	VII_1	VII_2	VII_3	$VIII_1$	$VIII_2$	$VIII_3$	IX_1	IX_2	Объем стока, км³
	даты	продолжительность, сут																		
Севрюга	1 VI—20 IX	111	5,5	5,5	5,5	18	22,5	25	15	10	7	6	6	6	6	6	6	5,5	5,5	142,2
Осетр	10 V—25 VIII	82	5,5	5,5	10	18	22,5	25	25	15	7	6	6	6	6	6	6	—	—	133,5
Судак	9 IV—30 VI	82	5,5	5,5	10	18	20	25	25	15	7	—	—	—	—	—	—	—	—	120,5
Белуга	25 IV—13 VII	79	—	—	12,5	25	25	25	20	10	7	6	6	—	—	—	—	—	—	128,0
Сазан	5 V—16 VII	72	—	—	—	18	20	25	17	17	17	5,5	5,5	—	—	—	—	—	—	126,4
Лещ	1 V—7 VII	67	—	—	—	20,5	20,5	25	17	17	17	6	—	—	—	—	—	—	—	120,7
Вобла	27 IV—29 VI	64	—	—	10	18	22	25	17	17	17	—	—	—	—	—	—	—	—	119,0

* В индексе указана декада месяца.

Оптимальный объем стока в период нереста разных видов находится в пределах 119—142 км³, а продолжительность периода размножения меняется от 64 сут у воблы до 111 сут у севрюги.

Объем весеннего половодья закономерно связан с другими его характеристиками, важными для нормального прохождения нереста рыб (табл. 11.5).

Таблица 11.5

Некоторые характеристики половодья Волги при разном объеме стока (по материалам 1931—1990 гг.)

Характеристика	Сток за апрель—июнь, км³				
	61—80	81—100	101—120	121—140	141—160
Продолжительность половодья, сут	— / 33	77 / 55	71 / 67	84 / 83	82 / 90
Максимальный уровень в реке, см АР	— / 218	202 / 243	251 / 268	283 / 282	314 / 316
Количество лет	— / 6	1 / 12	10 / 7	4 / 3	5 / 5

Примечание. Числитель — до зарегулирования стока, знаменатель — зарегулированный сток.

При возрастании стока от 61—80 до 121—140 км³ продолжительность половодья увеличивается в среднем от 33 до 83 сут и при дальнейшем увеличении стока мало меняется. Увеличивается также максимальный уровень воды в реке, который, в свою очередь, определяет площадь залитых в дельте нерестилищ. Оптимальным для рыбного хозяйства считается интервал уровней воды 265—290 см по Астраханской рейке (АР), когда заливаются полои среднего и высокого уровня и площадь нерестилищ достигает 134 тыс. га в западной части дельты и 317 тыс. га в более пониженном рельефе восточной дельты. Продолжительность затопления нерестилищ должна быть не менее 65—70 сут. Такие условия создаются при объеме стока в половодье 110—120 км³.

В условиях зарегулированного стока часть весеннего паводка задерживается в водохранилищах для последующего использования в зимний период, что усугубляет дефицит воды в маловодные годы. Для обеспечения самых минимальных требований рыбного хозяйства в такие годы в вершине дельты Волги (с. Верхнее Лебяжье) было построено гидротехническое сооружение — вододелитель, который направляет поток воды в восточную часть дельты. Технические испытания его были проведены весной крайне маловодного 1977 г. Эксплуатация вододелителя позволяет в условиях, когда невозможно затопить все нерестилища дельты Волги, обводнять отмелиорированные нерестилища восточной части площадью 215 тыс. га.

От объема стока в половодье зависят также условия нагула молоди в море. С одной стороны, под влиянием пресноводного стока в Северном Каспии и, прежде всего, в западной его части формируются зоны пониженной солености, которые являются пастбищами для молоди рыб. Площадь пастбищ определяется объемом стока. С другой стороны, поступающие с пресными водами растворенные и взвешенные биогенные вещества определяют уровень продуктивности моря и развития кормовых для рыб организмов.

Таким образом, объем стока в половодье является интегральной характеристикой условий нереста и нагула рыб в Северном Каспии. Это находит свое отражение в закономерном увеличении промыслового возврата осетровых, полупроходных и речных рыб по мере роста объема стока (см. табл. 11.6).

Вторым важным фактором для нагула рыб является уровень моря. При понижении уровня высыхают и выходят из рыбохозяйственного фонда важнейшие рыбные пастбища. В 30-е годы, когда уровень понизился на 1,8 м, полностью по-

Таблица 11.6

Промысловый возврат рыб (тыс. т) в Волго-Каспийском районе при различном объеме половодья р. Волги

Объем половодья, км³	Осетровые		Полупроходные и речные		Всего
	Диапазон изменений	Среднее	Диапазон изменений	Среднее	
60—70	1,7—4,6	3,3	40—47	43	46,3
71—80	4,3—7,1	5,9	47—53	50	55,9
81—90	6,7—9,2	8,1	53—61	57	65,1
91—100	8,7—10,8	9,8	61—68	64	73,8
101—110	10,2—10,8	11,3	68—77	72	83,3
111—120	11,2—12,7	12,4	77—83	80	92,4
121—130	12,0—13,2	13,0	83—90	86	99,0
131—140	12,4—13,6	13,5	90—97	93	106,5

теряло рыбохозяйственное значение ценнейшее рыбопромысловое угодье — зал. им. Кирова. Вследствие понижения базиса эрозии в р. Куре и высыхания ее придаточных водоемов уловы сократились примерно на 50 % [34].

Для северной, отмелой части моря понижение уровня приводит к осушению десятков тысяч квадратных километров ее акватории. За период с 1930 по 1977 г. отметка уровня моря снизилась на 3 м и достигла минимального значения —29,0 м. В результате площадь Северного Каспия сократилась почти на 40 %, а объем — на 47 %.

Одним из непременных условий сохранения рыбных запасов, их кормовой базы и нагульных ареалов рыб является стабилизация уровня Каспийского моря на отметках не ниже —28,5 м абс. При более низких отметках уровня моря происходит нарушение водно-солевого баланса Северного Каспия, формирование зон повышенной солености. Откликом биологического компонента экосистемы является резкое снижение биомассы кормовых организмов, значительное сокращение нагульных для рыб ареалов и в результате уменьшение запасов ценных промысловых видов рыб.

Между промысловым запасом воблы, леща, судака в Волго-Каспийском районе, уровнем моря и волжским стоком существует функциональная связь, которая может использоваться для фоновых прогнозов уловов этих рыб [44]:

$$y = 1576{,}5 - 55{,}53x_1 + 0{,}525x_2,$$

где y — уловы полупроходных рыб, тыс. т; x_1 — уровень моря, м абс. по в/п Баку; x_2 — биопродукционный сток* р. Волги в апреле — июне, км³.

Характерно, что свободный член в этом уравнении становится равным другим составляющим при отметке уровня моря —28,4 м абс., т. е. характеризует точку перегиба в уравнении; в физическом смысле при этой отметке уровня моря резко изменяется экологическая обстановка в водоеме.

12. ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ПОЛУПРОХОДНЫХ РЫБ

Запасы полупроходных рыб определяются эффективностью размножения в дельтах рек, условиями нагула в море и интенсивностью промысла. Из 9 видов полупроходных рыб Каспийского моря наиболее многочисленными и ценными в промысловом отношении являются вобла, лещ и судак, основная масса которых добывается в Волго-Каспийском рыбопромысловом районе.

12.1. Особенности размножения полупроходных рыб

В процессе эволюции полупроходные рыбы приспособились к размножению в заливаемых во время половодья придаточных водоемах дельты и поймы. Нерест каждого вида имеет свою специфику. Различаются районы и сроки нереста, требования к субстрату, температуре, скорости течения и т. д. Это позволяет им с высокой эффективностью использовать нерестовые площади.

Вобла (*Rutilus rutilus caspicus* (*Jakowlew*)) в пределах Каспийского моря образует несколько обособленных стад: азербайджанское, туркменское и самое многочисленное северокаспийское. Для икрометания северокаспийская вобла идет в дельты Волги, Урала и в небольшом количестве в дельту Терека.

В дельте Волги вобла в настоящее время нерестится повсеместно. Наиболее продуктивные ее нерестилища располагаются в нижней зоне Волго-Ахтубинской поймы и в верхней зоне дельты. С продвижением дельты в сторону моря вследствие понижения уровня Каспийского моря в 30-х годах, а также зарегулирования волжского стока наблюдалось перемещение нерестилищ воблы в нижние зоны дельты. Так, в 1940 г. ее нерест наблюдался в култучной зоне [83], а в 50-х годах — даже в предустьевом пространстве до глубины 2,0 — 2,5 м [114]. На р. Урал основные нерестилища воблы расположены в 60—80 км выше дельты. Менее интенсивный нерест происходит повсеместно: в водоемах нижнего течения, по берегам протоков и в затопляемых участках дельты, в приморских култуках и в полойно-ильменной системе.

Нерест воблы до зарегулирования стока Волги продолжался 13—35 сут. Время его наступления в разные годы варьировало от 15 апреля до 13 мая. После зарегулирования он проходит в более сжатые сроки (13—24 сут) в связи с сокращением водности и продолжительности паводка.

Вобла обладает чрезвычайной пластичностью и легко адаптируется к разнообразным условиям. Нерест ее проходит в широком диапазоне температур (6,6—16,1 °С) с максимумом в интервале 8,1—12,4 °С. Развитие икры и личинок протекает нормально как в пресной, так и в слабосоленой воде (до 5 ‰). Обычно вобла нерестится в местах с небольшой проточностью, но в отдельных случаях отмечен ее нерест как при высокой проточности (до 0,75 м/с), так и в стоячей воде.

Субстратом для икры служат отмершая мягкая растительность, подмытые корни ветлы и тростника. Лучшими нерестилищами являются полои раннего заливания с мягкой луговой растительностью. Откладывается икра на глубине 25—40 см. На мелководьях она распределена разреженно, а в прибрежных участках рек — кучно, гроздьями.

Рост личинок на нерестилищах определяется объемом и продолжительностью весеннего половодья, а также температурными условиями и сроками нереста. По наблюдениям В. С. Танасийчук [114], хороший рост мальков воблы в дельте отмечался в годы с высотой паводка 274—394 см по АР, средней температурой воды за полойный период 13,9—14,3 °С и ранними сроками икрометания — 15—30 апреля.

В годы плохого роста мальков высота паводка изменялась от 202 до 275 см, температура воды на полоях — от 8,7 до 13 °С, икрометание рыб было поздним — с 27 апреля — по 3 мая.

---

* Биопродукционный сток — объем воды, расходуемый на затопление полоев дельты Волги. Он равен объему воды, поступившему в вершину дельты между началом подъема уровня от отметки 50 см по АР и спадом его до этой же отметки.

В условиях зарегулированного стока Волги в маловодные годы, характеризующиеся низкими и непродолжительными паводками и слабым заливом нерестовых площадей, личинки воблы в период вымывания с полоев находятся на ранних этапах развития. Длина их колеблется от 6 до 8 мм, масса — от 8 до 10 мг. В многоводные годы молодь воблы в период ската оказывается вполне сформированной и жизнестойкой. Длина ее достигает 20—25 мм, масса — 120—200 мг [2,48—50].

Покатная миграция молоди воблы растянута от мая до второй половины августа с максимумом в июне и первой половине июля. В. С. Танасийчук [115] считает, что мальки первой волны ската быстрее достигают моря и широко в нем распространяются. Мальки второй волны в связи с зарастанием култучной зоны и авандельты задерживаются в этой зоне, где нагуливаются вместе с мальками сорных рыб и значительно отстают в росте от тех, которые нагуливаются на морских пастбищах.

Лещ (*Abramis brama L.*) обитает в Северном Каспии, Волге, Урале, Тереке, Куре, речках ленкоранского побережья. Есть полупроходные и жилые формы. В Северном Каспии существует несколько локальных стад леща: волжское, уральское, терское. Наибольшей численностью всегда отличалось волжское стадо полупроходного леща.

В Волге лещ нерестится в полойно-ильменной системе низовьев дельты, в быстропрогреваемых приморских култуках, среди водной или затопленной наземной растительности. Основные его нерестилища располагаются в нижней зоне дельты. Однако с образованием обширных мелководий авандельты произошло расширение нерестового ареала леща и освоение им этой зоны. По данным Р. П. Алехиной и В. Г. Финаевой [4], култучная зона и авандельта вместе с нижней зоной в 1978 г. дали около 60 % всей молоди, при этом выход молоди леща в восточной части дельты был вдвое больше, чем в западной. Второстепенное значение для размножения полупроходного леща имеют верхняя зона дельты и нижняя часть Волго-Ахтубинской поймы, в этих районах нерестится в основном туводный лещ.

Сроки нереста леща совпадают с весенним половодьем. До зарегулирования стока Волги нерест его продолжался 24—44 сут, в современных условиях он сократился до 13—23 сут.

Лещ нерестится позднее воблы и при более высокой температуре воды (15,5—19,5 °С), массовое икрометание происходит при 17—19 °С [47]. Исследованиями В. С. Танасийчук [116] установлено, что икра волжского леща хорошо выживает при температуре воды не ниже 13,4 °С. При понижении температуры до 6 °С значительная ее часть гибнет, а при повышении до 25,8 °С наблюдаются отклонения в развитии личинок.

Начало активного ската молоди леща, как правило, наблюдается уже в пик паводка, когда гидрохимический режим водоемов, где она нагуливается, еще вполне удовлетворительный и уход ее с нерестилищ не является вынужденным. Наблюдаются две волны миграции: одна — в конце июня — начале июля, другая — в конце июля — начале августа [38].

Рост личинок леща на нерестилищах, так же как и воблы, определяется величиной и продолжительностью весеннего половодья, температурным режимом, сроками нереста и развитием кормовых организмов. По наблюдениям В. С. Танасийчук [113], у мальков леща, скатившихся в разные годы из различных водоемов дельты, наблюдается разница в средних размерах. В маловодные годы из ильменей скатывались мелкие мальки леща с длиной тела 17—18 мм, в годы с высоким паводком мигрирующие мальки были крупнее — 27,8—31,6 мм. Подобные различия наблюдаются и в более поздний период. В экстремально маловодные 1975 и 1976 гг. из-за кратковременности нагульного периода и плохих условий откорма молодь леща скатывалась с полоев на ранних этапах развития, массой 8—10 мг. В многоводном 1974 г. к концу существования полоев масса молоди леща была 110—220 мг [2].

Судак (*Stizostedion lucioperca, Linne*) имеет полупроходную и жилую формы. В Северном Каспии полупроходной судак образует волжское и уральское стадо.

Основные нерестилища волжского судака располагаются в Волго-Ахтубинской пойме, дельта Волги имеет второстепенное значение для его воспроизводства. По данным 1978 г., нерестилища нижней зоны поймы обеспечивают выход 65 % от общего количества молоди судака [4]. Судак нерестится в руслах протоков и ериков, в ильменях, избегает заросшие водоемы. Скорость течения в местах его нереста обычно не превышает 0,1, реже 0,2 м/с.

Характерной особенностью размножения судака является устройство самцом гнезда, охрана и аэрация отложенной икры. Гнезда судак строит из придаточных корней ивы, корневищ тростника и остатков прошлогодней растительности на глубинах от 0,3 до 2,0 м.

Нерестится волжский судак раньше воблы — с середины апреля до первых чисел мая при температуре воды 6—12 °С, массовое его икрометание наблюдается при температуре 8 °С [117]. Развитие икры в зависимости от температуры воды продолжается 15—20 сут. Личинки появляются в 1—2-й декаде мая. Они с током воды заносятся на полои, где в течение 30—35 сут идет дальнейшее развитие молоди до покатной стадии. При пониженных уровнях воды в период половодья личинки не попадают на полои и вынуждены откармливаться в руслах, где кормовая база беднее.

Пища судака, по данным Р. П. Матвеевой [90], на ранних этапах (длина 6—10 мм) состоит на 90 % из планктонных рачков. При длине 13—30 мм они переходят на смешанную пищу. Наряду с ракообразными (44 %) в их рационе появляются личинки судака, щуки, красноперки (25 %). Молодь судака длиной от 31 до 185 мм полностью переходит на питание молодью рыб. В группе до 60 мм по массе и частоте встречаемости преобладает молодь леща и воблы (40—53 %). Более крупные особи питаются в основном молодью сазана (46—76 %). Миграция мальков начинается в конце мая — начале июня и продолжается до середины июля. Массовый скат мальков судака из ильменей наблюдается в вечерние (21—24 ч) и раннеутренние часы (3—6 ч). Их миграция совпадает с массовым скатом карповых, особенно воблы, которыми они интенсивно питаются.

12.2. Распределение полупроходных рыб в Северном Каспии

Распределение полупроходных рыб в море оценивается по материалам траловых съемок (июль — октябрь), которые регулярно проводятся с 30-х годов. Сетка стандартных станций охватывает акваторию моря с глубинами от 2 до 14—15 м площадью около 50 тыс. км², что составляет примерно 60 % всей площади Северного Каспия. Расчет численности популяции в море проводится площадным методом, путем построения карт изоплет. Акватория моря делится изолиниями на участки с близкими значениями уловов, на которых с помощью интеграла вероятностей вычисляется вероятность уловов более 50, 100, 500 и 1000 экз./ч траления.

Распределение молоди в море определяется тремя основными факторами: ее численностью, соленостью воды и распределением кормовых организмов. В годы низкой численности молоди полупроходных рыб ареал их нагула в Северном Каспии приурочен к предустьевым пространствам Волги и Урала. В годы с высокой численностью сеголетки воблы, леща и судака осваивают более глубоководные районы моря, образуя плотные скопления на свалах глубин. В массе сеголетки во все годы встречаются на глубинах 3—7 м (вобла) и 2—5 м (лещ, судак). Молодь воблы и судака может достигать 14—15-метровой изобаты.

Южная граница ареала молоди воблы определяется в основном изогалиной 10 ‰, но небольшая ее часть нагуливается в водах соленостью до 12 ‰. В массе сеголетки воблы держатся в водах соленостью 1—7 ‰. Зона распространения сеголеток леща и судака ограничивается соленостью 7—8 ‰, наибольшие скопления они обычно образуют в водах соленостью до 5 ‰. В районах с соленостью более 8 ‰ молодь леща и судака отсутствует или встречается в небольшом количестве, что видно на рис. 12.1.

В пределах оптимальной для вида солености воды распределение сеголеток определяется раз-

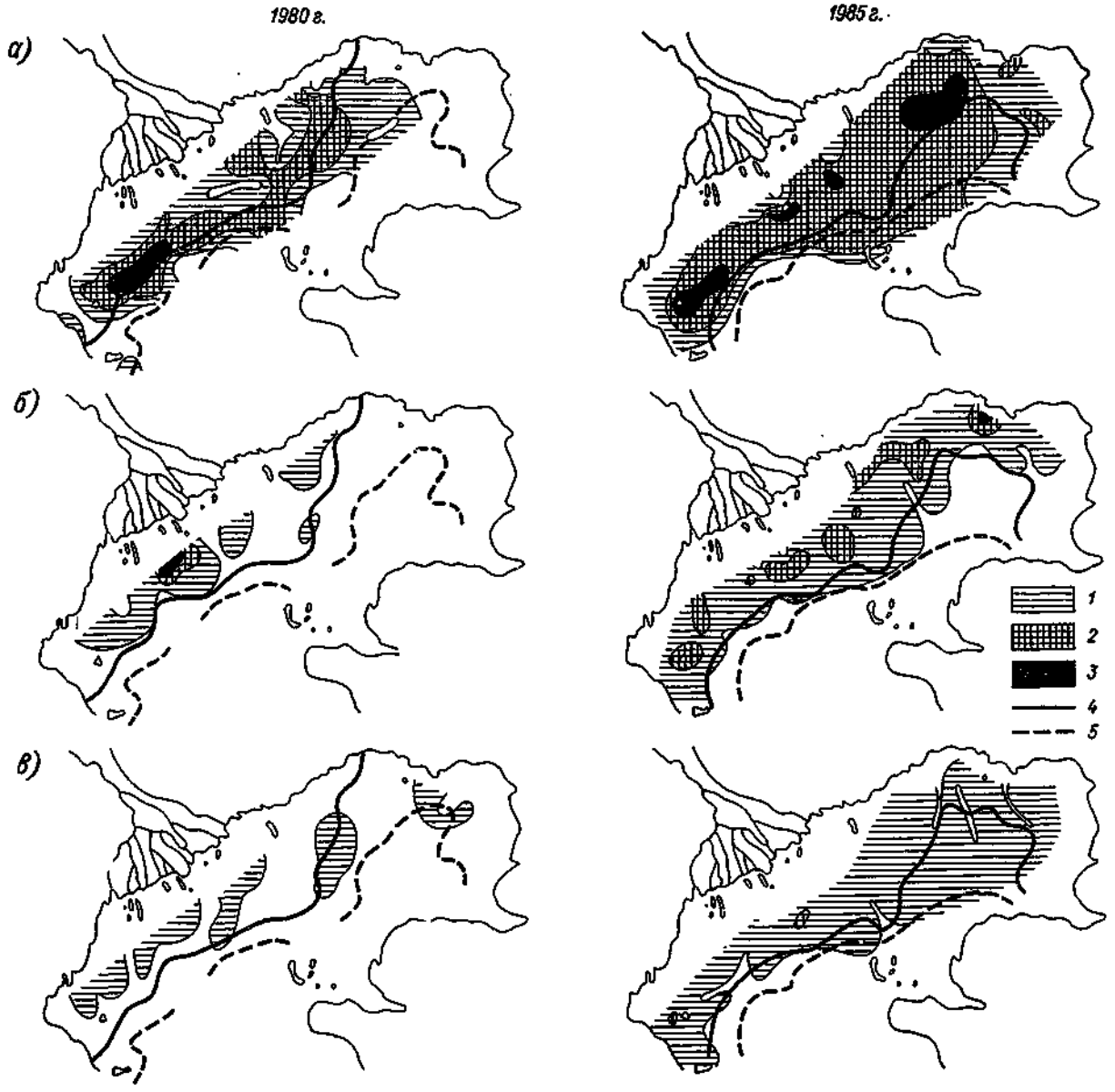


Рис. 12.1. Распределение уловов (экз./ч траления) сеголетков воблы (*а*), леща (*б*) и судака (*в*) в августе 1980 и 1985 гг. в Северном Каспии.

1) 1—100; *2*) 101—1000; *3*) более 1000; *4* и *5* — изогалины соответственно 7 и 11 ‰.

витием кормовых организмов. Так, в западной, более продуктивной части Северного Каспия концентрация молоди бывает обычно выше, чем в восточной.

Различия в распределении молоди воблы, леща и судака обусловлены также особенностями их питания. В начале морского периода скатившаяся молодь питается в основном донными ракообразными. Но уже в это время происходит дифференциация. Молодь воблы предпочитает гаммарид и корофиид, леща — гаммарид и кумацей, судака — мизид. По мере роста в рационе сеголеток воблы уменьшается доля высших ракообразных и увеличивается количество моллюсков, особенно дрейссены. У сеголеток судака также происходит уменьшение в пище доли ракообразных, и к концу первого года они переходят на питание рыбой, в основном мелкими бычками и молодью воблы. Увеличение разнообразия пищевых объектов сопровождается расширением ареала молоди.

На материале 1960—1984 гг. выявлена положительная корреляция между средней численностью сеголеток воблы в траловых уловах и площадью их ареала в море ($r = 0{,}60$), а также между их ареалом и объемом стока Волги за апрель — июнь ($r = 0{,}75$). Отрицательная корреляционная связь наблюдается между ареалом сеголеток воблы и соленостью северокаспийских вод ($r = -0{,}72$).

Ареал распространения в море сеголеток леща определяет сток Волги в половодье ($r = 0{,}84$) и соленость воды Северного Каспия ($r = -0{,}70$), судака — его численность на нагульных пастбищах ($r = 0{,}82$) [38].

В многоводные годы ареал сеголеток полупроходных рыб возрастает в 1,5—2,6 раза по сравнению с маловодными годами (табл. 12.1), что превосходит различие для взрослых рыб (1,4—1,8 раза). Расширение ареала всех возрастных групп происходит за счет расширения площади распресненных зон, а у сеголеток накладывается еще один фактор — увеличение их численности с повышением стока Волги в половодье.

Таблица 12.1

Изменение площади нагула (тыс. км²) полупроходных рыб в Северном Каспии при различном объеме весеннего половодья Волги (1960—1990 гг.)

Вид	Возрастная группа	Сток Волги за апрель—июнь, км³			
		50—70	71—90	91—120	120
Вобла	Сеголетки	29	40	40	44
	Годовики	19	32	30	35
	Взрослые	33	44	48	47
Лещ	Сеголетки	15	16	24	29
	Годовики	13	11	14	16
	Взрослые	18	19	24	26
Судак	Сеголетки	9	17	21	23
	Годовики	0,8	5	7	5
	Взрослые	13	18	22	23

Распределение старших возрастных групп воблы, леща и судака в Северном Каспии имеет те же закономерности, что и распределение сеголеток. Характер его определяют численность рыб, гидрологический режим водоема и развитие кормовых организмов.

В многоводные годы вобла в одинаковой степени распространена как в западной, так и в восточной части Северного Каспия. В годы низкой водности ее ареал уменьшается. На востоке вобла держится разреженно, а в западной части граница ее распространения смещается на север вследствие продвижения в глубь моря среднекаспийских соленых вод (рис. 12.2 *а* и *б*).

Лещ, в отличие от воблы, держится в море на меньших глубинах, и ареал его обитания не так велик. Наибольшую площадь в Северном Каспии лещ занимает в августе и реже в сентябре, когда численность его там наибольшая. Распространение основной массы леща обычно ограничивается изогалиной 8‰. Особенно многочисленные его скопления наблюдаются в зоне слабого осолонения при солености 2—4‰.

В многолетнем аспекте особенно значительные изменения границ распространения леща отмечались в восточной половине Северного Каспия. В годы, когда происходило осолонение этой части моря, концентрация леща в ней была резко пониженной, как это показано на примере 1977 г., и, наоборот, при опреснении Северного Каспия лещ нагуливается почти по всей акватории восточной части моря (рис. 12.2 *в* и *г*).

Судак распространен в Северном Каспии на глубинах до 14 м при солености до 13‰. Границы распространения основной массы судака были более узкими: глубина 3—5 м, соленость 1—9‰. Наиболее широко судак осваивал Северный Каспий в период максимального распреснения моря.

У взрослых полупроходных рыб увеличивается разнообразие пищевых объектов. Для воблы это моллюски, черви, ракообразные и личинки хирономид. По массе в пище преобладают моллюски. Среди них доминируют виды солоноватоводного комплекса (адакна, дидакна, дрейссена и монодакна). Потребляются также морские моллюски (абра, церастодерма), роль которых в пище возрастает в маловодные годы.

Взрослый лещ — рыба малопластичная, но высокоактивная, что позволяет ей в любых условиях сохранять в рационе определенный набор организмов. Изменения происходят только в соотношении компонентов. Объектами питания леща являются солоноватоводные моллюски (адакна, монодакна), ракообразные (кумацеи), каспийские и пресноводные черви (амфаретиды, олигохеты). Лещ, в отличие от воблы, слабо использует вселенцев средиземноморского комплекса (нереис, абра, краб), так как он занимает наиболее опресненную часть ареала воблы.

Судак нагуливается в Северном Каспии в зоне распределения воблы и леща. Основное значение в его питании имеет вобла ($^3/_4$ его пищевых потребностей), второстепенное — бычки, килька, атерина, лещ. Дифференциация состава пищи у взрослых полупроходных рыб приводит к обособлению их ареалов.

Ареал взрослых полупроходных рыб в большой степени зависит от их численности (табл. 12.2). По приведенным в таблице материалам эта связь наиболее четко проявляется для судака и леща.

Корреляционный анализ материалов 1960—1984 гг. показал, что основными факторами, определяющими ареал нагула взрослых полупроходных рыб, являются следующие: для воблы — соленость

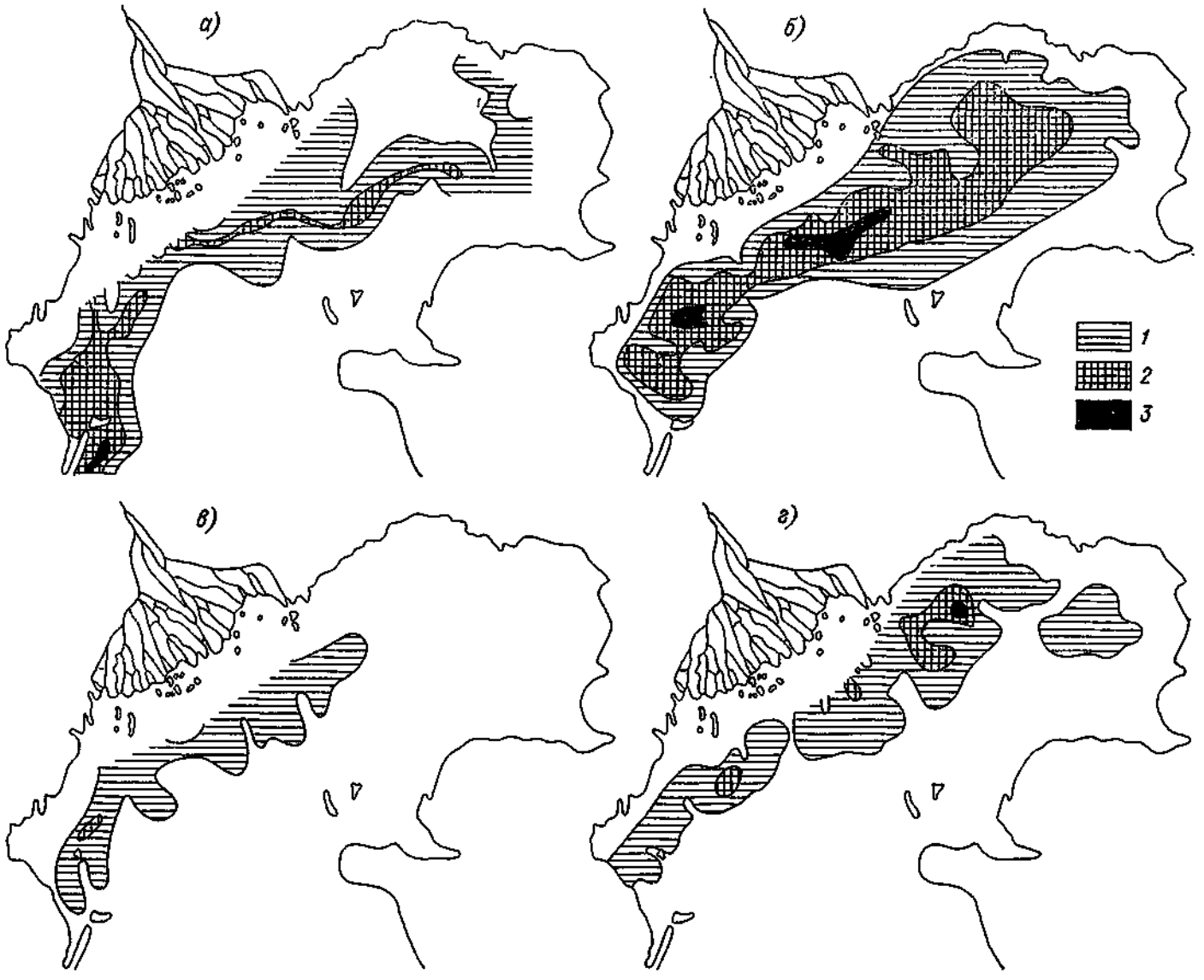


Рис. 12.2. Распределение взрослых особей воблы (*а, б*) и леща (*в, г*) в Северном Каспии.

а — 1978 г.; *б* — 1987 г.; *в* — август 1977 г.; *г* — сентябрь 1987 г.
Условные обозначения см. на рис. 12.1.

северокаспийских вод ($r = -0{,}80$), а для леща и судака — численность этих рыб в море ($r = 0{,}81$ и $r = 0{,}85$ соответственно) [42].

Таким образом, распределение всех возрастных групп полупроходных рыб в Северном Каспии определяется четырьмя основными факторами: объемом пресноводного стока, численностью рыб, соленостью вод и концентрацией кормовых организмов.

12.3. Многолетние изменения урожайности и промысловых уловов полупроходных рыб Северного Каспия

Урожайность полупроходных рыб определяется прежде всего величиной нерестовых и нагульных площадей, которая всецело зависит от объема и характера половодья. По ориентировочным оценкам, нерестовые площади полупроходных рыб в Волго-Каспийском районе составляют 525 тыс. га, в том числе 60 тыс. га в нижней зоне Волго-Ахтубинской поймы, 465 тыс. га в дельте р. Волги. В многоводные годы практически заливаются все нерестовые площади дельты и поймы. В маловодные годы обводняется менее 60 % нерестового фонда.

Для увеличения нерестовых площадей в условиях зарегулированного стока в вершине дельты было построено гидросооружение — вододелитель. С его помощью в маловодные годы весной создается временный подпор воды до 4,2 м и подача ее в р. Бузан для затопления нерестовых угодий пониженной восточной части дельты. С момента завершения строительства (1976 г.) вододелитель вводился в эксплуатацию 6 раз. Наиболее удачным режим его работы был в 1988 и 1989 гг. В эти годы удалось в течение месяца поддерживать в залитом состоянии дополнительно 72 и 62 тыс. га нерестовых площадей.

До зарегулирования стока Волги затопление нерестилищ дельты и Волго-Ахтубинской поймы формировалось под влиянием естественного хода половодья, которое в большинстве случаев обеспе-

Таблица 12.2

Численность (млрд экз.) и ареал (тыс. км²) взрослых полупроходных рыб в Северном Каспии

Год	Вобла		Лещ		Судак	
	Численность	Ареал	Численность	Ареал	Численность	Ареал
1960	510	41,0	59,1	27,4	14,9	14,6
1961	299	42,7	33,5	19,7	36,7	22,4
1962	498	43,3	28,7	22,9	12,1	15,6
1963	241	47,5	42,8	18,9	32,7	18,7
1964	235	66,5	53,0	29,3	34,5	17,9
1965	191	47,6	27,3	10,8	37,7	25,8
1966	365	52,6	83,4	30,7	31,9	27,8
1967	428	43,2	58,4	28,1	34,5	22,7
1968	266	39,8	25,1	11,6	7,4	12,6
1969	203	44,6	25,7	17,0	6,3	8,4
1970	453	46,6	24,8	17,6	16,8	18,5
1971	352	62,2	27,8	28,6	48,9	25,9
1972	359	47,5	27,4	21,4	44,3	26,6
1973	251	40,5	17,2	16,4	21,3	20,2
1974	261	34,4	11,8	16,7	11,2	15,9
1975	187	27,0	41,8	21,1	27,7	18,7
1976	58	12,9	17,5	13,8	0,6	2,0
1977	423	23,6	4,3	8,7	8,9	10,7
1978	335	34,4	2,5	9,9	3,9	8,2
1979	474	47,4	50,7	30,1	20,2	17,9
1980	326	42,0	67,0	24,6	26,0	21,6
1981	407	45,9	78,7	25,3	11,1	15,8
1982	253	47,9	13,0	19,4	11,3	25,5
1983	340	38,1	7,1	13,6	—	—
1984	504	47,3	59,2	29,1	—	—
1985	192	43,7	34,8	14,0	—	—
1986	411	44,6	54,0	31,3	—	—
1987	538	49,2	81,6	27,0	—	—
1988	857	55,1	99,3	41,0	—	—
1989	462	43,2	36,0	27,6	—	—
1990	430	52,4	41,7	29,6	—	—

Примечание. При расчете численности рыб коэффициент уловистости трала условно принят равным единице.

чивало оптимальные условия для размножения рыб и нагула молоди и как следствие этого высокую рыбопродуктивность.

После зарегулирования стока Волги у Волгограда произошли серьезные нарушения условий воспроизводства полупроходных рыб. За 1959—1991 гг. только в 9 случаях из 32 попуски воды отвечали требованиям рыбного хозяйства. В эти годы объем стока превышал 120 км³. По мере снижения объема стока условия размножения ухудшаются. С одной стороны, это связано с естественными процессами. Уменьшение объема стока влечет за собой снижение уровня воды, сокращение площади заливаемых нерестилищ, сокращение продолжительности половодья (см. п. 11.3). Последнее сказалось на сокращении продолжительности нереста у воблы с 13—35 до 13—24 сут, а у леща — с 24—44 до 13—23 сут. С другой стороны, по мере уменьшения стока усиливается его регулирование. Так, в начале половодья попуски из водохранилища задерживаются и уровень воды в реке снижается до отрицательных отметок, что в значительной степени уменьшает эффективность размножения раннерестующих рыб.

Отрицательное влияние на выживание молоди оказывает раннее наступление проточности полоев. В бытовых условиях подъем уровня от 50 до 200 см проходил плавно, в среднем в течение 23 сут. Личинки, выклев которых отмечался при среднем уровне 135 см, к моменту наступления проточности успевали достичь таких этапов развития, на которых они способны противостоять течению. После зарегулирования стока скорости подъема полых вод возросли в 2 раза, и выклев личинок, как правило, совпадал с наступлением проточности полоев. Массовый вынос личинок в водотоки дельты на ранних стадиях онтогенеза вследствие их нежизнестойкости в речных условиях приводит к снижению продуктивности нерестовых угодий дельты. Кроме того, ранняя проточность ведет к снижению первичной продукции планктона, которая определяет трофность экосистемы полоев. По данным А. А. Курапова, разница первичной продукции на участках полоев с проточностью и без нее составляет в среднем 72 % [3]. Таким образом, ранняя проточность полоев снижает урожайность молоди в результате преждевременного выноса ее в реки и ухудшения трофических условий на нерестилищах.

После зарегулирования стока нарушилась также естественная сопряженность водного и температурного режима. В естественных условиях обводнение нерестилищ начиналось примерно на неделю раньше наступления нерестовой температуры воды в реке (8 °С). Происходила своего рода подготовка нерестилищ к приему производителей. В зарегулированный период сроки наступления нерестовых температур, как правило, опережают заливание полоев (табл. 12.3).

Разница в сроках этих процессов закономерно увеличивается по мере снижения объема стока в половодье. Отставание залития нерестилищ начинается при стоке менее 120 км³ и доходит до предельных значений (27 сут) при стоке около 60 км³. Задержка залития нерестилищ в условиях неудовлетворительной водности приводит к скоплению производителей рыб на ограниченных участках по-

Таблица 12.3

Условия нереста полупроходных рыб в дельте Волги и нагула в Северном Каспии в 1974—1987 гг., по [37]

Годы	Сток за апрель—июнь, км³	Дата		Разница в сроках,* сут	Индекс обводнения нерестилищ, %	Соленость Северного Каспия за апрель—октябрь, ‰	
		наступления нерестовой температуры (8° С)	залития первых полоев			Запад	Восток
1951—1955	138	—	17 IV—12 V	0	100	8,79	7,46
1979	146	3 V	30 IV	3	110	8,39	7,70
1981	128	9 V	26 IV	9	83	8,70	7,70
1974	125	4 V	27 IV	7	80	9,20	5,65
1986	120	—	22 IV	—	76	8,64	7,34
1985	116	29 IV	2 V	—3	—	8,61	6,33
1987	108	14 V	12 V	2	57	9,32	5,90
1983	90	13 IV	23 IV	—10	38	8,55	8,82
1978	88	29 IV	5 V	—7	44	9,42	9,70
1980	83	27 IV	12 V	—15	32	9,24	8,38
1982	77	19 IV	10 V	—21	30	9,35	9,15
1977	71	24 IV	3 V	—9	15	10,24	10,73
1984	71	6 V	11 V	—5	39	9,62	6,75
1976	64	28 IV	25 V	—27	11	10,64	9,62
1975	57	9 IV	6 V	—27	8	11,04	8,52

* Положительные значения показывают, что залитие нерестилищ опережает наступление нерестовой температуры (8 °С); отрицательные — что залитие запаздывает.

лоёв и к единовременному нересту рыб с разной экологией. Это ведет к повышению пищевой конкуренции личинок и снижению выживания молоди [5]. В табл. 12.3 показано также снижение по мере уменьшения стока индекса обводнения нерестилищ (произведение площади на продолжительность их залития), выраженного в процентах к значениям естественного периода. При снижении стока ухудшаются также условия нагула рыб в Северном Каспии. Закономерно возрастает соленость вод в западной и восточной его частях (см. табл. 12.3), что влечет за собой уменьшение площади нагула рыб и степени развития кормовых для них организмов (см. п. 10.3). Кроме того, снижается продукционный потенциал Северного Каспия, так как с уменьшением пресноводного стока уменьшается количество поступающих с ним биогенных элементов. На основании сказанного сток может быть принят за интегральный показатель условий размножения и нагула полупроходных рыб.

Эффективность размножения полупроходных рыб оценивается по количеству молоди на нерестилищах дельты Волги и по количеству сеголеток в Северном Каспии.

Учет численности молоди полупроходных рыб на нерестилищах дельты ведется с 1974 г. Концентрация молоди воблы на 1 га нерестовой площади колеблется от 280 тыс. до 1,2 млн экз., а в среднем за период исследований составила 656 тыс. экз./га. Общее количество молоди воблы по дельте (с учетом площадей залития) колеблется от 123 до 595 млрд экз. при среднем значении за весь период наблюдений 257 млрд экз. У леща более широкий диапазон вариации численности на нерестилищах дельты — от 6 до 140 тыс. экз./га нерестовой площади, и в среднем составляет около 50 тыс. экз./га. Общая урожайность молоди леща в дельте с учетом площади нерестилищ варьирует от 2,4 до 67,8 млрд экз. Эти различия обусловлены прежде всего изменением объема стока Волги в половодье (табл. 12.4). Играют роль и сопряженные с ним другие факторы, например продолжительность половодья. Последний определяет продолжительность нагула молоди на нерестилищах. В маловодные годы она составляет 13—15 сут, а в экстремально маловодные 1975 и 1976 годы уменьшалась до 7 сут. В таких условиях наблюдается скат молоди на ранних личиночных стадиях и массовая гибель ее в остаточных водоемах. Средняя длина скатывающейся воблы в маловодные годы составляет около 14 мм, средняя масса — 35 мг.

В многоводные годы молодь нагуливается на нерестилищах 50—70 сут и достигает средней длины 26 мм и массы 315 мг. К концу периода у нее преобладают особи покатной стадии. Подобная тенденция наблюдается и для молоди леща. Количество молоди воблы и леща на нерестилищах, ее размеры и выживаемость увеличиваются по мере возрастания объема стока и продолжительности половодья.

Наблюдения за концентрацией сеголеток полупроходных рыб в Северном Каспии охватывают более длительный период (табл. 12.5). Наиболее многочисленными на протяжении всего периода исследования были сеголетки воблы. Численность сеголеток леща была в 30—40-х годах соизмерима с воблой, а в современных условиях снизилась примерно на порядок. Самые малочисленные сеголетки судака, их численность также изменяется по периодам. Самая низкая урожайность воблы, леща и судака была после зарегулирования стока Волги и до начала подъема уровня моря (1960—1978 гг.). В эти годы объем стока только в 30 % случаев превышал 100 км³, а до зарегулирования это была нижняя граница его значений. Особенно неблагоприятные условия для размножения сложились в 1975—1977 гг., когда объем весеннего половодья составил 57—72 км³.

Проведено исследование влияния объема стока Волги в половодье на численность сеголеток, которая характеризует урожайность. Урожайности рассматриваемых видов рыб были сгруппированы относительно стока (табл. 12.6). Средние значения выделенных групп закономерно возрастают по мере увеличения объема стока и затем после достижения максимума плавно снижаются. Широкий размах урожайности внутри групп (3—29 раз у воблы и леща и 2—120 раз у судака) обусловлен действием других факторов, среди которых первостепенное значение имеет, по-видимому, температура. При значениях этих факторов, близких к оптимальным, их влияние ослабевает, и урожайность достигает максимальных значений при данном объеме стока. Анализ зависимостей максимальных значений урожайности от стока показал, что они имеют ту же тенденцию изменения, как и средние значения. У воблы наиболее высокая урожайность в современных условиях получена при стоке 120—130 км³ (рис. 12.3). Несколько отличается положение максимума в 30—40-х годах, который сдвинут в область более высоких значений (130—140 км³). Это связано, по-видимому, с тем, что в данный период нерест проходил не только в дельте и пойме Волги, но и в подстепных ильменях, площадь которых была соизмерима с площадью современных нерестилищ.

Следует отметить, что относительно низкие значения концентрации сеголеток воблы в 30—40-х годах отчасти связаны с использованием менее быстроходных судов при их лове. Но положение максимума их количества вполне сопостави-

Таблица 12.4

Общее количество молоди (млрд экз.) на нерестилищах дельты Волги при разном объеме стока (апрель — июнь) в 1974—1990 гг.

Год	Половодье		Количество молоди	
	объем, км³	продолжительность, сут	воблы	леща
1975	57	19	139,9	2,4
1976	64	24	22,0	3,0
1977	71	30	148,1	6,3
1984	71	31	284,9	25,2
1982	77	37	325,2	8,8
1980	83	45	240,4	13,2
1978	88	41	123,7	2,9
1983	90	47	511,9	25,2
1988	96	52	410,8	21,8
1989	97	57	376,1	15,5
1987	108	63	204,1	28,4
1985	116	86	275,7	67,8
1986	121	64	418,5	11,6
1974	125	90	186,4	3,5
1981	128	74	235,3	3,9
1979	146	73	465,0	31,9
1990	152	103	595,2	44,8

Таблица 12.5

Многолетние изменения урожайности полупроходных рыб в Северном Каспии и их промысловых уловов в Каспийском бассейне

Год	Сток за апрель—июнь, км³	Урожайность, экз./ч траления			Улов, тыс. т		
		Вобла	Лещ	Судак	Вобла	Лещ	Судак
1931	144	664	433	52,2	—	—	—
1932	180	102	71	16,4	130,9	23,1	54,6
1933	115	40	16	4,2	118,4	29,6	63,6
1934	120	159	147	15,0	200,5	67,1	73,2
1935	103	58	23	0,9	170,1	105,0	58,6
1936	117	76	167	5,4	197,0	106,8	55,2
1937	93	26	29	0,3	145,6	47,4	35,7
1938	116	137	147	4,2	110,3	48,4	39,2
1939	120	212	162	8,1	63,3	69,0	42,8
1940	122	265	299	12,2	51,4	62,0	35,4
1941	140	345	509	1,6	57,3	60,9	42,6
1942	152	453	401	5,2	49,0	49,9	33,0
1943	138	69	113	11,4	75,6	66,3	37,0
1944	146	123	300	1,0	68,5	83,3	46,1
1945	111	104	36	3,9	66,5	87,7	32,1
1946	166	245	269	11,7	60,2	89,8	34,0
1947	212	41	57	3,1	42,6	62,5	36,9
1948	168	89	249	6,7	44,9	65,9	59,3
1949	129	64	36	1,8	75,0	83,3	45,0
1950	110	34	25	3,3	59,6	75,4	31,4
1951	141	136	30	21,0	64,9	51,7	36,3
1952	107	131	44	0,9	65,1	33,8	27,8
1953	149	149	21	0,8	60,1	26,1	25,7
1954	104	99	25	3,5	93,6	37,4	33,3
1955	190	194	109	10,0	109,0	37,1	30,0
1956	106	125	25	1,9	63,8	27,7	22,2
1957	150	149	79	16,8	48,0	28,5	17,2
1958	145	66	30	1,0	64,7	36,2	22,0
1959	100	184	27	3,0	64,4	31,5	14,6
1960	89	66	39	2,6	64,1	23,3	14,6
1961	120	138	25	0,6	43,6	21,5	13,3
1962	96	194	19	2,3	24,3	15,2	6,3
1963	117	167	15	7,7	24,5	17,4	4,4
1964	78	19	11	4,0	20,3	19,7	4,7
1965	100	75	7	0,3	18,4	18,9	6,8
1966	158	311	81	5,3	15,6	18,8	6,8
1967	66	116	13	0,1	19,1	26,5	5,9
1968	104	557	76	5,5	13,8	21,5	5,5
1969	86	126	15	1,1	14,8	21,5	2,4
1970	136	578	18	7,2	11,9	21,7	3,5
1971	98	116	9	1,7	17,5	20,2	3,4
1972	94	116	26	2,3	14,8	23,8	8,1
1973	77	179	3	0,7	22,3	32,0	8,0
1974	125	927	157	5,2	21,9	25,7	6,2
1975	57	35	8	0,2	26,2	17,5	4,4
1976	64	10	38	1,1	19,4	13,0	2,8
1977	71	131	8	2,9	14,5	8,7	5,7
1978	88	83	2	1,5	9,4	4,6	0,2
1979	146	228	23	1,3	5,7	3,9	0,5
1980	83	102	22	1,2	5,8	3,6	1,0
1981	128	1860	84	8,6	3,6	5,1	3,5
1982	77	151	4	1,6	6,2	11,9	1,9
1983	90	190	18	2,0	5,5	122,7	2,6
1984	71	46	11	10,0	8,3	105,7	1,5
1985	116	314	47	4,8	8,2	8,0	1,6
1986	120	579	30	4,1	7,2	8,2	2,8
1987	108	101	54	10,8	8,5	105,2	4,6
1988	96	146	10	6,5	9,8	17,4	5,1
1989	97	254	19	10,1	16,9	20,5	5,6
1990	152	316	83	18,6	—	—	—

мо с последующими периодами. Изменение этого максимума в разных условиях говорит о больших адаптационных возможностях этого вида.

У леща, судя по максимальным значениям, изменение урожайности от стока в 30—40-х годах совершенно совпадало с ходом этой зависимости для воблы. После зарегулирования стока урожайность леща резко снизилась. При этом не было отмечено каких-либо заметных отклонений в возрастном, размерном и половом составе нерестовой популяции или других негативных явлений. По всей видимости, снижение количества сеголеток леща в море связано с тем, что бóльшая их часть нагуливается на мелководьях авандельты, образовавшихся после падения уровня моря, которые недоступны для исследовательских судов.

Таблица 12.6

Урожайность полупроходных рыб (экз./ч траления) при разных значениях объема стока Волги (1931—1990 гг.)

Градация стока за апрель—июнь, км³	Количество лет	Вобла		Лещ		Судак	
		Среднее	Диапазон изменений	Среднее	Диапазон изменений	Среднее	Диапазон изменений
Менее 80	8	87	10—179	12	3—38	2,6	0,1—10,0
81—100	13	129	26—254	19	2—39	2,5	0,3—10,1
101—120	17	175	34—579	63	15—167	5,1	0,6—15,0
121—140	7	587	64—1860	174	18—509	6,9	1,6—12,2
141—160	10	259	66—664	148	21—433	12,3	0,8—52,2
161—180	3	145	89—245	196	71—269	11,6	6,7—16,4
181—200	1	194	—	109	—	10,0	—
201—220	1	41	—	57	—	3,1	—

Таблица 12.7

Промысловый запас и интенсивность изъятия воблы и судака в Северном Каспии в разные периоды

	Вобла				
Период, годы	1954—1960	1966—1979	1976—1979	1980—1981	1982—1986
Промысловый запас, тыс. т	170,5	93,4	65,2	106,7	119,1
Улов, тыс. т	65,0	17,2	11,7	4,1	6,7
Интенсивность изъятия, %	38,1	18,4	18,0	4,0	5,7
	Судак				
Период, годы	1929—1934	1935—1941	1942—1947	1948—1959	1960—1980
Промысловый запас, %	100	68	54	37	9
Интенсивность изъятия, %	60,5	75,8	63,2	80,4	50,0
Численность молоди, экз./ч траления	37,9	5,5	7,2	5,3	3,6

Промысловые уловы полупроходных рыб подвержены значительным колебаниям (см. табл. 12.5). Это связано прежде всего с изменением условий их воспроизводства, что влечет за собой изменение промысловых запасов. Наблюдается нарушение существовавшей ранее прямой связи между урожайностью и промвозвратом в связи со снижением выживаемости молоди (отношение величины поколения к количеству сеголеток). Особенно низкие показатели выживания молоди леща (0,1—0,8) отмечены для поколений 1972, 1974, 1975, 1976 и 1977 гг., что, несомненно, связано с ухудшением экологической обстановки в Северном Каспии и аванделъте.

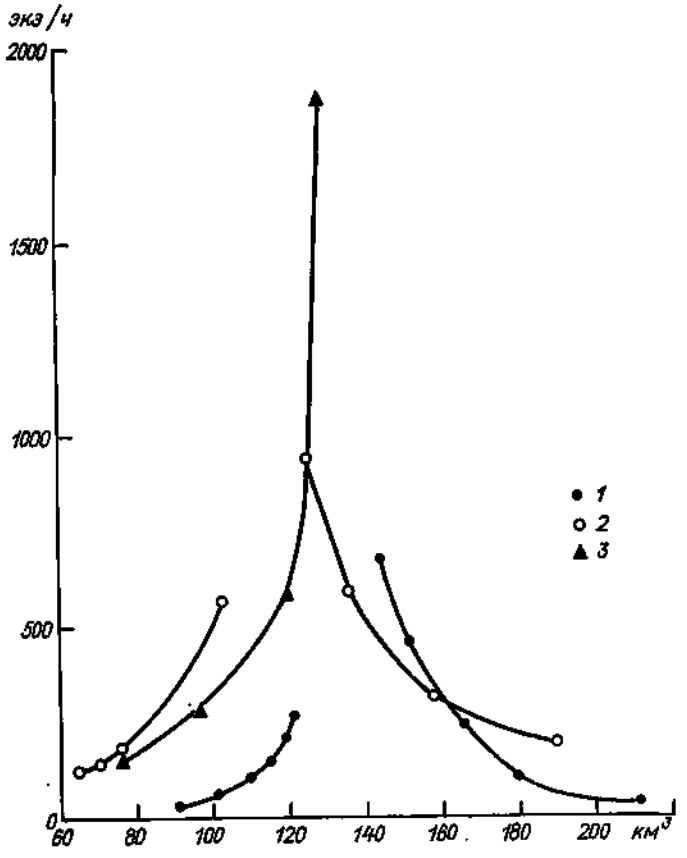


Рис. 12.3. Зависимость максимальных значений урожайности воблы (экз./ч) тралепия) от стока Волги в половодье (апрель — июнь) (км³) в разные периоды.

1 — 1931—1950 гг.; *2* — 1955—1977 гг.; *3* — 1981—1989 гг.

На динамику уловов рыб существенное влияние оказывает также изменение интенсивности промысла на протяжении рассматриваемого периода. У воблы в 50-х годах уровень эксплуатации запаса был близок к оптимальному (табл. 12.7). После перехода промысла на крупноячейные невода в 1967 г. интенсивность ее изъятия снизилась. В современный период есть возможность значительно увеличить степень использования запасов, но даже в случае оптимизации промысла уловы не достигнут уровня периода естественного режима из-за снижения самого промыслового запаса.

Наиболее интенсивно в рассматриваемый период эксплуатировалось стадо волжского полупроходного судака (см. табл. 12.7). В маловодный период конца 30-х годов урожайность судака уменьшилась почти в 7 раз. Снижение в связи с этим уловов вызвало наращивание интенсивности промысла. В 40-х годах, несмотря на увеличение количества молоди, интенсивность вылова была на высоком уровне, что обусловило дальнейшее сокращение запаса судака. В 50-х годах промысловый запас еще больше сократился и составил 37 % от его значения в начале 30-х годов. Ухудшение условий воспроизводства после зарегулирования стока усугубились низкой численностью производителей [131]. Это привело к дальнейшему

сокращению его численности, несмотря на введение в 1962 г. нового режима рыболовства. В 80-е годы при увеличении стока Волги урожайность и уловы судака несколько повысились (см. табл. 12.5).

Основным фактором, определяющим многолетние изменения урожайности полупроходных рыб в Волго-Каспийском районе, является пресноводный сток. Объем половодья определяет площадь залитых нерестилищ, продолжительность обитания и трофические условия молоди на полоях, ареал ее нагула и обеспеченность кормом в море. В современных условиях максимальная численность молоди воблы получена при объеме стока 120—130 км³. Для судака, наряду со стоком, в настоящее время важным фактором, сдерживающим увеличение численности его поколений, является недостаточное количество производителей.

13. ФОРМИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ОСЕТРОВЫХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В Каспийском море сосредоточено более 90 % мирового запаса осетровых. Их высокая численность поддерживалась здесь благодаря наличию многочисленных нерестилищ в реках бассейна, обширных опресненных мелководий для адаптации молоди к морской среде и высококормных пастбищ в море. Среди каспийских осетровых имеются туводные и проходные формы, яровые и озимые биологические группы, хищники и питающиеся беспозвоночными. Эта многогранная экологическая приспособленность осетровых обеспечивает наиболее полное использование их нерестового и нагульного ареалов. Самые массовые среди них — русский осетр и севрюга, численность белуги значительно ниже, а запасы стерляди и шипа совсем невелики.

13.1. Краткая биологическая характеристика осетровых

Белуга (*Huso huso, Linne*) — самая крупная из осетровых рыб. Она достигает длины 425 см, массы 520 кг и возраста 100—120 лет. Половозрелой белуга становится в возрасте 11 лет (самцы) и 15—16 лет (самки). Для размножения она идет в реки: Волгу, Терек, Урал, Куру и Сефидруд. В соответствии с этим ее популяция разделяется на три субпопуляции: волжскую, уральскую, куринскую. До строительства плотин белуга поднималась до верховьев Волги и заходила в ее притоки Оку, Шексну и Каму. После сооружения Волгоградской ГЭС у нее сохранилось лишь 5 % площади нерестилищ. В настоящее время основное значение для пополнения численности белуги от естественного нереста имеет Урал, от заводского воспроизводства — Волга.

Белуга распространена в море повсеместно, держится как у дна, так и в пелагиали, является хищником, питается бычками, сельдевыми и карповыми. Молодь ее в первые месяцы жизни в море потребляет мизид. Белуга превосходит других каспийских осетровых по темпу роста. За первый год она вырастает по средним многолетним данным до 47 см (28—65 см).

Молодь и взрослые особи белуги для нагула используют всю акваторию Каспийского моря и имеют по сравнению с другими осетровыми наиболее широкий ареал нагула.

Осетр имеет в Каспийском бассейне две формы: русский осетр (*Acepenser güldenstädti, Brand*) и персидский осетр (*Ac. g. persicus, Borodin*). Они различаются по 5 счетным и 35 меристическим признакам [102], а также по ряду биологических показателей.

Русский осетр — крупная рыба, размером до 200—210 см и массой до 60—65 кг. Его предельный возраст 50 лет. Половое созревание начинается в 7 лет у самцов и 8 лет у самок, массовое созревание отмечается в 14—17 лет у самцов и в 18—21 год у самок. Размножается русский осетр в основном в Волге и Урале, в Терек он заходит в небольшом количестве. Раньше волжский осетр располагал значительным нерестовым ареалом на Средней и Нижней Волге, который после строительства плотин значительно сократился.

Персидский осетр более теплолюбивая форма. Размножается он в Куре, а нагуливается в основном в Среднем и Южном Каспии. Старшие возрастные группы могут нереститься также в Волге, и Урале, но их численность здесь не превышает 5 % общего количества осетра.

Взрослый осетр относится к рыбам со смешанным питанием (рыба, донные беспозвоночные), сеголетки в реке и после ската в море потребляют разообразных (амфипода, кумацеи, мизиды).

Севрюга в Каспийском море также представлена двумя формами: северокаспийской (*Ac. stellatus, Pallas*) и южнокаспийской (*Ac. st. natio cyrensis, Berg*). Распространена она по всему морю, на нерест идет в реки Волгу, Урал, Терек, Сулак, Куру, Сефидруд. В море более половины всей популяции каспийской севрюги составляют рыбы волжского происхождения (53—56 %). Вторым по численности является стадо уральской севрюги (30—35 %). Численность куринской севрюги не превышает 12—14 %.

Севрюга мельче осетра и белуги, ее длина достигает 195 см, масса — 25 кг. У нее более короткий жизненный цикл — 28—30 лет. Половозрелой севрюга становится в возрасте 6—8 лет, основная масса самцов созревает в возрасте 9 лет, самок — 11 лет. Сеголетки после ската в море питаются ракообразными каспийского автохтонного комплекса, взрослая севрюга переходит на смешанное питание. Область распространения севрюги в море в значительной степени совпадает с ареалом осетра.

Белуга, осетр и севрюга совершают сезонные миграции. Весной по мере прогрева воды происходит их выход на мелководья и движение к местам нереста. Осенью они откочевывают к местам зимовки. Зимой осетровые образуют наиболее плотные скопления. На западном шельфе Среднего Каспия зимуют преимущественно рыбы волжского и уральского происхождения, на Туркменском

шельфе и около банок Ульского и Грязный Вулкан в Южном Каспии преобладают куринские осетровые.

Шип (*Ac. nudiventris, Lovetzky*) и **стерлядь** (*Ac. ruthenus, Linne*) имеют меньшее значение в численности осетровых. Шип — крупная рыба длиной более 200 см и массой более 75 кг. Для размножения он заходит в реки Куру, Сефидруд, Урал, в Волге встречается единично. Основная масса самцов созревает в возрасте 9—13 лет, самок — 13—16 лет. Нагуливается преимущественно в Среднем и Южном Каспии на глубине 11—25 м, питается рыбой и донными беспозвоночными.

Стерлядь в бассейне Волги имеет две формы: жилую, ареал которой ограничен Верхней и Средней Волгой, и полупроходную, которая размножается на нерестилищах Нижней Волги и выходит на откорм в опресненные участки моря. Стерлядь — самая мелкая форма осетровых, ее масса не превышает 6,2 кг, а длина — 100 см. Созревает она в возрасте 4 лет.

13.2. Влияние факторов среды на нерестовый ход и эффективность размножения осетровых

Наиболее подробно эти вопросы исследованы в волжском регионе. Основными миграционными путями осетровых на Волге являются Главный банк, где проходит 60—70 % производителей, и Кировский банк, где мигрирует около 30 % нерестовой популяции. Посленерестовый скат производителей белуги, осетра и севрюги наблюдается по восточным рукавам дельты Волги. Многолетние наблюдения (1971—1984 гг.) в западной (Главный банк, тоня Чкаловская) и восточной (Белинский банк, тоня Брянская) частях дельты показали зависимость интенсивности нерестовой миграции от факторов среды.

Осетр начинает идти на нерест в Волгу в конце марта — начале апреля. Массовый ход наблюдается в июле. В августе — сентябре интенсивность его постепенно снижается, а в октябре — ноябре при понижении температуры воды до 4 °С фактически прекращается. Весной в Волгу мигрирует в основном яровой осетр, имеющий IV стадию зрелости гонад. Максимум его хода наблюдается при 6—9 °С и уровнях воды в реке 75—120 см. Рыбы озимой формы, составляющие основную часть популяции (80—85 %), идут на нерест в летний период при температуре воды 22—27 °С и уровнях воды 60—80 см. Среди них преобладают особи с гонадами на III стадии зрелости, которые нерестятся лишь весной следующего года.

Весной отмечается четко выраженный суточный ритм миграции производителей осетра с максимумом в ночное время (рис. 13.1). В июне — июле, когда преобладает озимая форма, различия между ночными и дневными уловами становятся недостоверными. Возможно, что проявление суточного ритма миграции связано с определенным физиологическим состоянием производителей при IV стадии зрелости гонад.

Ведущим фактором нерестовой миграции осетра является температура. Для озимого осетра зависимость интенсивности анадромной миграции от

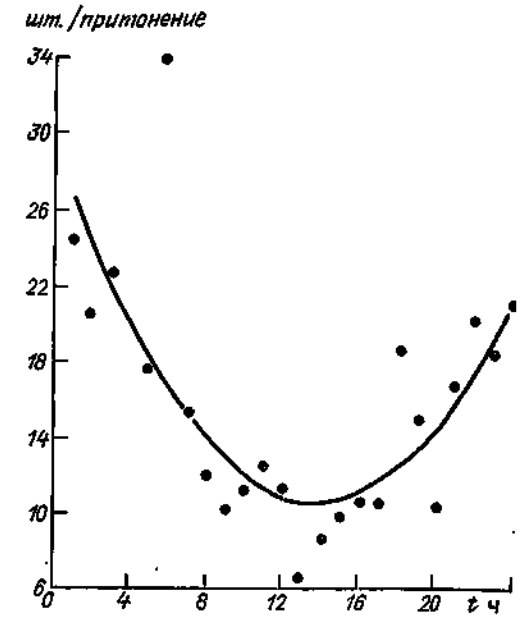


Рис. 13.1. Суточный ритм анадромной миграции ярового осетра в р. Волге.

температуры прослеживается для всех лет наблюдений и характеризуется коэффициентами корреляции 0,73—0,95 (рис. 13.2). Анализ имеющихся материалов показал, что увеличение солнечной радиации также способствует повышению интенсивности хода озимого осетра в Волгу ($r = 0{,}52 \ldots 0{,}95$).

В силу особенностей морфологического строения и локомоционных способностей производители осетра в период нерестовой миграции и ската предпочитают малые объемы стока, невысокие скорости течения и уровни воды в реке. Представленные на рис. 13.3 зависимости средних для отдельных лет значений интенсивности хода y_1 и интенсивности ската y_2 производителей осетра от средних уровней воды в реке в эти годы x описыется следующими уравнениями:

$$y_1 = 41{,}7 - 0{,}004x^2, \quad r = 0{,}73;$$

$$y_2 = 1{,}21 - 1698{,}6/x, \quad r = 0{,}72.$$

Белуга осуществляет нерестовые миграции в Волгу в течение всего года. В конце марта — начале апреля при температуре воды 4—7 °С наблюдается первый максимум ее нерестового хода. Второй, осенний максимум прослеживается в августе — октябре при температуре 11—17 °С. Летом при высоких температурах воды производители белуги в уловах практически не встречаются. В нерестовой популяции белуги доминируют особи осеннего хода (60—70 %). По полученным материалам, у белуги прослеживается тенденция снижения интенсивности миграции по мере увеличения уровня воды в реке, которая согласуется с аналогичной зависимостью для осетра.

Севрюга северокаспийской популяции начинает мигрировать на нерест в Волгу и Урал с конца марта при температуре речной воды 5—6 °С. Массовый ход наблюдается в конце апреля — начале мая, когда температура достигает 8—10 °С. При быстрой и теплой весне отмечается дружная миграция севрюги, при затяжной и холодной весне миграция задерживается на 10—15 сут по сравнению

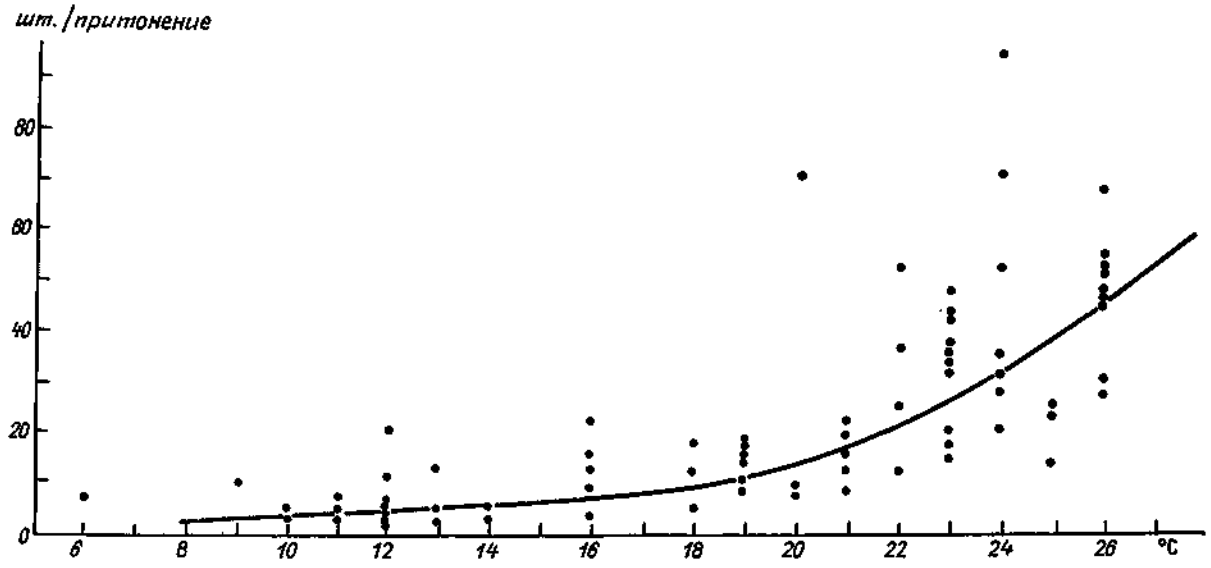


Рис. 13.2. Изменение интенсивности анадромной миграции озимого осетра в зависимости от температуры.

со средними многолетними данными. Летом в уловах встречаются лишь единичные экземпляры. Осенью при температуре воды 17—18 °С происходит небольшое усиление хода. Весной численность яровой севрюги составляет 90—100 % от числа мигрирующих в реку особей.

Нерестовые миграции севрюги приурочены в основном к весеннему половодью. В отличие от осетра и белуги, интенсивность ее миграции увеличивается по мере усиления потока пресной воды и подъема уровня (рис. 13.4). Эта закономерность характерна как для маловодных, так и для многоводных лет.

Полученные связи интенсивности миграции осетровых с факторами среды позволяют прогнозировать сроки их анадромной миграции.

Объем естественного размножения осетровых на протяжении текущего столетия снижается. Это происходит в результате уменьшения площади нерестилищ, снижения количества производителей и ухудшения их качества.

Еще в 1920—1930-х годах произошло сокращение количества нерестилищ на Верхней и Средней Волге выше г. Самары и на Каме вследствие роста загрязнения. В результате создания каскада волжских электростанций, которое завершилось строительством Волгоградской ГЭС в 1960 г., белуга утратила почти все нерестилища, осетр — более $^2/_3$ и только севрюга, всегда размножавшаяся преимущественно в нижнем течении Волги, сохранила 60 % своих нерестилищ. На Куре в результате строительства Мингечаурской (1953 г.), Варваринской и Баграмтапинской плотин (1958 г.) площадь нерестилищ осетровых уменьшилась на 75 %. Небольшие масштабы естественного воспроизводства осетровых в реках Тереке и Сулаке еще более сократились в связи с зарегулированием и сокращением стока этих рек. Единственной незарегулированной рекой Каспия остался Урал, располагающий самыми большими нерестовыми площадями — 1400 га. Однако масштабы воспроизводства здесь лимитируются сокращением пресноводного стока и браконьерским выловом производителей.

На Волге площадь нерестилищ осетровых до зарегулирования стока составляла 3390 га. После строительства каскада гидростанций 85 % нерестилищ оказались отрезанными и потеряли свое значение, около 3 % находится за зоной подпора водохранилищ и лишь 12 % функционируют в нижнем течении реки. Озимые формы осетровых, которые раньше поднимались в верхнее и среднее течение, вынуждены зимовать и нереститься в ниж-

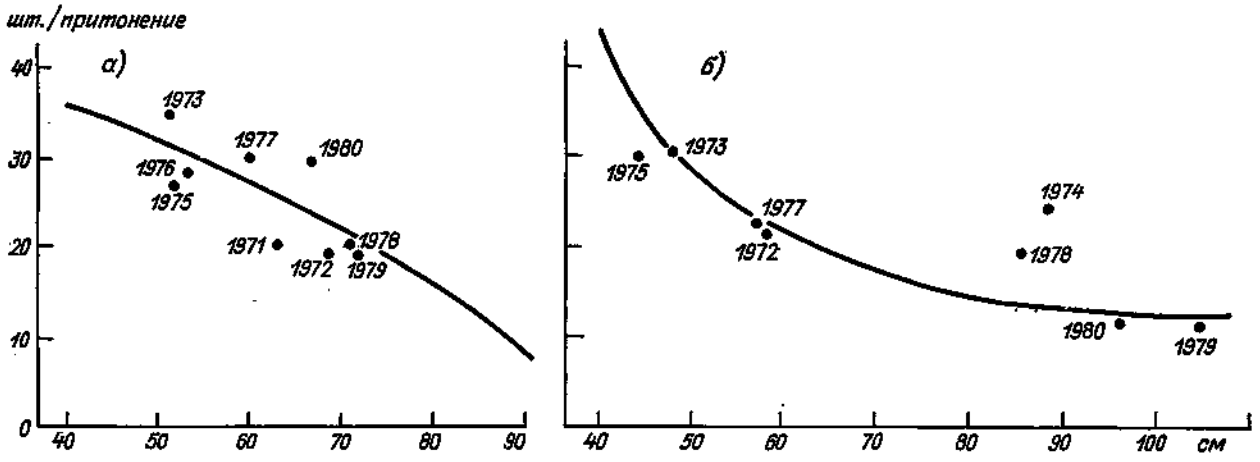


Рис. 13.3. Зависимость интенсивности миграции ярового осетра от уровня воды (см) в р. Волге.

а — анадромная миграция в западной части дельты; *б* — катадромная миграция в восточной части дельты. Здесь и на рис. 13.5 числа у точек—годы.

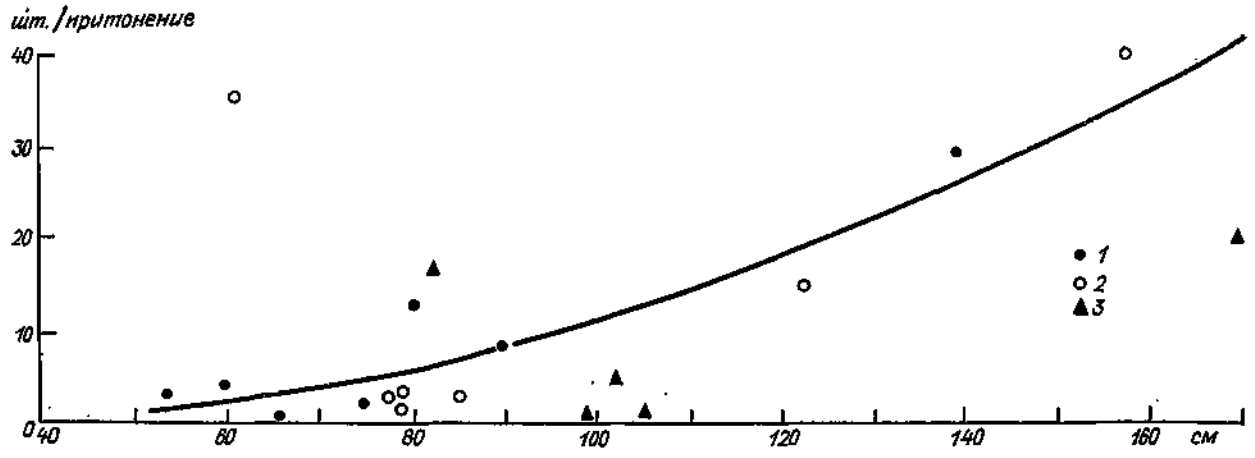


Рис. 13.4. Зависимость анадромной миграции севрюги от уровня воды (см) в западной части дельты Волги.
1 — 1975 г.; *2* — 1977 г.; *3* — 1980 г.

Таблица 13.1

Количество производителей осетра и севрюги (тыс. шт.), пропущенных на нерестилища Нижней Волги в разные сезоны

Год	Осетр				Севрюга			
	Март—апрель	Май	Всего за весну	Всего за год	Март—апрель	Май	Всего за весну	Всего за год
1962	0,2	2,6	2,8	410	1,1	8,8	9,9	62,7
1963	4,2	2,9	7,1	445	1,9	29,3	31,2	87,7
1964	1,6	3,2	4,8	370	0,7	15,4	16,1	66,0
1965	1,4	3,2	4,6	379	0,2	11,2	11,4	56,8
1966	15,2	18,6	33,8	980	6,9	53,1	60,0	120,2
1967	2,0	8,3	10,3	1471	2,0	55,2	57,2	194,2
1968	5,1	17,1	22,2	1237	1,9	47,6	49,5	127,1
1969	4,0	3,3	7,3	1161	1,0	24,4	25,4	107,9
1970	14,0	22,4	36,4	1111	10,3	63,3	73,6	120,0
1971	1,8	7,4	9,2	1071	1,6	30,4	32,0	84,9
1972	3,3	7,2	10,5	1085	4,9	23,6	28,5	88,1
1973	2,8	6,8	9,6	2214	9,9	27,4	37,3	160,9
1974	6,6	7,8	14,4	866	2,2	6,7	8,9	86,0
1975	3,8	28,8	32,6	1986	3,8	41,5	45,3	123,5
1976	2,4	5,1	7,5	2530	4,9	26,1	34,0	177,8
1977	11,6	2,7	14,3	2974	3,5	14,9	18,4	132,0
1978	3,0	12,3	15,3	1815	3,2	34,6	37,8	117,3
1979	7,0	12,6	19,8	1577	3,2	69,0	72,2	234,0
1980	11,5	44,6	56,1	1368	15,3	84,5	99,8	226,0
1981	19,4	68,6	88,0	735	21,0	93,9	114,9	231,0
1982	7,5	18,6	16,1	352	11,5	56,8	68,3	120,3
1983	6,9	22,6	29,1	240	11,1	121,2	132,3	166,3
1984	6,3	16,8	23,1	490	6,3	74,8	81,1	150,7
1985	26,2	29,6	55,8	571	4,7	118,1	122,8	214,5
1986	12,2	71,2	83,4	521	28,1	220,2	248,3	387,8
1987	2,0	18,6	20,6	298	0,03	68,5	68,5	186,2
1988	6,3	15,0	21,3	266	14,3	89,1	103,4	216,2
1989	4,9	6,5	11,4	212	9,9	48,6	58,5	128,6
1990	18,3	30,9	49,2	314	27,2	121,0	148,2	231,3

ней зоне приплотинного участка. В условиях резкого изменения гидрологического и термического режимов у 30 % производителей происходит резорбция половых продуктов [123]. Нерест в приплотинной зоне проходит на ограниченных участках, где наблюдаются повышенные плотности кладки икры и низкая ее выживаемость. В более благоприятных условиях оказались яровые формы, которые нерестятся на нижних участках нерестилищ. Но численность яровых осетровых, мигрирующих весной, значительно ниже, чем озимых, которые заходят в реки летом (табл. 13.1). Яровые формы имеют более высокие показатели массы и плодовитости и интенсивно изымаются промыслом. В результате наблюдается недостаток производителей в нижней нерестовой зоне и малая плотность кладки икры.

А. Д. Власенко [30] выделяет на Волге три нерестовые зоны, отличающиеся по интенсивности их освоения и эффективности размножения осетра.

Первая зона расположена на верхнем участке реки от плотины до с. Светлый Яр. Ее протяженность 62 км, а общая площадь 9 нерестилищ 114 га и расчетная продуктивность 551—1087 млн икринок. Здесь наблюдается высокая плотность кладки икры (до 5,5 тыс. шт./м²), но низкая ее выживаемость (менее 30 %) из-за неблагоприятных гидрологических условий.

Во второй зоне, протяженностью 80 км (от с. Светлый Яр до с. Каменный Яр), расположены самые крупные русловые нерестовые гряды и весеннезатопляемые нерестилища общей площадью 225 га. В благоприятные по водности годы здесь развивалось до 1500 млн икринок осетра. При более низкой плотности кладок по сравнению с первой зоной здесь существенно возрастает выживаемость эмбрионов (60—67 %).

В третьей зоне, протяженностью 250 км (от с. Каменный Яр до с. Сероглазовки), находится всего 4 нерестилища. В различные по водности годы здесь откладывается осетром всего 120—580 млн икринок. Концентрация икры не превышает 90 шт./м², но выживаемость ее 70 % и более.

Площадь нерестилищ осетра на Нижней Волге была максимальной в первые два года после строительства Волгоградской ГЭС, в последующий период происходит постепенное ее уменьшение:

Период, годы . .	1959—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1985	1986—1990
Площадь, га . . .	450	440	430	403	376	350	340

Белуга, которая в результате гидростроительства утратила 95 % своих нерестилищ, размножается на весеннезатопляемых грядах средней и нижней зон. Общее количество откладываемой икры в настоящее время не превышает 400 млн икринок [96], а их выживаемость колеблется от 39 до 76 %

и составляет в среднем 50 %. В новых условиях сроки нереста белуги переместились на более поздние. Это привело к одновременному использованию нерестилищ осетром и белугой и к ухудшению воспроизводства обоих видов. Доля белужей икры на нерестилищах составляет 0,9—16,8 % и в среднем 5,1 % [92]. Севрюга в меньшей степени пострадала от гидростроительства, так как всегда нерестилась на Нижней Волге. В настоящее время она осваивает 253 га нерестилищ [24]. Севрюга размножается на русловых грядах с глубинами 2—14 м и быстрым течением (1,0—1,6 м/с). В годы с продолжительным стоянием высоких уровней откладка икры может проходить и на весеннезатопляемых грядах. Нерест севрюги проходит с июня по август при температуре воды 16,5—26,0 °С.

Рыбопродуктивность отдельных нерестовых зон на Волге оценивается по численности личинок, скатившихся с нерестилищ (табл. 13.2).

Таблица 13.2

Рыбопродуктивность (ц/га) нерестилищ осетровых Нижней Волги

Зона	Год					Среднее
	1986	1987	1988	1989	1990	
Белуга						
Верхняя и Средняя	46,2	—	11,2	5,2	11,4	18,5
Нижняя	14,3	28,6	12,7	3,6	11,8	14,2
Среднее для всех зон	30,2	—	12,0	4,4	11,6	16,4
Осетр						
Верхняя	123,7	122,6	33,7	6,6	13,4	60,0
Средняя	240,1	238,1	65,3	12,8	26,1	116,5
Нижняя	44,6	102,8	33,5	10,9	29,5	44,3
Среднее для всех зон	136,1	154,4	44,2	10,1	23,0	73,6
Севрюга						
Верхняя	23,6	53,0	39,8	23,6	53,0	38,6
Средняя	215,4	91,7	69,7	51,3	136,6	112,9
Нижняя	169,5	121,8	126,0	32,2	119,0	113,7
Среднее для всех зон	136,2	88,8	78,5	35,7	102,9	88,4

Средняя рыбопродуктивность всех нерестилищ за рассматриваемый период составляла 17,8 т/га. Наиболее высокой она была в средней зоне, где доминируют осетр и севрюга. В нижней зоне рыбопродуктивность уменьшается за счет снижения количества личинок осетра. Заметны большие различия рыбопродуктивности по годам. Наиболее широкий размах колебаний был в верхней зоне с неустойчивым водным режимом.

Размножение осетровых зависит от целого ряда факторов, важнейшими из которых являются водный режим, температура и количество производителей, пропущенных на нерест. Эффективность нереста контролируется на трех этапах развития потомства. Проводится учет количества личинок, скатившихся с нерестилищ, количества покатной молоди в дельте и концентрации сеголетков на пастбищах Северного Каспия. В 1966—1990 гг. количество скатившихся личинок осетра различалось в 20 раз, у севрюги и белуги — в 9—10 раз (табл. 13.3). В естественный период годовые колебания водного режима определяли распространение производителей осетровых по реке, но слабо влияли на эффективность их нереста [124]. После зарегулирования характер половодья стал определяющим фактором. По мере роста объема стока от 60 до 110 км^3 количество личинок осетра возрастает примерно в 7 раз и при дальнейшем увеличении стока практически не меняется (рис. 13.5 *а*). Эта закономерность хорошо прослеживается для 60-х и 70-х годов. В последнее десятилетие наблюдаются отклонения в сторону более низких значений. Аналогичная закономерность прослеживается и для севрюги. На рис. 13.5 *б* показано два уровня зависимости количества личинок от объема стока в меженный период: более высокий для периода 1966—1973 гг. и более низкий для периода 1974—1990 гг.

Таблица 13.3

Количество производителей осетровых, пропущенных на нерест за год (тыс. шт.), и личинок, скатившихся с нерестилищ (млн шт.), в р. Волге

Год	Сток, м^3		Осетр		Севрюга		Белуга	
	апрель—июнь	июнь—июль	тыс. шт.	млн шт.	тыс. шт.	млн. шт.	тыс. шт.	млн шт.
1966	158	61	980	251	120	774	—	—
1967	67	35	1471	109	194	320	—	—
1968	104	46	1237	424	127	738	—	—
1969	86	54	1161	236	108	700	—	—
1970	136	66	1111	524	120	790	5,5	—
1971	98	52	1071	376	85	692	3,2	—
1972	94	51	1085	325	88	692	6,0	—
1973	78	29	2214	156	161	176	5,1	—
1974	124	86	866	524	86	604	3,0	—
1975	57	33	1986	76	124	83	4,0	—
1976	64	48	2530	103	177	235	5,8	—
1977	71	37	2974	187	132	172	5,0	—
1978	88	62	1815	386	117	532	9,4	—
1979	146	88	1577	287	229	583	6,2	16,0
1980	83	60	1368	428	226	444	5,4	6,1
1981	128	73	725	365	232	680	4,3	16,2
1982	77	48	259	192	121	161	4,9	5,7
1983	90	53	174	74	166	507	5,2	5,5
1984	71	43	394	102	151	167	5,0	4,7
1985	117	82	571	117	224	953	6,2	7,0
1986	120	66	521	578	388	745	6,2	17,4
1987	108	75	298	554	186	445	5,1	4,5
1988	96	53	266	142	216	386	4,1	5,2
1989	97	53	220	28	129	191	3,3	2,0
1990	152	82	314	69	231	541	4,1	5,6

Снижение в некоторые годы количества личинок осетра может быть следствием уменьшения количества производителей (1983, 1988—1990 гг.). В то же время уменьшение почти в 5 раз количества личинок в 1985 г. по сравнению с 1986 г. при близких значениях стока и количества производителей говорит о сильном воздействии других факторов. У севрюги снижение количества личинок в последние годы при достаточно стабильном количестве производителей, по всей видимости, является следствием ухудшения их качества.

Статистическая обработка многолетних (1966—1990 гг.) материалов позволила установить положительную достоверную связь численности скатывающихся личинок белуги, осетра и севрюги с характеристиками водного режима (табл. 13.4).

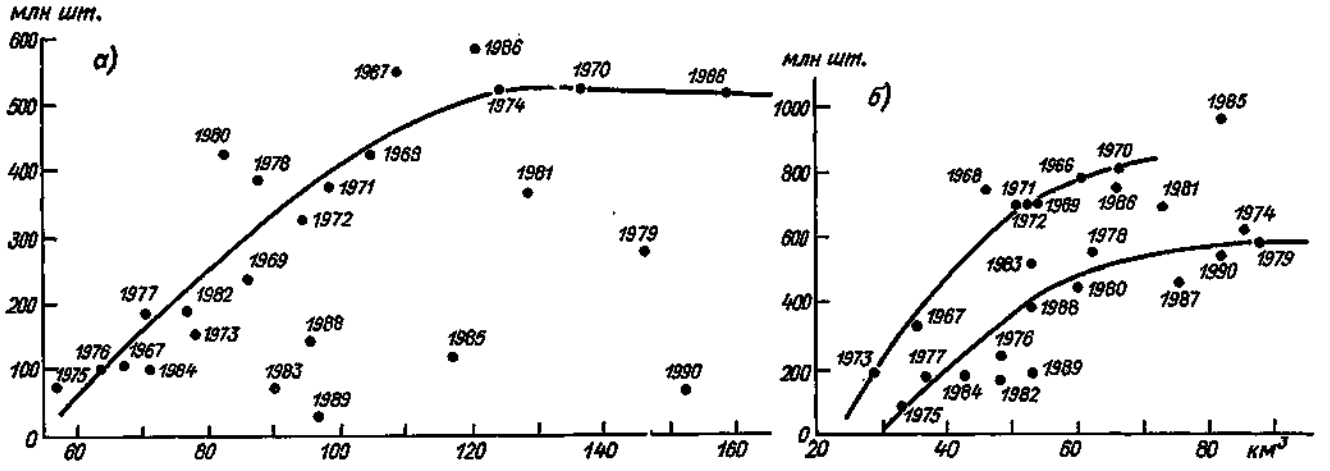


Рис. 13.5. Зависимость количества личинок осетра (*а*) и севрюги (*б*), скатившихся с нерестилищ р. Волги в 1966—1990 гг., от стока в половодье (*а*) и в меженный период (*б*).

Таблица 13.4

Статистическая оценка влияния основных характеристик водного режима на численность скатывающихся личинок осетровых в Волге

Статистический показатель	Сток, км³		Продолжительность половодья, сут	Максимальный уровень, см	Длительность стояния высоких уровней, сут	Число рыб, тыс. экз.
	в половодье	в летнюю межень				
Севрюга						
Корреляционное отношение	0,79	0,70	0,74	0,69	0,71	0,57
Ошибка	0,13	0,15	0,14	0,15	0,15	0,17
Критерий Стьюдента	6,09	4,65	5,36	4,57	4,87	3,34
Белуга						
Корреляционное отношение	0,55	—	0,47	0,59	0,80	0,79
Ошибка	0,27	—	0,31	0,29	0,21	0,21
Критерий Стьюдента	2,48	—	1,51	2,06	3,76	3,68
Осетр						
Корреляционное отношение	0,57	—	0,56	0,61	0,58	0,63
Ошибка	0,17	—	0,17	0,16	0,17	0,16
Критерий Стьюдента	3,32	—	3,12	3,70	3,40	3,89

Учет урожайности по покатной молоди проводится на стационарных пунктах в нижнем течении р. Волги (вершина дельты) с 1967 г. Лов осуществляется мальковым 15-футовым тралом и дополнительно в начале ската ихтиопланктонной сетью для контроля за личинками.

Скат молоди наблюдается с конца мая по ноябрь с максимумом в июне — июле у осетра и в июле — августе у севрюги. Малочисленная молодь белуги попадается в ловах единично и не каждый год. Динамика ската молоди определяется температурным и водным режимом. В годы с ранней теплой весной и быстрым прогревом воды нерест и скат молоди проходит в более ранние сроки, чем в годы с затяжной и холодной весной. Продолжительность ската основной части осетра находится в прямой зависимости от длительности паводка ($r = 0{,}70$) [73]. В годы с большим объемом весеннего стока (более 120 км³) и ранней теплой весной происходит «залповый» скат (60—65 %) молоди осетра в течение 10 сут (табл. 13.5). Массовый скат севрюги проходит в условиях меженных расходов воды и в меньшей степени зависит от объема стока.

Таблица 13.5

Характеристика покатной молоди осетровых и ее количество в р. Волге

Год	Сроки* ската более 50 % молоди	Характеристика молоди				Количество молоди, млн шт.
		средняя масса, г	размерный состав, %			
			личинка IV—V стадии	молодь		
				менее 50 мм	более 50 мм	
Осетр						
1981	VI_3—VII_2	1,05	50,7	46,4	2,9	11,5
1982	VI_3—VII_2	1,30	91,6	5,6	2,8	6,2
1983	VII_2—VII_3	1,18	29,8	31,2	39,0	3,5
1984	VI_3—VII_1	0,97	64,0	11,2	24,8	1,2
1985	VII_1—VII_2	0,58	82,5	14,4	3,1	13,4
1986	VI_3—VII_2	1,07	90,6	4,3	5,1	25,8
1987	VII_1—VII_2	1,10	62,3	28,7	9,0	16,7
1988	VI_3—VII_1	0,51	71,7	21,2	7,1	26,0
1989	VI_1—VI_3	0,28	88,3	11,4	0,3	12,2
1990	VI_1—VI_3	0,44	80,8	18,9	0,3	11,1
Севрюга						
1981	VII_1—VII_2	0,70	25,3	58,3	16,4	94,3
1982	$VIII_1$—$VIII_3$	1,01	9,7	42,0	48,3	30,0
1983	VII_1—VII_2	0,77	29,3	67,2	3,5	60,0
1984	VI_3—VII_2	1,09	9,7	32,5	57,8	12,7
1985	VII_2—$VIII_1$	0,36	28,3	65,9	6,1	125,0
1986	$VIII_3$—$VIII_2$	0,60	2,0	96,5	1,5	109,0
1987	VII_2—$VIII_1$	0,58	16,5	71,2	12,3	85,7
1988	VII_1—VII_3	0,59	8,8	86,2	5,0	78,5
1989	VII_1—VII_3	1,08	10,0	45,0	45,0	12,9
1990	VII_2—$VIII_1$	0,90	19,7	18,6	61,7	36,6

* В индексе указана декада месяца.

Размеры покатной молоди осетра и севрюги изменяются в широких пределах от нескольких миллиметров у личинок IV стадии до 120 мм у сформировавшейся молоди. У осетра основную массу скатывающейся молоди составляют личинки IV—V стадии, а у севрюги — средняя размерная группа (см. табл. 13.5). Исследования последних лет выявили также скат личинок осетра на ранних стадиях развития (I—III). Количество их за сезон варьировало от 9,6 млн шт. в 1989 г. до 71,6 млн шт. в 1987 г. Вероятно это связано с тем,

что миграция молоди осетра начинается на спаде половодья. Повышенный скоростной режим препятствует задержке молоди в русле реки. Это приводит к сокращению миграционного периода и увеличению доли младших возрастных групп. У молоди севрюги, которая скатывается в более поздние сроки при относительно низком уровне воды, ранних личинок не отмечено, а количество личинок IV—V стадии не превышает 29 %. Численность скатывающейся молоди осетра коррелирует с объемом стока в половодье ($r = 0{,}61$), а численность севрюги — с объемом стока в меженный период ($r = 0{,}92$).

Влияние водного режима на размножение осетровых прослеживается также на р. Урале, который по масштабам их воспроизводства занимает второе место после р. Волги. Здесь сохранились значительные площади нерестилищ, на которых размножается в основном севрюга. Эффективность ее нереста, судя по количеству скатившихся личинок, уменьшается в 5—6 раз при снижении годового стока от 10 до 3 км^3. Негативное влияние оказывают также сгонно-нагонные ветры. Наряду с этими факторами, воспроизводство осетровых в этом регионе лимитируется недостаточным пропуском на нерест производителей вследствие нарушений правил рыболовства и большими масштабами браконьерства. Пропуск производителей севрюги сократился в 80-х годах по сравнению с 70-ми почти в 2 раза с 308 до 163 тыс. экз. Это сопровождалось уменьшением количества личинок и ранневозрастной молоди с 256 до 69 млн шт., что соответствует снижению промыслового возврата с 6 до 2 тыс. т [111].

13.3. Влияние антропогенных факторов на физиологическое состояние и репродуктивные способности осетровых

В 80-е годы сильное влияние на осетровых оказывает загрязнение речных и морских вод нефтепродуктами, промышленными отходами и сельскохозяйственными стоками. Высокое содержание в воде загрязняющих веществ приводит к снижению численности рыб, перестройке структуры природных сообществ. Происходит накопление в тканях и органах рыб хлорорганических пестицидов (ХОП), тяжелых металлов, концентрация которых возрастает на более высоких трофических уровнях.

Исследования последних лет показали, что в результате хронической интоксикации у осетровых появилось новое заболевание — гепатоксическая гипоксия, которое проявляется в расслоении мышечной ткани и сопровождается нарушениями на функциональном и морфологическом уровнях. Изменениям подверглись почти все формы обмена веществ: белковый, углеводный, липидный и минеральный. Морфологические изменения отмечены в селезенке, почках и, особенно, в печени. В почках обнаружены белковая дистрофия и хронический межуточный нефрит, в селезенке — сосудистые изменения. В печени наблюдалась белковая и жировая дистрофия, некробиоз гепатоцитов, нарушения пигментного обмена, слом межбалочных структур, цирротические явления.

Сравнительный анализ степени морфологических изменений в мышцах и в функциональных системах организма показал, что они взаимосвязаны. Поэтому о тяжести интоксикации рыб и развитии патологии в их организме можно в определенной мере судить и по степени расслоения их мышц. Выраженность структурных изменений наиболее велика у осетра, несколько меньше у белуги и менее всего у севрюги, но может меняться в зависимости от условий года.

Исследования 1987 и 1988 гг. показали, что содержание в мышцах осетра ХОП в Среднем Каспии увеличивается с севера на юг и достигает максимальных значений в районах с повышенным содержанием нефти в воде. В юго-западном районе Среднего Каспия отмечена также наиболее высокая степень повреждения мышц (табл. 13.6).

Таблица 13.6

Содержание ХОП в мышцах осетра (10^{-3} млн$^{-1}$) в 1987 г. и степень патологии мышц в разных районах Каспийского моря

Район	ГХЦГ	ДДТ	Содержание нефти в воде, мг/л	Повреждение мышц, балл	
				1987 г.	1988 г.
Северный Каспий	—	—	—	—	2,3
Средний Каспий (запад):					
о. Чечень	0,7	77,5	0,18	2,8	3,6
г. Махачкала	—	—	—	—	2,8
м. Избербаш	6,1	26,1	0,15	2,5	—
г. Дербент	17,9	127,7	0,15	2,7	2,7
пос. Килязи	24,4	180,8	0,26	3,6	3,6
Южный Каспий (восток):					
б-ка Грязный Вулкан	—	—	—	—	3,1
о. Огурчинский	11,9	259,2	0,14	2,1	2,8

Загрязнение моря токсическими веществами сказалось и на появлении многочисленных нарушений гонадо- и гаметогенеза осетровых вследствие патологии обмена веществ и прямого действия токсикантов. Наблюдается рост количества гермафродитных особей, особей с явлением овотестиса, с включениями в гонадах опухолей и поперечнополосатой мышечной и плотной соединительной тканей. Эти нарушения вызывают серьезные изменения в репродуктивных потенциях организма. Особи с явлениями овотестиса и гермафродитизма могут вообще не принять участия в нересте. При появлении в яичниках и семенниках новообразований половые клетки дегенерируют или сильно изменяются. У самцов в семенниках отмечаются мощные воспалительные процессы, а появление новых структур вызывает замещение генеративной ткани, что может привести к полной стерилизации. У самок эти процессы приводят к снижению плодовитости из-за потери функциональной значимости отдельных участков в яичниках. Таких рыб в море встречается в среднем 2—4 %.

Важным симптоматическим признаком неблагополучия репродуктивных возможностей осетровых является нарушение в генеративном обмене и оогенезе. В 1986 г. такая патология встречалась у 35 % белуг, 15 % осетров и 11 % севрюг. Ранее такие особи отмечались в море единично. Подавление развития резервного фонда половых клеток наблюдается у особей с высоким содержанием в половых

железах ДДТ, в случаях 100 % поражения отмечается полное подавление оогенеза. Отклонения в развитии ооцитов еще более ярко проявляются на поздних стадиях зрелости гонад (III, III—IV). В целом патология в развитии ооцитов у рыб, пойманных в море, наблюдается у 22 % севрюг, 21 % белуг и у 17 % осетров. В нерестовой части популяции, по средним данным за 1981—1986 гг., особи с патологией гаметогенеза составили для волжской севрюги 20 %, русского осетра 18 %. В конце 80-х годов наблюдается резкое увеличение патологии гаметогенеза: у самок севрюги она отмечалась у 51 % особей в 1989 г., у самок осетра — у 44 % особей в 1987 г. Таким образом, 25—30 % производителей, заходящих в реку из моря, имеют патологию гаметогенеза, и участие этих рыб в нересте будет малоэффективным.

В современных условиях продолжается рост воздействия многофакторного антропогенного пресса на экологию Каспийского региона. Устранение источников загрязнения чрезвычайно затруднительно. Вместе с тем у рыб, мигрирующих в районы с меньшим загрязнением, наблюдается регенерация паренхимы печени, восстановление митотической активности гепатоцитов и тенденции возврата к норме обмена веществ. Это позволяет надеяться на возможность репарационных процессов и в мышцах и регенерации функций органов и тканей.

13.4. Влияние промысла на запасы и состояние популяции осетровых

Состояние популяции осетровых и их запасы определяются условиями размножения рыб в реке и нагула в море, а также объемом и тактикой промыслового изъятия. В естественный период при благоприятных и относительно стабильных условиях существенное влияние на популяцию осетровых оказывал промысел.

Первоначально добыча осетровых проводилась в реках и достигала в XVII в. 50 тыс. т, а в XIX в. 32—37 тыс. т [33]. С 1865 г., наряду с речным, начал развиваться и морской промысел сначала в прибрежных водах, затем на пастбищах Северного Каспия, а в конце XIX — начале XX в. осетровых стали добывать также в Среднем и Южном Каспии. Уловы осетровых в начальный период развития морского промысла достигали 35—39 тыс. т (1901—1903 гг.). Но чрезмерно высокая интенсификация промысла отрицательно сказалась на запасах. К 1914—1915 гг., несмотря на прежнюю вооруженность промысла, добыча осетровых снизилась до 27,7—28,7 тыс. т. Наиболее сильно интенсификация промысла отразилась на запасах белуги, самой крупной и долгоживущей из осетровых. В 1902—1907 гг. ее уловы достигли максимальных значений (10,8—14,8 тыс. т), что подорвало запасы, которые в дальнейшем уже никогда не восстановились. Были изъяты старшие возрастные группы и произошло омоложение стада. Предельный возраст белуги в уловах постепенно снизился с 100—120 лет в начале века до 50—55 лет в современных условиях.

Ослабление промысла в годы первой мировой и гражданской войн (1914—1924 гг.) дало положительные результаты (табл. 13.7). В период запуска запасы осетровых возросли, что позволило в последующий период увеличить их уловы. В 1931—1940 гг. добыча осетровых по количеству голов достигла максимального уровня, но по массе они были ниже предвоенных. Это связано с тем, что масса и икряность рыб резко уменьшились. Так, средняя масса белуги и осетра в уловах в Северном Каспии к концу 30-х годов по сравнению с 1928—1930 гг. уменьшилась почти наполовину. Икряность осетровых, добытых в Каспийском бассейне в 1926—1930 гг., составляла 8,3 %, в 1931—1935 гг. — 4,0 %, а в 1936—1940 гг. — 2,6 % [52].

При морском промысле в большом количестве вылавливались неполовозрелые маломерные экземпляры белуги, осетра и севрюги. Это привело к истощению запасов и потребовало введения ряда ограничений. Были установлены лимиты на добычу осетровых в Среднем и Южном Каспии, повы-

Таблица 13.7

Уловы осетровых (тыс. т) в Каспийском бассейне (без Ирана) (по [52] и данным ЦНИОРХ)

Годы	Осетр	Севрюга	Белуга	Прочие	Всего
1896—1897	3,0	5,3	2,6	—	—
1898—1899	7,4	9,0	7,1	—	23,5
1904—1913	—	6,8	9,9	—	29,3
1914—1917	—	3,5	3,0	—	18,6
1918—1924	—	2,0	0,9	—	4,8
1925—1930	4,9	4,5	2,8	1,5	13,7
1931—1940	6,9	4,1	4,5	0,7	16,2
1941—1946	1,8	1,5	1,0	0,2	4,5
1947—1950	5,1	4,2	2,0	0,5	11,8
1951	6,8	4,5	1,1	0,6	13,0
1952	6,6	4,4	1,3	0,5	12,8
1953	6,2	4,1	0,9	0,5	11,7
1954	6,3	4,8	1,2	0,5	12,8
1955	4,4	4,3	1,2	0,6	10,5
1956	5,2	6,2	1,0	0,7	13,1
1957	4,1	5,2	1,0	0,5	10,8
1958	4,8	4,8	1,4	0,6	11,6
1959	5,3	4,8	1,2	0,6	11,9
1960	4,8	3,7	1,2	0,4	10,1
1961	6,0	5,1	1,5	0,8	13,4
1962	8,8	8,6	2,0	0,4	19,8
1963	9,0	7,8	1,9	+	18,7
1964	7,6	6,5	1,7	+	15,8
1965	6,8	6,4	1,7	+	14,4
1966	4,7	6,7	1,9	+	13,3
1967	6,1	8,1	1,0	0,1	15,3
1968	5,6	8,6	2,5	0,1	16,8
1969	5,7	8,6	2,4	0,1	16,8
1970	5,4	8,0	0,8	1,9	16,1
1971	8,0	7,8	2,2	+	18,0
1972	8,3	9,1	1,7	+	19,1
1973	8,0	9,2	2,1	+	19,3
1974	7,7	10,3	2,2	+	20,2
1975	10,2	11,4	1,6	0,1	23,3
1976	11,7	12,7	1,7	+	26,1
1977	12,2	13,4	1,7	+	27,3
1978	10,2	11,6	1,6	0,1	23,5
1979	11,5	11,6	1,2	0,2	24,5
1980	13,1	10,6	1,1	+	24,8
1981	13,5	10,4	0,9	0,1	24,9
1982	12,6	10,1	1,1	0,1	23,9
1983	11,9	10,2	1,4	0,1	23,6
1984	11,5	9,6	0,8	0,3	22,2
1985	10,1	9,5	1,3	1,0	21,9
1986	8,9	9,6	1,1	0,2	19,8
1987	10,0	7,9	1,0	0,2	19,1
1988	10,6	6,5	0,9	0,5	18,5
1989	8,9	5,6	1,1	0,2	15,8
1990	7,8	4,7	1,0	0,1	13,6

Примечание. Знак «+» означает, что улов есть, но он составляет менее 0,1 тыс. т.

шена промысловая мера, запрещено применение некоторых орудий лова. Несмотря на принятые меры и на ослабление рыболовства в военный период 1941—1945 гг., полного восстановления запасов не произошло и уловы не поднялись до уровня прошлых лет.

В 50-е годы на численность и запасы осетровых стало оказывать влияние применение более уловистых сетей из капрона при добыче судака, леща и других рыб. По подсчетам Ю. Ю. Марти [89], в 1956—1960 гг. сетной промысел ежегодно изымал до 2 млн шт. молоди осетровых в возрасте от 2 лет и старше. Особенно много молоди осетровых вылавливалось при добыче сельдей закидными неводами и дрифтерными сетями.

В 1962 г. были введены новые правила рыболовства, по которым был полностью запрещен морской лов осетровых и добыча их перенесена в дельты и низовья рек. Запрещены были орудия и способы рыболовства, которые приводили к массовому вылову молоди осетровых и других ценных рыб. Концентрация промысла осетровых в реках благоприятствовала проведению других мер по его регулированию: установление лимитов на вылов, ограничение времени лова, осуществление прерывистого лова с целью пропуска оптимального количества производителей на естественные нерестилища. В результате значительно увеличились размеры и масса добываемых осетра, севрюги и белуги, в несколько раз повысился выход икры, возросли запасы рыб. Уловы осетровых стали быстро увеличиваться и к середине 70-х годов достигли уровня, близкого к естественному периоду (25—27 тыс. т). При этом на Волге брали почти весь улов осетра, более 60—80 % белуги и около 30 % севрюги, остальную часть белуги и севрюги добывали в дельте Урала. Морской промысел осетровых остался только у побережья Ирана, который составлял от 5 до 10 % общих уловов.

Высокие уловы осетровых конца 70-х годов обеспечивались в основном за счет рыб от естественного нереста, родившихся в условиях незарегулированного стока Нижней Волги, когда все экологические группировки находили оптимальные условия для размножения.

После зарегулирования преобладающие по численности озимые формы были отрезаны от своих нерестилищ. При высокой плотности кладок икры на ограниченной площади эффективность их нереста уменьшилась. Яровые формы осетровых оказались в более благоприятных условиях для естественного размножения, но они более интенсивно изымались речным промыслом и численность яровых рыб резко сократилась. Так, улов осетра в апреле 1970 г. составлял 0,63 тыс. т, а в 1979—1980 гг. — 0,34 тыс. т.

Таблица 13.8

Вылов осетра и севрюги по Главному банку в разные сроки

Годы промысла	Общий вылов, тыс. т	Срок промысла					
		до 1 мая		до 15 мая		июнь—август	
		тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
Осетр							
1977—1980	4,896	0,459	9,4	1,404	28,7	2,474	50,5
1981—1985	6,459	0,189	2,9	0,581	9,0	4,879	75,5
1986—1989	6,171	0,158	2,6	0,316	5,1	4,514	73,1
Севрюга							
1977—1980	1,98	0,5	25,2	1,409	71,2	—	—
1981—1985	2,148	0,187	8,7	0,859	40,0	—	—
1986—1989	2,248	0,142	6,3	0,503	23,4	—	—

С целью регулирования численности экологических групп осетровых в 1981 г. был введен новый режим промысла, который ограничивал весенний лов (яровые формы) и стимулировал летний (озимые формы).

После изменения режима промысла почти в 2 раза увеличился вылов озимого осетра и снизилось изъятие яровых форм (табл. 13.8). Одновременно наблюдалось увеличение численности пропускаемого на нерест осетра яровых форм и снижение озимых (табл. 13.9).

В результате снизилась загрузка нерестилищ в верхней зоне и повысилась в нижней. Однако интенсивность использования нерестилищ еще не достигла оптимального уровня.

Краткий экскурс в историю развития промысла в Каспийском море показывает, что он оказывал существенное влияние на популяцию осетровых. В естественный период при благоприятных условиях их развития промысел играл основную роль в формировании запасов и структуры популяции. В зарегулированный период при уменьшении объемов естественного воспроизводства и ухудшении экологической обстановки даже рациональная организация промысла не позволяет поддерживать запасы осетровых на уровне, близком к естественному периоду.

Таблица 13.9

Пропуск производителей осетра и севрюги на нерестилища Волги (тыс. шт.)

Годы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	За год
Осетр									
1975—1980	1,4	4,2	11,8	238,5	1340,4	381,5	30,0	11,1	2018,9
1975—1985	—	11,7	28,5	65,1	208,1	88,7	20,8	4,5	427,4
1986—1989	1,3	6,0	27,8	58,8	137,1	80,8	16,7	2,8	325,3
Севрюга									
1975—1980	—	4,4	40,9	65,6	40,5	5,7	2,8	2,8	162,7
1981—1985	—	10,9	93,0	44,8	18,1	5,1	3,7	1,4	177,0
1986—1989	0,3	13,1	106,6	72,5	27,7	4,9	3,7	0,8	299,3

13.5. Многолетние изменения состояния популяции осетровых рыб

Показателями состояния популяции являются ее численность, возрастная структура и темп роста. Численность отдельных поколений осетровых рыб была рассчитана на основании данных по промысловым уловам в реке и возрастному составу нерестовой части популяции, которая исследуется в дельте Волги с 1964 г. Расчеты показали, что за прошедший период практически полностью были изъяты промыслом поколения русского осетра 1951—1965 гг. и севрюги 1951—1970 гг. (табл. 13.10). У белуги еще нет ни одного такого поколения. Полученные величины несколько занижены, так как в них не вошли объемы неучтенного улова, но они отражают результат воздействия на отдельные поколения всей совокупности факторов, определяющих эффективность их размножения и условий нагула, а также влияния промысла.

Таблица 13.10

Численность поколений осетровых в р. Волге (тыс. шт.), полностью изъятых промыслом

Поколение, год	Осетр	Севрюга	Поколение, год	Осетр	Севрюга
1951	—	401	1961	830	329
1952	546	415	1962	738	357
1953	601	439	1963	701	383
1954	651	447	1964	609	396
1955	668	386	1965	545	445
1956	743	366	1966	—	436
1957	774	363	1967	—	391
1958	853	341	1968	—	381
1959	903	327	1969	—	393
1960	844	323	1970	—	447

Поколения осетра 1958—1961 гг. были наиболее многочисленными с максимумом в 1959 г. Это объясняется тем, что производители озимого осетра успели пройти плотину Волгоградской ГЭС до ее перекрытия в октябре 1958 г. и отнерестились весной на нерестилищах верхнего бьефа. Водохранилище стало для молоди осетра на несколько лет вырастным водоемом. Был прослежен скат из Волгоградского водохранилища жизнестойкой молоди поколения 1959 г. в возрасте от 2 до 9 лет [18]. В последующие годы проводились массовые перевозки и пересадки производителей осетра на нерест в верхний бьеф вплоть до 1967 г., когда плотина Саратовской ГЭС отрезала верхние нерестилища. Эти мероприятия позволили несколько смягчить резкое снижение интенсивности размножения осетра. По данным Г. А. Батычкова [18], скат молоди осетра из Волгоградского водохранилища постепенно снижался: 1959 г. — 3,4 млн шт., 1960—1961 гг. — 0,9—1,1 млн шт., 1966—1967 гг. — 0,8 млн шт. Одновременно происходит снижение интенсивности размножения осетра на нерестилищах ниже Волгоградской плотины. Наблюдения в дельте Волги показали снижение численности покатной молоди осетра от 1961 к 1967 г. [20]. Зафиксировано также снижение относительной численности молоди осетра в Северном Каспии в 2 раза в период от 1958—1959 до 1963—1964 гг. [94]. В результате произошло постепенное снижение численности поколений. У севрюги общая численность поколений более стабильна, но если из нее вычесть количество рыб заводского происхождения, то тоже обнаруживается снижение численности рыб, полученных от естественного нереста с 344 тыс. шт. в 1956—1960 гг. до 305 тыс. шт. в 1961—1965 гг. и 276 тыс. шт. в 1966—1970 гг.

У белуги самыми многочисленными были поколения 1946—1955 гг. В дальнейшем, после зарегулирования стока Волги, происходит снижение ее численности, несмотря на поступление заводской молоди. Затем при вступлении в промысел поколений маловодных 70-х годов и низкопродуктивных по молоди 80-х годов можно ожидать, что тенденция сокращения численности поколений осетровых сохранится.

Снижение уровня воспроизводства осетровых отразилось на их возрастной структуре. Структура промысловой части популяции осетровых проанализирована по соотношению трех возрастных групп: 1) пополнение, впервые нерестующие рыбы; 2) центральная группа, составляющая основу промысла; 3) остаток, старшая возрастная группа (табл. 13.11).

Таблица 13.11

Многолетние изменения (%) возрастной структуры промысловой части популяции осетровых в р. Волге

Год промысла	Возраст, лет								
	Осетр			Севрюга			Белуга		
	7—13	14—22	более 22	6—10	11—17	более 17	11—17	18—26	более 26
1962	27,0	64,3	8,7	12,8	71,6	12,4	—	—	—
1963	34,0	61,1	4,9	12,1	70,2	17,7	—	—	—
1964	31,1	62,7	6,2	11,6	61,6	26,8	—	—	—
1965	18,1	73,3	8,6	8,4	62,8	28,8	—	—	—
1966	17,8	76,3	5,9	9,1	75,7	15,2	34,1	48,9	17,0
1967	30,6	65,1	4,3	4,9	73,6	21,5	33,0	49,9	17,0
1968	34,3	64,6	1,1	5,8	79,1	15,1	32,0	48,0	20,0
1969	21,0	75,7	3,3	4,9	74,6	20,5	35,0	50,0	15,0
1970	18,7	75,8	5,5	11,9	77,1	11,0	31,5	53,4	15,1
1971	14,0	79,6	6,4	9,9	72,0	18,1	33,0	52,6	14,4
1972	24,3	66,8	8,9	12,6	68,5	18,9	32,0	54,4	13,6
1973	19,4	73,2	7,5	21,6	67,2	11,5	34,0	53,8	12,2
1974	7,1	74,8	18,1	13,7	72,6	13,7	31,0	51,9	17,1
1975	2,9	80,6	16,5	21,9	69,8	8,3	29,4	52,6	18,0
1976	5,3	79,7	15,0	12,4	72,6	15,0	24,7	56,7	18,6
1977	3,5	79,2	17,3	12,2	75,0	12,8	28,4	57,3	14,3
1978	3,0	79,4	17,6	8,8	73,9	17,3	27,5	57,8	14,7
1979	5,0	72,1	16,0	12,6	75,2	11,2	25,7	58,2	16,1
1980	4,2	81,7	14,1	16,1	72,9	11,0	25,1	58,1	16,8
1981	3,9	82,7	13,4	11,7	77,4	10,9	33,4	54,9	11,7
1982	2,3	62,1	35,6	9,7	78,6	11,7	33,5	51,8	9,7
1983	4,3	72,7	23,0	11,4	74,0	14,6	37,4	50,3	12,3
1984	5,6	74,3	20,1	11,4	75,2	13,4	40,8	48,5	10,7
1985	7,5	71,5	21,0	12,5	74,6	12,9	42,7	43,0	14,3
1986	8,8	68,8	22,4	14,2	74,8	11,0	49,5	47,4	12,1
1987	12,3	65,8	21,9	15,4	72,3	12,3	45,7	46,5	7,8
1988	11,3	57,7	30,0	17,4	71,5	11,1	43,8	44,3	11,9
1989	9,8	51,1	39,1	11,6	73,1	15,3	42,3	43,0	14,7
1990	10,0	47,3	42,7	13,8	79,2	7,0	44,0	43,3	12,7

У русского осетра в период 1962—1973 гг. наблюдается высокая доля младшей группы, в среднем 24,2 %, которую образуют поколения 1949—1965 гг., относящиеся к периоду до зарегулирования стока. В последующие годы промысла относительная численность пополнения снижается, но прослеживается увеличение относительного количества рыб в центральной группе в 1969—1981 гг.

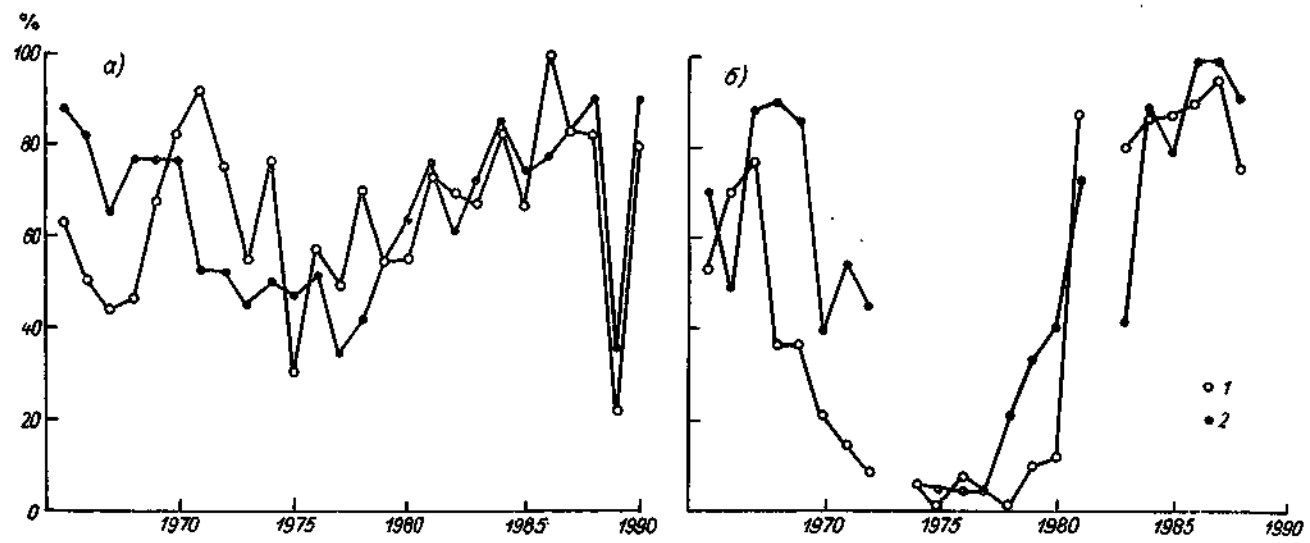


Рис. 13.6. Изменение относительного показателя темпа роста нерестовой части популяции севрюги (*а*) и осетра (*б*) в р. Волге.

1 — самки; 2 — самцы.

(77,6 %). Начиная с 1972 г. поколения 1949 г. и последующих за ним лет постепенно переходят в старшую группу рыб и относительная численность этой группы возрастает. У белуги, которая больше всех пострадала от зарегулирования, наблюдается постепенное уменьшение относительного количества пополнения. Минимальных значений оно достигает в уловах 1976—1980 гг. за счет поколений 1959—1969 гг. В дальнейшем процент впервые нерестующих особей увеличивается, по всей видимости, за счет заводской молоди. Наиболее стабильное соотношение рассматриваемых возрастных групп наблюдается у севрюги.

Для оценки влияния изменений условий нагула рыб в море был использован следующий прием. У всех поколений данного года промысла рассчитывали прирост за год и сопоставляли его со средними многолетними данными по отдельным возрастам. Затем определяли относительное количество поколений, прирост которых превышал многолетний уровень. Если у 50 % поколений, участвовавших в промысле, прирост был выше или на уровне среднего многолетнего значения, то условия роста в предыдущем году считали удовлетворительными.

Полученные данные для осетра и севрюги представлены на рис. 13.6. У обоих видов наблюдается замедление темпа роста в 70-х годах. Это выражено в большей степени у осетра. Почти все его поколения, участвовавшие в промысле в 1974—1980 гг., дали приросты ниже средних, а у самок замедление темпа роста отмечается уже с 1968 г. Наиболее длительное негативное влияние, которое сохраняется до настоящего времени, оказали условия среды обитания на белугу, производители которой имеют явно выраженную тенденцию снижения темпа роста во всех возрастных группах.

Падение уровня моря, который достиг экстремально низкой отметки —29,0 м в 1979 г., повлекло за собой уменьшение кормовых площадей на 10 тыс. км². Кроме того, в северной части моря произошло зарастание макрофитами Кулалинского порога, что стало препятствием для распространения молоди и взрослых осетровых в восточные районы. Так, численность молоди осетровых, по данным 1974—1979 гг., была выше в западной части Северного Каспия по сравнению с восточной у белуги в 2,7, у осетра в 3,5, у севрюги в 3,7 раза. Уменьшение кормовых площадей в некоторой степени компенсировалось снижением количества молоди в этот период.

Таблица 13.12

Численность (тыс. шт.) нерестового стада осетровых в Северном Каспии

Год промысла	Осетр	Севрюга			Белуга
	Волга	Волга	Урал	Всего	Волга
1962	887	—	—	—	—
1963	968	—	—	—	—
1964	799	—	—	—	—
1965	788	441	494	935	—
1966	1281	560	503	1063	—
1967	1881	655	635	1290	—
1968	1649	637	822	1459	—
1969	1555	708	859	1367	—
1970	1484	510	1002	1512	25
1971	1594	401	887	1348	24
1972	1620	490	1059	1549	18
1973	2734	552	1064	1616	22
1974	1329	449	1144	1593	21
1975	2640	531	1347	1878	18
1976	2640	667	1374	2038	21
1977	3738	550	1441	1991	17
1978	2401	565	1307	1872	19
1979	2212	621	1232	1853	13
1980	2094	578	1120	1698	12
1981	1434	601	947	1548	11
1982	986	534	1177	1711	14
1983	845	640	639	1279	19
1984	1067	587	816	1403	12
1985	1032	698	639	1337	16
1986	919	884	816	1700	15
1987	763	656	461	1117	12
1988	767	677	378	1055	12
1989	627	590	299	889	10
1990	663	609	306	915	13

Однако происходило увеличение численности взрослых рыб. Нерестовое стадо осетра увеличилось от 0,8 млн экз. (1964—1965 гг.) до 3,2—3,7 млн экз. (1976—1977 гг.), а нерестовое поголовье севрюги возросло за счет уральского стада в эти годы с 1,1 до 2,0 млн экз. (табл. 13.12).

В Северном Каспии ежегодные наблюдения не показали существенных изменений биомассы кормовых организмов взрослых рыб. Однако при исследовании их питания было зафиксировано резкое снижение интенсивности питания у осетра в западной части моря. Весной наполнение желудков уменьшилось от 113‰ в 1974 г. до 38‰ в 1978 г. Летом в эти годы отмечено слабое наполнение желудков (12—23‰). Самые низкие значения были получены у севрюги в восточной части моря (3,8—4,9‰), где количество рыб с пустыми желудками доходило до 60 % [99].

В глубоководной части моря, напротив, зафиксировано снижение валовой биомассы основного компонента пищи осетра — моллюска абры. В 1976 г. по сравнению с 1962 г. ее количество в районах откорма уменьшилось на западном шельфе Среднего Каспия в 5,2 раза и на восточном шельфе Южного Каспия в 7,5 раза (табл. 13.13). Увеличение биомассы абры и нереис в наиболее загрязненном юго-западном районе, который осетровые избегают, говорит о том, что снижение биомассы в местах их откорма произошло за счет выедания.

О снижении кормовых ресурсов в глубоководной части моря в 70-х годах говорят также данные по питанию осетровых [112]. Сезонные исследования 1976 г. показали снижение доли основных компонентов абры и нереис в питании осетра и севрюги по сравнению с 1962 г. В рационе белуги возросла роль второстепенных объектов — ракообразных. У всех осетровых наблюдается высокий процент особей с пустыми желудками, особенно

Таблица 13.13

Ресурсы основных кормовых объектов взрослых осетровых (тыс. т) в Среднем и Южном Каспии (по расчетам Е. А. Яблонской)

Организмы	Запад		Восток	
	1962 г.	1976 г.	1962 г.	1976 г.
Средний Каспий				
Абра	4270,2	822,9	1,6	11,4
Нереис	146,0	86,3	35,7	40,6
Южный Каспий				
Абра	126,8	1376,6	1607,9	214,2
Нереис	4,8	77,7	44,2	46,7

в зимний период. Отмечена также высокая зараженность, особенно севрюги, паразитическими червями.

Таким образом, замедление темпа роста осетровых в 70-х годах было следствием увеличения их численности в море. В дальнейшем при снижении числа осетровых и повышении уровня моря в 80-х годах приросты почти всех поколений осетра и севрюги становятся выше средних значений, что говорит об улучшении условий их нагула. Исключением является только 1989 г., когда проявилось резкое снижение темпа роста у севрюги. Столь кратковременное снижение темпа роста вероятнее всего связано не с кормовой базой, а с максимальной степенью интоксикации рыб, которая была отмечена в этот период (см. п. 13.3).

14. ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ПОКОЛЕНИЙ АНЧОУСОВИДНОЙ КИЛЬКИ

Анчоусовидная килька (*Clupeonella engrauliformis, Borodin*) — один из основных объектов промысла в Каспийском море. Ежегодно ее добывается 250—260 тыс. т, что составляет около 80 % улова всех рыб в море.

Обитает анчоусовидная килька в верхних слоях Среднего и Южного Каспия, где держится в удалении от берегов. Наибольшие концентрации она образует в зоне кругового течения над глубинами от 50 до 120 м. В более глубоководных районах ее концентрация снижается, но вследствие большой площади этих районов биомасса здесь составляет 40—50 % общей их массы в море.

Это короткоцикловая рыба, у которой половое созревание начинается на первом году жизни. Численность сеголетков определяет ее промысловый запас и составляет в среднем по многолетним данным 36 %.

Численность родившегося в данном году поколения («урожайность поколения») оценивается по количеству сеголетков в июне в исследовательских ловах на свет конусной сетью по стандартной сетке станций, которые регулярно проводятся с 1951 г. Для анчоусовидной кильки характерны значительные межгодовые колебания показателя урожайности от 124 до 3658 шт. в среднем на один подъем конусной сети, т. е. в 30 раз (табл. 14.1). Эти различия в большой степени обусловлены влиянием абиотических факторов среды на жизненный цикл рыб. Литературные сведения по этому

Таблица 14.1

Урожайность поколений анчоусовидной кильки, экз. на подъем сети

Год	Урожайность	Год	Урожайность	Год	Урожайность	Год	Урожайность
1951	3069	1960	3213	1970	868	1980	1412
1952	3480	1961	1870	1971	590	1981	2025
1953	2534	1962	3317	1972	1093	1982	3172
1954	124	1963	425	1973	2465	1983	5220
1955	232	1964	1488	1974	2161	1984	755
1956	236	1965	1706	1975	715	1985	5926
1957	2463	1966	1702	1976	1483	1986	631
1958	2900	1967	1899	1977	2632	1987	8649
1959	1650	1968	2547	1978	2060		
		1969	3658	1979	1711		

вопросу отрывочны и касаются в основном половозрелых килек [84, 85, 100]. В 1974—1981 гг. автором были проведены исследования по влиянию волнения моря и температуры воды в период нереста на численность формирующихся поколений килек.

Нерест анчоусовидной кильки происходит с мая по декабрь, но 80 % нерестовой популяции размножается с октября по декабрь в восточной части Южного Каспия. Вымет икры происходит в поверхностных слоях воды. Икра и предличинки

анчоусовидной кильки развиваются в приповерхностном биотопе (5—100 см). Пелагический образ жизни обеспечивается наличием жировой капли в желточном мешке, что значительно уменьшает их плотность. Сплющенное с боков лентовидное тело облегчает пассивное парение. От перенасыщения кислородом эмбрионы и предличинки предохраняет отсутствие эритроцитов в их сосудистой системе.

Предварительно было установлено, что при штормовых условиях повышается количество рыб с неполностью выметанной икрой и резорбирующимися половыми продуктами. В условиях продолжительных штормов плодовитость нерестовой популяции может сокращаться примерно на $^1/_3$. Специальные опыты в аквариумах на судах показали, что при оптимальной температуре (19—20 °С) волнение моря до 5 баллов увеличивает смертность эмбрионов на 13,8 %. При волнении 6 баллов и более показатель смертности возрастал в среднем на 34,8 %. Зависимость между волнением моря x_1 и процентом выживших эмбрионов y_1 описывается уравнением регрессии $y_1 = 1378{,}19 - 0{,}0057\,x_1$ при $r = 0{,}98$.

В среднем, по многолетним данным, штормовые условия в Каспийском море в период массового нереста анчоусовидной кильки составляют 14—15 % и, казалось бы, не могут нанести значительного ущерба воспроизводству этой рыбы. Но в отдельные годы число дней с волнением 6 баллов и более может составлять до 50 % всего нерестового периода и влияние этого фактора на численность формирующегося поколения становится довольно существенным. Так, исключительно сильное волнение было зафиксировано в октябре — ноябре 1970 и 1975 гг., что могло быть одной из причин низкой урожайности поколения этих лет (соответственно 878 и 715 экз. на подъем конусной сети).

Неблагоприятное воздействие волнения на численность поколений сельдевых рыб отмечается и другими авторами. К. А. Алтухов [6] показал большое его влияние на выживание личинок сельди. К. Г. Осепян [93] установила связь между урожайностью и количеством дней с оптимальной силой ветра ($r = 0{,}78$) для обыкновенной кильки в Северном Каспии.

Температура воды — другой фактор, определяющий эффективность размножения анчоусовидной кильки. От нее зависят сроки и продолжительность нереста, ход эмбриогенеза. Наиболее чувствительны к воздействию температуры среды ранние стадии развития рыб. Уровень температуры определяет активность энзимов — катализаторов обмена веществ. Отклонение температуры от оптимального уровня приводит к снижению эффективности работы системы, наблюдаются отклонения в развитии и вследствие этого увеличение смертности.

Оптимальная температура для развития анчоусовидной кильки была определена экспериментально. Опыты были поставлены в аквариумах на судне в интервале температур от 7 до 32 °С на икре и предличинках, полученных путем искусственного оплодотворения. Длительность эмбриогенеза по мере возрастания температуры снижалась от 52 до 19 ч. В интервале температур 17—20 °С развитие протекало нормально, с высокими показателями выживания. Повышение температуры выше оптимальной на 4—6 °С и понижение ее на 3—4 °С приводило к увеличению смертности эмбрионов на 30—70 и 20—70 % соответственно. Зависимость смертности эмбрионов y_2 от температуры воды x_2 описывается уравнением регрессии

$$y_2 = -2372{,}70 + 329{,}12x_2 - 8{,}22x_2^2 \text{ при } r = 0{,}86.$$

Выявленный в эксперименте интервал оптимальных температур согласуется с температурой воды на поверхности моря, в районах массового нереста кильки, которая в среднем за многолетний период (1960—1980 гг.) в октябре равна 20,6 °С, в ноябре — 17,9 °С, в декабре — 16,2 °С.

Термическим режимом моря обусловлены сроки и продолжительность нереста кильки. Интенсивное охлаждение водных масс осенью стимулирует дружное созревание рыб и способствует быстрому ее скату в наиболее прогретые районы Среднего и Южного Каспия, где происходит основной нерест в сжатые сроки. При раннем и интенсивном нересте бывают обычно многочисленные поколения. Начало формирования наиболее высокоурожайного поколения 1969 г. (3658 экз. на подъем сети) проходило в период резкого снижения температуры воды в Среднем Каспии до 15,8 °С. В то же время в районах нереста была наиболее благоприятная для развития эмбрионов температура (19,5—20,0 °С). Сходные условия наблюдались в 1962 и 1977 г., что также сопровождалось высокой численностью молоди (соответственно 3317 и 2632 экз. на подъем сети). В 1961, 1967 и 1974 гг. наблюдалось превышение оптимального интервала температур в местах нереста на 1,4—2,6 °С, а в 1976 г. — понижение на 1,2 °С. Поколения, сформированные в эти годы, характеризовались средней численностью (1483—2161 экз. на подъем сети). В 1963 и 1975 гг. температура на нерестилищах была выше оптимальной на 3,0—3,5 °С. Это, по-видимому, явилось причиной низкой численности поколений этих лет (425—715 экз. на подъем сети). Приведенные примеры показывают, что температура воды является одним из ведущих факторов, определяющих численность поколений анчоусовидной кильки.

Таким образом, температуру воды и волнение моря можно считать основными факторами, оказывающими непосредственное влияние на начальную численность поколений анчоусовидной кильки. Зависимость от этих факторов описывается уравнением регрессии

$$y_3 = -18177{,}23 + 3923{,}09x_3 + 52{,}11x_4 - 191{,}55x_3^2 - 1{,}22x_4^2 \text{ при } r = 0{,}80,$$

где x_3 — отклонение температуры воды на нерестилищах от оптимального интервала, °С; x_4 — количество штормовых дней за период осеннего нереста; y_3 — количество сеголетков, экз. на подъем сети.

15. ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ВОСПРОИЗВОДСТВО И ЧИСЛЕННОСТЬ ПРОХОДНЫХ СЕЛЬДЕЙ

До зарегулирования стока в Волге размножалось два вида проходных сельдей: волжская многотычинковая и черноспинка. Волжская сельдь нерестилась в основном на Нижней Волге от устья до г. Камышина, а черноспинка поднималась для икрометания в Среднюю и даже Верхнюю Волгу. После строительства плотин они оказались отрезанными от основных своих нерестилищ. В результате волжская сельдь к настоящему времени полностью исчезла, а численность черноспинки сократилась примерно в 10 раз.

Волжская сельдь была массовым промысловым видом. В уловистые годы (1912—1917) ее добыча достигала 200 тыс. т. Именно эта сельдь составляла основу и славу каспийского сельдяного промысла. Сравнительно недавно, в предвоенные и военные годы, этой сельди добывалось свыше 50 тыс. т. Резкое снижение численности волжской сельди началось с 1959 г., т. е. через 4 года после зарегулирования Волги у Самары. Если в 1946 г. нерестовые косяки проходной сельди в реке состояли на 58,2 % из волжской сельди, то уже в 1959 г. ее было 15,7 %, а в 1960—1963 гг. — 10 %. Начиная с 1964 г., т. е. через 5 лет после перекрытия Волги у Волгограда, относительное количество нерестующей волжской сельди в реке неуклонно сокращалось. В 1971 г. она составляла 0,2 %, а в дальнейшем полностью исчезла.

Прежние нерестилища волжской сельди характеризовались устойчивым температурным режимом воды и пониженной скоростью течения. Под плотиной в период половодья температура и скорость течения воды резко менялись. Максимальные попуски воды из верхнего бьефа в 1960—1971 гг. (когда еще была волжская сельдь) приходились на период с 20 мая по 2 июня. Это совпадало с максимальным ходом волжской сельди и массовым появлением «текучек». В естественных условиях это был период наибольшего стояния вод.

Черноспинка оказалась в более выгодном положении. Она нерестится позднее, с начала — середины июня, когда попуски воды из водохранилища уже снижаются с максимума до нормальных и меженных. Кроме того, она оказалась более приспособленной к перепадам температур, поскольку раньше нерестилась на более обширной акватории, с более широким интервалом нерестовых температур. Поэтому, когда обе сельди оказались под плотиной Волгоградской ГЭС, выжила более гетерогенная черноспинка с широким набором адаптаций. Волжская сельдь оказалась менее приспособленной к резким изменениям гидрологического режима, которые характеризовались: 1) перепадом температуры воды на 2—3 °С в течение короткого периода времени за счет попуска более холодной воды из водохранилища; 2) резким изменением скоростей течения воды даже в течение одних суток; 3) загрязнением волжской воды под плотиной промышленными стоками и нефтепродуктами.

В настоящее время нерест черноспинки происходит на Нижней Волге от дельты до плотины Волгоградской ГЭС, но, в основном, на ограниченной акватории от с. Черный Яр до с. Светлый Яр, в 280—430 км от Астрахани. Наибольшая интенсивность икрометания отмечается в начале июля при температуре воды 18—20 °С; в начале августа нерест заканчивается. Сельдь мечет икру по всему руслу реки в толщу воды. Икра полупелагическая и развитие ее происходит только на течении. Плавучие качества икринок повышаются после оплодотворения, когда значительно увеличивается их объем в процессе набухания и вследствие этого уменьшается их плотность. В желточном мешке жира очень немного, жировой капли нет, поэтому в спокойной воде и при слабом течении (0,1—0,3 м/с) икринки опускаются ближе ко дну и даже падают на дно, где они заиливаются. При этом у развивающихся эмбрионов ухудшаются условия дыхания и они погибают. По многолетним материалам установлено, что в маловодные годы резко увеличивается смертность эмбрионов — до 75 %. Это наблюдалось в 1960 и 1971 гг. при объеме стока Волги в половодье 89—98 км³. В многоводные годы гибель икринок сокращается почти в 3 раза (до 27 %), как это было в 1970 г. (136 км³).

Выклюнувшиеся предличинки сельди (с желточным мешком) также находятся в плавучем состоянии, и их развитие зависит от скорости течения. Они не имеют органов дыхания и удовлетворяются кислородом, поступающим непосредственно через покровы тела [54]. Плавучесть личинок обеспечивается своеобразной формой и пропорциями тела, поскольку их желточный мешок содержит мало жира, а воздух в плавательном пузыре появляется очень поздно, в конце личиночного периода. В связи с особенностью развития и выживания личинок черноспинки гидрологический режим является определяющим фактором при формировании ее нового поколения. В маловодные годы, как правило, появляются малоурожайные поколения. В многоводные годы эффективность нереста увеличивается в несколько раз.

При большой воде, кроме увеличения скоростей течения воды, происходит разбавление токсических промышленных и сельскохозяйственных стоков и в итоге обеспечивается большая выживаемость эмбрионов и личинок.

Следует отметить еще один очень важный фактор гибели личинок черноспинки на ранних стадиях развития при слабом течении в реке. Это явление обычно наблюдается летом, в меженный период при массовом развитии водорослей. Ранняя личинка покрывается водорослями, а на голове образуется своеобразный «колпачок». Таких личинок с желточным мешком мы ловили на Нижней Волге в меженный период, когда скорость течения была очень низкой, около 0,2—0,3 м/с [42]. Кроме механического воздействия на молодь рыб, синезеленые водоросли формируют определенный биотический фон среды обитания гидробионтов [88]. Даже небольшое количество водорослей (0,3 г/л) способствует снижению содержания в воде кислорода, карбонатов, изменяет реакцию среды.

Таким образом, гидрологический режим Волги определяет как условия нереста проходной сельди черноспинки, так и условия выживания ее икры и личинок. Для оценки эффективности нереста черноспинки применяется показатель общего коли-

Таблица 15.1

Численность личинок сельди черноспинки в р. Волге y и факторы, ее определяющие $x_1 - x_6$ (см. пояснения в тексте)

Год	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$y_{факт}$	$y_{расч}$	$y_{факт} - y_{расч}$
1959	445	100,5	75	234	27	13,9	12,0	1,9
1960	898	89,0	59	258	13	25,7	26,8	—1,1
1972	419	94,2	51	230	23	16,3	16,8	—0,5
1973	256	77,0	38	230	15	3,2	5,8	—2,6
1974	535	124,9	90	273	34	18,0	18,5	—0,5
1976	210	63,9	24	194	14	9,4	7,2	2,2
1980	387	82,8	45	235	31	17,4	21,0	—3,6
1981	413	128,1	74	288	40	23,8	23,9	—0,1
1982	310	77,2	37	248	20	15,5	11,8	3,7
1983	311	89,8	47	238	30	15,4	17,3	—1,9
1987	659	107,9	63	267	39	38,1	35,6	2,5
1988	944	96,4	52	246	37	50,3	50,2	0,1

чества личинок на нижней границе ее нерестового ареала. Абсолютная численность скатившихся личинок в год за 1958—1960 и 1972—1988 гг. колебалась от 3,2 до 50,3 млрд шт. (табл. 15.1).

Множественный корреляционно-регрессионный анализ [31] показал, что абсолютная численность личинок черноспинки (y_1 млрд шт.) определяется количеством производителей, пропущенных на нерест (x_1 экз.) стоком Волги за апрель — июнь (x_2 км^3), продолжительностью половодья (x_3 сут), максимальным уровнем половодья (x_4 см АР), продолжительностью спада уровня (x_5 сут):

$$y = -9{,}468 + 0{,}046x_1 + 0{,}197x_2 - 0{,}416x_3 - $$

$$- 0{,}027x_4 + 0{,}693x_5 \quad (r = 0{,}98).$$

16. ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, РАЗМНОЖЕНИЕ И ПРОМЫСЕЛ ТЮЛЕНЯ

Каспийский тюлень (*Pusa caspica Gmelin*, 1788) является одним из типичных представителей ледовых форм тюленей. На льдах Северного Каспия у него протекает два важных биологических периода — размножение и линька. В это время на льдах собирается почти вся популяция. Здесь происходит рождение детенышей, их выкармливание, смена эмбрионального волосяного покрова, спаривание, а также линька всех возрастных групп тюленей обоего пола. На льдах тюлени образуют большие скопления, которые состоят из самок с детенышами (детные залежки), самцов и молодых зверей обоего пола (косячный зверь), которые позднее формируются в линные залежки. В это время тюлени наиболее чувствительны к изменениям гидрометеорологических условий, которые определяют их распределение на льдах и эффективность размножения.

Сведения о влиянии гидрометеорологических условий на биологию каспийского тюленя скудны и встречаются в публикациях в виде отдельных фрагментов. Так, А. Н. Роганов [103] пишет, что места образования детных залежек зависят от сроков ледостава и подхода самок на размножение. Это положение подтверждает С. В. Дорофеев [35]. Б. И. Бадамшин [11—15] считает, что места образования детных залежек зависят от суровости зимы, места расположения кромки льдов. Эти наблюдения были использованы в свое время для прогнозирования промысла, относительной оценки состояния ресурсов тюленя и других параметров, связанных главным образом с развитием эффективного промысла. В последние 10—15 лет начали проводиться исследования по влиянию не только ледовых, но и метеорологических условий на распределение залежек разного состава, на поведение зверя, его дневного режима, развитие и выживаемость приплода [55, 57—59, 63, 64]. Кроме того, проводились картирование районов щенки и наблюдения за динамикой детных залежек. Обобщение этих материалов, и литературных данных позволили получить более полное представление о влиянии гидрометеорологических условий на дислокацию залежек и динамику численности каспийского тюленя.

16.1. Краткие сведения по биологии каспийского тюленя

Каспийский тюлень — эндемик и единственный представитель млекопитающих в фауне Каспийского моря. Зоологическая длина (по изгибу спины) взрослых особей колеблется в пределах 126—155 см, а масса тела — 50—60 кг, достигая осенью в период наибольшей упитанности 80—90 кг [14, 60]. Продолжительность жизни не превышает 50 лет [60, 126]. Половая зрелость самки наступает в возрасте 5—7 лет, самца — 6—7 лет. Продолжительность беременности около 11 мес, включая латентный период [55, 120].

Окраска его варьирует в зависимости от возраста и пола. Для взрослых особей характерна сильно выраженная пятнистость, особенно со спинной стороны. У самцов пятна яркие, часто сливающиеся между собой. Самки окрашены в более тусклые тона и сходны с неполовозрелыми особями. Индивидуальная изменчивость окраски в любой возрастной группе велика как по размерам, форме рисунка, так и по цвету пятен. Встречаются самки, у которых морда, голова, и даже шея имеют красновато-рыжий цвет [91]. Такая вариабильность окраски, по-видимому, является следствием большой протяженности бассейна.

Каспийский тюлень обитает практически на всей акватории Каспийского моря. Известны случаи заходов отдельных особей по р. Волге до г. Астрахани, а по р. Уралу — до г. Гурьева [14]. Обычно он встречается единичными экземплярами или небольшими скоплениями, но в некоторых случаях наблюдаются большие концентрации. Так, в период летнего нагула (май — сентябрь) тюлени сосредоточиваются в районе килечного промысла по 100—250 голов около каждого судна. Привлекает его килька, которая собирается на электрический свет в плотные большие скопления [61]. В период осеннего нагула (октябрь — ноябрь) тюлень образует небольшие скопления в авандельтах рек Волги и Урала во время хода частиковых рыб. В октябре — ноябре десятки тысяч тюленей скапливаются на временных песчаных островах (шалы-

гах) в восточной части Северного Каспия и на песчаных косах Южного Каспия [56, 60, 62]. Здесь тюлени отдыхают и у них проходит дифузная линька. Наибольшая концентрация тюленей наблюдается на льдах Северного Каспия в зимнее время, в период размножения.

Массовая щенка протекает с 28 января по 5 февраля. Однако в зависимости от ледовой обстановки и метеорологических условий сроки щенки могут сдвигаться на 3—5 сут в ту или другую сторону [55, 63]. Самки группируются в разреженные залежки, каждая из которых состоит из нескольких десятков или сотен особей. Формируются они в течение нескольких суток. Залежки могут быть обширными, достигающими иногда протяженности нескольких десятков километров. Располагаются щенные (детные) залежки самок на крепких неподвижных и на крупнобитых дрейфующих льдах.

Беременные самки стремятся уйти возможно дальше в глубь ледяного покрова, пользуясь разводьями. Они группируются среди относительно старых льдов, разреженных узкими разводьями или перемежающимися извилистыми линиями молодиков. Пределом их продвижения является край сплошного крепкого неподвижного льда (уторы). Самцы и неполовозрелые животные обоего пола располагаются на кромке. Для спаривания самцы проникают на детные залежки.

Во льду тюлени делают отверстия, так называемые лазки (диаметром 40—60 см), через которые они могут свободно вылезать на лед или уходить в воду. Кроме того, тюлень проделывает «продуха» — отверстия диаметром 3—5 см, которые служат исключительно для дыхания. Снежных нор для щенки и выкармливания потомства тюлень не делает. Он предпочитает торосистые льды, которые служат укрытием для детенышей от непогоды и хищников — орлана белохвостого и островного волка.

Самка приносит одного детеныша размером 65—70 см и массой 2,8—3,8 кг. Новорожденный («зеленец») покрыт мягким белым эмбриональным волосом зеленовато-желтого оттенка, который через 2—3 сут белеет и превращается в «белька» размером 72—78 см и массой 4,0—5,5 кг. В первые дни жизни белек избегает воды. Через две недели после рождения волос у белька начинает линять. Шерсть выпадает клочьями. Белек, находящийся в процессе линьки, называется «тулупкой». Зоологическая длина этой возрастной группы варьирует от 85 до 91 см, а масса — от 17 до 21 кг, при этом шкура с салом составляет у них 68 %. После первой линьки в возрасте 3—4 недели детеныш приобретает жесткий волос пепельно-серой окраски на спине и светло-серебристой на брюхе и называется «сиварем». Сиварь некоторое время еще держится на дрейфующих льдах, а затем начинает сходить в воду и самостоятельно питаться.

Лактация, линька приплода, спаривание протекают в сжатые сроки, что, вероятно, связано с коротким периодом ледостава в Северном Каспии. Во второй половине лактации у животных уже начинается гон. Массовое спаривание приходится на вторую половину февраля. По окончании этого процесса в марте — апреле происходит линька. Некоторые самки начинают линять еще во время кормления щенков. Несколько позже линяют взрослые самцы, затем неполовозрелые особи обоего пола.

Линные залежки, в отличие от детных, формируются на кромке дрейфующих льдов и не требовательны в выборе мест. Нам приходилось наблюдать залежки как на торосистых, так и на гладких заснеженных полях льда, на битом льду, на только что образовавшихся тонких молодиках и подтаявшем ноздреватом льду грязновато-серого цвета. Площадь этих залежек и численность тюленей на них варьирует и зависит от ледовых и погодных условий. В начале периода линьки тюлени залегают на льдах небольшими группами, но с течением времени численность их увеличивается за счет подхода различных возрастных и половых групп, в том числе и приплода (сиваря). Звери располагаются близко друг к другу, мелкие льдины иногда полностью заняты тюленем. В некоторых случаях линные залежки формируются на месте детных. Таким образом, возрастной и половой состав зверя на залежках не постоянный.

С исчезновением ледяного покрова не вылинявшие тюлени переходят на «бугры», которые образуются на мелководье во время сжатия и торошения льдов. Тюлени располагаются у их подножья и остаются здесь до полного их разрушения. В аномально теплые зимы с ранним исчезновением льда не успевшие вылинять звери переходят на небольшие необитаемые песчаные острова, где и остаются до полного окончания линьки [14]. Другая часть не вылинявших животных в конце марта — начале апреля перекочевывает на юг и образует линные залежки на островах Апшеронского архипелага. В том и другом случае линька животных затягивается, что отрицательно сказывается на их упитанности и воспроизводстве. Вылинявшие звери в конце апреля — начале мая мигрируют в Южный Каспий для нагула, где рассредоточиваются по всей акватории. Они держатся главным образом в районах скоплений кормовых объектов.

Питается каспийский тюлень рыбой, ракообразными и моллюсками. Устойчивое существование популяции в условиях замкнутого водоема обеспечивается стабильной кормовой базой из мелких массовых рыб с коротким жизненным циклом. Состав и количество потребляемой пищи меняются в зависимости от сезона, времени суток, возраста животного, концентрации кормовых объектов, их размеров и других особенностей [10, 58—60, 98]. В Северном Каспии тюлени питаются осенью и зимой бычками, крабиком и креветками, весной и летом — килькой и атериной. В авандельтах рек Волги и Урала осенью они потребляют скатывающуюся молодь частиковых рыб (до 98 %), но почти не затрагивают репродуктивную часть популяции этих рыб. В Среднем и Южном Каспии в пище тюленя преобладают килька, атерина и бычки (табл. 16.1).

16.2. Влияние ледовых и метеорологических условий на распределение детных и линных залежек каспийского тюленя

Распределение залежек тюленя зависит от суровости зимы и ледовой обстановки. В частности, имеет значение количество льда, расположение

Таблица 16.1

Частота встречаемости (%) кормовых организмов в желудках каспийского тюленя в разных районах моря и в разные сезоны

Кормовые организмы	Северный Каспий						Авандельта Волги и Урала	Средний Каспий	Южный Каспий
	Январь**	Февраль**	Апрель*	Июнь*	Июль*	Октябрь*	Ноябрь**	Май*	Август*
Килька	—	—	50	50	—	—	1—2	—	46
Атерина	—	—	50	1	—	—	—	—	4
Бычки	26	24	—	37	13	17	9—19	85	35
Вобла	—	—	—	—	26	—	12—31	15	—
Сазан	—	—	—	—	—	—	5—17	—	—
Судак	—	—	—	—	1	—	39—46	—	—
Лещ	—	—	—	—	7	—	1—10	—	—
Игла-рыба	—	4	—	7	1	4	1—2	—	4
Кефаль	—	—	—	—	—	—	—	—	3
Прочие рыбы	—	—	—	7	44	—	5—30	—	8
Креветки	—	4	—	—	10	79	1—13	—	—
Крабик	64	43	—	—	—	—	1	—	—
Гаммариды	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Мизиды	10	24	—	—	—	—	1—7	—	—

* По данным [98].
** По данным [58, 60].

кромки крепкого припайного льда и дрейфующих крупнобитых льдов, их сплоченность, а также погодные условия, ветровой режим и температура воздуха. Характеристика суровости зим и ледовой обстановки для рассматриваемых лет приводится в табл. 16.2.

По принятой классификации умеренной считается такая зима, для которой сумма отрицательных температур воздуха в г. Астрахани (градусо-дней мороза) находится в пределах 200—400. При значениях этого показателя менее 200 зима считается теплой, а при более 400 — суровой. Как видно из таблицы, эта характеристика зимы в целом не во все годы совпадает с характеристикой более короткого периода, когда происходит размножение тюленей (1976, 1986 и 1987 гг.).

В умеренные зимы ледостав на Гурьевской бороздине обычно начинается в 3-й декаде декабря и совпадает с подходом самок тюленя на размножение. Ледовитость в период щенки в эти годы обычно составляет 80—85 % при сплоченности льдов 7—9 баллов и их толщине 15—35 см. В такой ледовой ситуации тюлени могут проникать в глубь ледяного массива.

Типичная умеренная зима была в 1984 г. Кромка подвижных льдов проходила от северной око-

Таблица 16.2

Характеристика зим и ледовой обстановки в Северном Каспии по данным Астраханской ГМО и собственным наблюдениям (*)

Годы	Характеристика зимы				Ледовая обстановка на период щенки				
	Число градусо-дней мороза	Продолжительность, сут	Средняя температура воздуха, °С	Погода в период размножения (*)	Начало ледостава	Начало разрушения льда (*)	Максимальная ледовитость, % (*)	Сплоченность льдов, балл (*)	Толщина льда, см (*)
1965—1966	194	60	—1,7	Теплая, аномальная	I_3	III_1	48	6—9	10—15
1968—1969	761	125	—6,9	Суровая	XI_3	III_1	105	8—10	25—40
1969—1970	149	93	—3,2	Теплая	—	—	75	6—8	12—25
1970—1971	387	110	—4,8	Умеренная	XII_3	III_3	78	6—8	15—30
1971—1972	609	100	—8,9	Суровая	—	—	98	8—9	25—35
1972—1973	380	85	—5,2	Умеренная	—	—	—	—	—
1975—1976	400	108	—4,0	Теплая	—	—	55	6—7	12—20
1976—1977	700	70	—8,9	Суровая	—	III_3	99	8—9	20—35
1977—1978	402	95	—4,1	Умеренная	XI_3	—	90	8—10	12—30
1978—1979	329	95	—3,7	Умеренная	—	II_1	85	7—9	12—24
1979—1980	621	96	—6,7	Суровая	—	—	—	—	—
1980—1981	93	67	—1,7	Теплая	I_1	III_1	50	6—8	12—25
1981—1982	420	76	—5,5	Умеренная	I_2	II_3	65	—	19—35
1982—1983	187	79	—1,5	Теплая аномальная	I_3	II_3	50—70	—	12—25
1983—1984	338	58	—5,3	Умеренная	XII_3	III_1	—	—	35—40
1984—1985	721	113	—6,4	Суровая	XI_3	III_3	—	8—10	35—40
1985—1986	386	113	—3,0	Теплая	XII_1	III_2	—	—	12—30
1986—1987	503	—	—	Умеренная	—	IV_1	85	7—9	15—35
1987—1988	620	95	—8,5	Суровая	XI_3	II_3	90	8—9	—
1988—1989	105	70	—0,8	Теплая	I_2	III_1	58	6—9	12—15

Примечание. В индексе указана декада месяца.

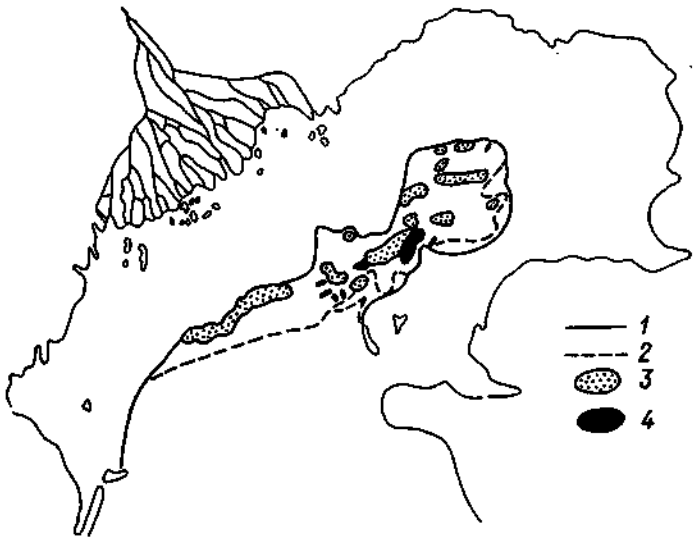


Рис. 16.1. Распределение детных залежек каспийского тюленя в умеренную зиму 1984 г. (1—10 февраля).

1 — кромка неподвижного льда (уторы); *2* — кромка подвижного дрейфующего льда; *3* — разреженные залежки; *4* — плотные залежки.

нечности о. Кулалы через банки Ракушечную и Малую Жемчужную до о. Чечень. Щенные залежки располагались как на Гурьевской (Уральской) бороздине, так и в центральной и юго-западной частях ледяного покрова в виде вытянутой полосы с северо-востока на юго-запад (рис. 16.1). Они сохранились почти в тех же районах до окончания лактации и линьки приплода, что обусловило высокую его выживаемость. Разрушение льдов началось только в 1-й декаде марта, когда формировались линные залежки разновозрастного зверя. При наличии сильных ветров в умеренные зимы может происходить перемещение детных залежек, что наблюдалось в 1987 г.

Зима 1987 г. отличалась от зимы 1984 г. большей продолжительностью и более южным положением кромки льдов, что обусловило некоторое смещение детных залежек южнее (рис. 16.2 *а*). В 1-й декаде февраля в результате преобладающих северо-западных ветров залежки между островами Кулалы и Малым Жемчужным сдвинуло ближе к о. Кулалы и одновременно разбило их на мелкие группы, которые оставались здесь до окончания детного периода, а на Гурьевской бороздине до распада льдов (рис. 16.2 *б*). Здесь же прошла линька молодняка и взрослого зверя. В данном случае это не отразилось на выживаемости приплода.

В умеренные зимы негативные последствия могут быть при резком потеплении. Так, в 1979 г. ледовые и метеорологические условия были аномальными. Детные залежки стали формироваться в начале февраля примерно в тех же местах, что и в 1984 и 1987 гг. Однако во время массовой щенки произошло резкое потепление, продлившееся весь февраль. В результате чего льды стали таять и разрушаться. Штормовые ветры, туманы, дожди способствовали таянию и разрушению льда и кромка подвижных льдов и уторы стали сокращаться (рис. 16.3). Через неделю (14—15 февраля) детных залежек западнее и северо-западнее о. Кулалы не стало. Ледяной массив с небольшими детными залежками сохранился лишь северо-восточнее о. Кулалы. Такая ледовая обстановка отразилась не

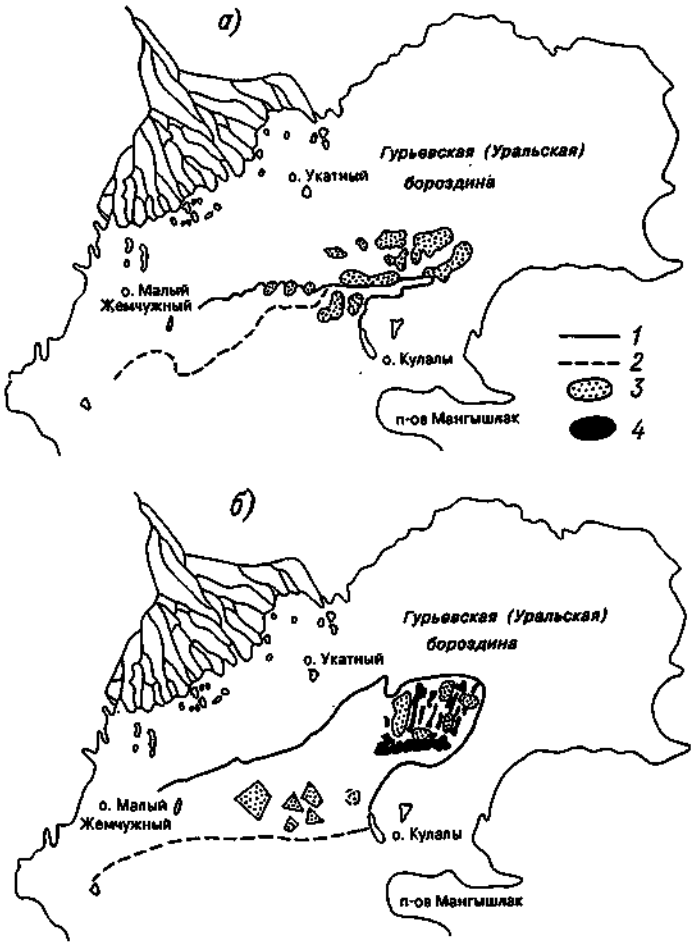


Рис. 16.2. Изменение положения кромки льда и детных залежек в умереную зиму 1987 г.

а — 25—29 января; *б* — 5—13 февраля.
Условные обозначения см. на рис. 16.1.

Рис. 16.3. Изменение положения кромки подвижного льда на на протяжении умеренной зимы 1979 г.

1 — 30 января; *2* — 10 февраля; *3* — 15 февраля; *4* — кромка неподвижного льда (уторы).

только на щенке, формировании детных залежек, но и на выживаемости приплода.

В зиму 1971 г. состояние льдов также часто менялось в зависимости от метеорологических условий, однако резкое понижение температуры во второй половине февраля, наоборот, способствова-

ло сохранению залежек примерно в прежнем положении до конца зимы.

Для суровых зим (1969, 1972, 1977, 1980, 1985, 1988 гг.) характерен ранний ледостав (в 3-й декаде ноября). В такие зимы кромка неподвижного крепкого льда и дрейфующего битого льда проходит от п-ова Мангышлак на запад до о. Чечень, а в отдельные годы до г. Махачкалы. К началу массовой щенки на Гурьевской бороздине образуется сплошной (90—100 %) 10-балльный крепкий лед толщиной до 40 см. Разводья замерзают и это препятствует продвижению щенных самок в глубь района. Поэтому детные залежки концентрируются в юго-западной и центральной частях Северного Каспия, как это наблюдалось типичной суровой зимой 1972 г. (рис. 16.4).

В эту зиму огромная акватория между двумя кромками была покрыта тонким, сильно заторошенным льдом сплоченностью 8—10 баллов. Щенка проходила на 2—3 сут позднее обычного и на сравнительно тонких подвижных льдах (15—20 см). Детные залежки концентрировались ближе к кромке мелкобитых подвижных льдов, главным образом в районах двух банок: Кулалинской и Большой Жемчужной. Однако восточное течение и преобладание северо-восточных, восточных ветров обеспечивало постоянный дрейф подвижных льдов с детными залежками в западном направлении строго по свалу глубин и сопровождалось сильным сжатием и торошением льдов. После 10 февраля с наступлением резкого потепления и усилением ветра начались сильные подвижки и разрушение льда. К 16 февраля залежки раздробило на мелкие скопления, к 19 февраля их вынесло в юго-западном направлении в район о. Чечень, а отдельные даже южнее. Однако наступившее затем похолодание и ослабление ветра приостановило вынос залежек и способствовало сохранению их в данном районе до окончания детного периода.

Для суровых зим характерно преобладание ветров восточных румбов. Поэтому в такие зимы часто происходит вынос ледяных полей с тюленями к западному побережью, где они попадают в струю постоянного кругового течения и дрейфуют на юг.

Рис. 16.4. Распределение детных залежек каспийского тюленя в суровую зиму 1972 г. (5—19 февраля).

Условные обозначения см. на рис. 16.1.

Зима 1988 г. была показательной в отношении влияния ветрового режима на формирование и дислокацию детных и линных залежек каспийского тюленя. Первые щенные залежки в районе б-ки Ракушечной (Горбачек) образовались 26 января и до 28 января здесь продолжалось накопление беременных самок вдоль кромки припая. Однако штормовые ветры 29—30 января, которые продолжались с интервалами вплоть до 4 февраля, разбили и перемешали льды с залежками тюленей и оторвали часть кромки припая (рис. 16.5). В связи с гидрометеорологической обстановкой массовая щенка прошла с опозданием на 5—6 сут (5—6 февраля). В 3-й декаде февраля 1988 г. подвижные льды с детными залежками под действием продолжительных ветров восточного и юго-восточного направлений были вынесены от б-ки Ракушечной в юго-западную часть Северного Каспия до прорези Терского канала. При смене ветров на северные и северо-западные залежки сиваря и линного тюленя отжало от берега за период с 27 февраля по 3 марта. Разрушающиеся льды сместились под

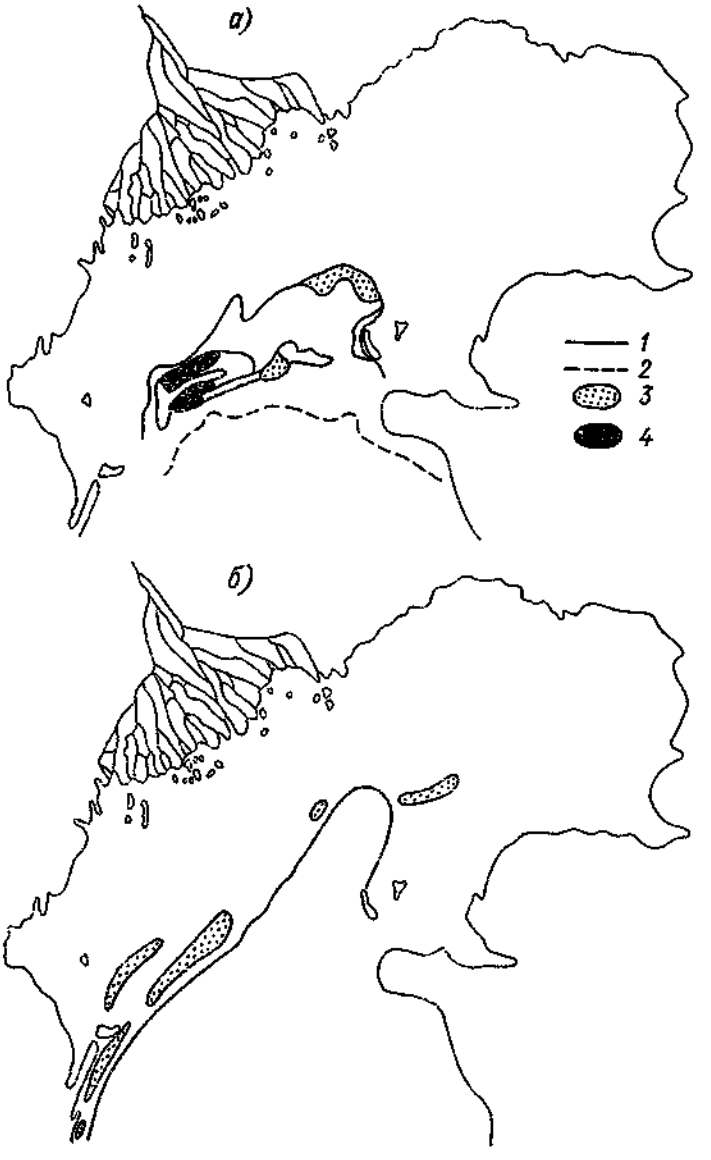


Рис. 16.5. Изменение положения детных залежек каспийского тюленя в суровую зиму 1988 г.

а — 13 февраля; *б* — 3 марта.
Условные обозначения см. на рис. 16.1.

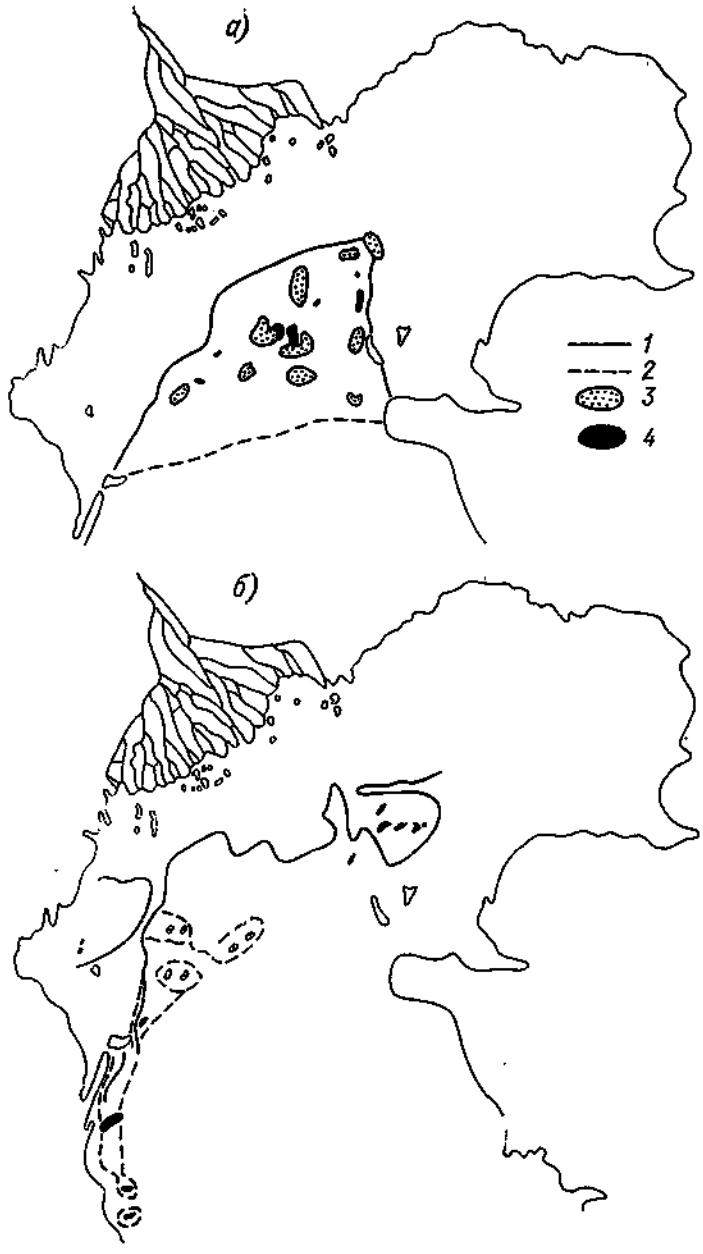


Рис. 16.6. Изменение положения кромки льда и распределение детных залежек на протяжении суровой зимы 1969 г.

а — 28 января — 5 февраля; *б* — 26 февраля — 6 марта. Условные обозначения см. на рис. 16.1.

действием течений южнее Махачкалы и Избербаша (рис. 16.5 *б*).

Особенно сильный вынос детных залежек тюленя на юг был в 1969 г. Зима этого года по ледовым и метеорологическим условиям была не просто суровой, а аномальной. Кромка подвижного льда проходила значительно южнее по сравнению с другими годами. Она начиналась южнее о. Чечень, поднималась на северо-восток до б-ки Большой Жемчужной и уходила на юго-востоке южнее п-ова Мангышлак (рис. 16.6 *а*). Большие концентрации зверя первоначально были в западной части Северного Каспия, в районе Средней и Большой Жемчужной банок. Небольшие залежки были между б-кой Ракушечной (Горбачек) и северной оконечностью о. Кулалы. На Гурьевской бороздине отмечены лишь единичные самки. С 3 по 5 февраля под действием северных и северо-восточеых ветпод действием северных и северо-восточных ветнесло к б-ке Большой Жемчужной. Залежки стали разреженными. К 10—11 февраля в результате подвижки льдов в центральной и западной части Северного Каспия залежки, находившиеся северо-западнее о. Кулалы, вынесло в район Кулалинской банки, а на месте крепких льдов образовался лед молодик. Значительно южнее вынесло льды с детным зверем с западной части ледяного покрова и сместило их в район б-ка Большая Жемчужная — м. Лопатино и далее до м. Сулак. Залежки, прижатые к припаю восточным ветром, находились на мелкобитых льдах сплоченностью 9—10 баллов. На б-ке Большой Жемчужной густые залежки (шириной до 5—7 км) распределялись как на мелкобитых, так и на крупных ледяных полях около лунок и разводий. К 16 февраля ветрами северо-восточного направления лед еще сильнее сплотило, он смерзся, образовав сплошной ледяной массив. К 26—27 февраля на юго-западе образовалась почти сплошная большая детная залежка линного белька и сиваря протяженностью от б-ки Большой Жемчужной до м. Сулак и даже южнее (рис. 16.6 *б*). В первых числах марта с потеплением и уменьшением силы ветра льды растащило и взрослый тюлень вместе с сиварем стал переходить со сплошного старого льда на плавающие льды, ближе к трещинам. Залежки вынесло вдоль западного побережья до Махачкалы, Дербента и южнее. 6 марта залежки сиваря стали распадаться.

Совершенно нетипичная дислокация детных залежек наблюдалась в 1985 г. Зима была также суровая, с ранним и продолжительным ледоставом. Максимального среднего многолетнего положения кромка льда достигала уже 22—23 января и проходила по 15-метровой изобате. Однако этот год по характеру ледовых и метеорологических условий был аномальным. В период начала массовой щенки (с 28 января по 3 февраля) произошло резкое потепление, которое привело к уменьшению льда и появлению на Гурьевской бороздине большого количества разводий и трещин, по которым щенные самки проникали далеко на северо-восток. В результате залежки сформировались, в отличие от других лет, главным образом на Гурьевской бороздине. Немногочисленные залежки из района б-ки Ракушечной (Горбачек) в 1-й декаде февраля вынесло штормовыми ветрами западных румбов под о. Кулалы. Затем со сменой ветра на северо-восточный отдельные ледовые поля с залежками тюленей были прибиты к берегу в районе Махачкалы. На Гурьевской бороздине детные залежки сохранились до конца детного периода. Из-за продолжительного ледового периода и большого расстояния до кромки льдов перелинявший приплод (сиварь) поздно перешел на самостоятельное питание. Часть из этих тюленей вообще не смогла добраться до воды. В результате штормовых ветров и обильного снегопада они потеряли ориентир и 12—14 марта вышли на побережье п-ова Бузачи в северо-восточной части Северного Каспия. В районе поселков Карамжабас и Каламкам было зафиксировано 45—65 животных, а в северо-восточном районе Северного Каспия в поселках Жанаталак, Забурунье и Джамбай — 100—115 животных. Отдельные особи оказались на расстоянии 30—40 км от воды. Большая часть таких животных, повидимому, погибла.

В теплые, мягкие зимы (1976, 1981, 1989 гг.) льды покрывают в основном Гурьевскую бороздину

й кромка льда проходит от о. Кулалы на север, далее на запад по мелководью. При такой ледовой обстановке детные залежки располагаются только на Гурьевской бороздине: либо в северо-восточной ее части (в 1981 г.), либо по всей акватории (1976 и 1989 гг.).

Зима 1989 г. была наиболее показательной для обычных теплых зим ледовитостью 50—60 %. Пригодные ледовые поля для щенения самок сформировались на Гурьевской бороздине только в первых числах февраля. Щенка прошла на 3—5 сут позднее обычного. Сплоченность льдов была 6—9 баллов. При такой ледовой обстановке детные залежки сформировались по всей Гурьевской бороздине, но были сильно разбросаны в виде небольших скоплений (по 25—100 голов). Несмотря на то что большая часть самок щенилась на тонких мелкобитых льдах, лактация, развитие и линька приплода протекала в благоприятных условиях, так как во 2-й декаде февраля наступило похолодание. Преобладающие северо-западные и западные ветры способствовали уплотнению, торошению льдов, и сохранению детных залежек от выноса в открытое море. Залежки здесь сохранились до окончания детного периода. Здесь же на оставшихся отдельно плавающих льдах образовались линные залежки основного стада. Однако преждевременное исчезновение льдов (в 1-й декаде марта) заставило тюленей сконцентрироваться на островах для завершения линьки.

Зима 1981 г. была аномально теплой, с поздним и слабым ледоставом. Ледовитость Северного Каспия составила всего 40 %, что на 28 % меньше средней многолетней для теплых зим. Ледовая кромка припая проходила по 3-метровой изобате (по линии о. Укатный на восток до траверза авандельты Урала и на о. Кулалы). В центральной и южной частях Гурьевской бороздины льда не было. Пригодные для щенки льды сформировались в 1-й декаде февраля в северной части Гурьевской бороздины. Массовая щенка запоздала на 5—6 сут. К 6 февраля еще встречалось 8—10 % неощенившихся самок. Часть самок щенилась на мелкобитых тонких льдах. Залежки концентрировались в северной части Гурьевской бороздины. Расположение детных залежек сохранялось без изменения до конца детного периода. В марте 1981 г. началось интенсивное таяние льдов. Сплошная кромка уже отсутствовала. Залежки с сиварем немного сместились восточнее, но еще сохранились на рассредоточенных отдельных подвижных льдах. Здесь же сформировались и линные залежки взрослого зверя, которые с изчезновением льда во 2-й декаде марта перешли на песчаные острова, где прибывали до окончания линьки.

Таким образом, расположение детных залежек тюленя в Северном Каспии определяется суровостью зимы, ледовой обстановкой и метеорологическими условиями. В умеренные зимы залежки обычно располагаются в трех районах: юго-западном, центральном и на Гурьевской бороздине. В суровые зимы мощный крепкий лед на Гурьевской бороздине препятствует продвижению щенных самок в глубь района и залежки образуются только в двух районах. В мягкие зимы льды, пригодные для размножения тюленя, образуются лишь на Гурьевской бороздине. Наиболее существенные изменения в схему распределения залежек вносят ветра восточных румбов, господствующие в суровые зимы, которые перемещают льдины с тюленями на запад, где они подхватываются круговым течением и сносятся на юг. В умеренные и мягкие зимы господствуют ветра западных румбов, которые приводят к некоторым изменениям распределения тюленей, но не имеют столь пагубных, как в суровые зимы, последствий. В большей степени на распределение залежек в умеренные и мягкие зимы влияет потепление в детный период.

16.3. Влияние ледовых и погодных условий на развитие и выживаемость приплода тюленя

Изменение ледовых условий в детный период может приводить к гибели приплода тюленя. Под влиянием сильных ветров в районе залежек происходят подвижки, сжатие и перераспределение льдов, что сопровождается задавливанием детенышей льдами. Во время подвижки льдов в 1971 г. на экспериментальных залежках было зарегистрировано 0,7 % погибших бельков из 300 шт., а в 1972 г. — 1,2 % из 412 шт. Более высокая смертность в подобных условиях наблюдалась в 1977 и 1978 гг., когда раздавленные бельки составили 6 и 9 % соответственно [64]. В лучшем положении оказываются те залежки, которые располагаются ближе к кромке крепкого льда (утора). По наблюдениям в 1979 г., гибель от подвижки льдов была выше на слабых торосистых льдах (2,4—2,8 %), чем на более крепких, гладких припайных льдах (0,8 %). Поскольку учет погибших бельков не включает особей, оказавшихся подо льдом, то приведенные значения являются минимальными, а фактические должны быть значительно выше.

Гибель приплода наблюдается также при выносе большого количества детных залежек на крупных или мелких полях льда к кромке (1977, 1978, 1979 гг.) или в открытое море (1973, 1979, 1988 гг.). При этом льды разбиваются штормом, они быстро тают, а детеныши оказываются в воде. Однако размеры потерь в этом случае установить не удается.

Подобные изменения ледовых условий, помимо гибели бельков, влекут за собой нарушение режима их молочного кормления. При выносе детных залежек на кромку самки часто теряют своих детенышей, происходит уменьшение частоты и длительности кормления, а также длительности лактационного периода. Все это приводит к истощению части приплода.

Специальные наблюдения в 1971 и 1972 г. показали, что продолжительность кормления детенышей молоком, помимо ледовых условий, определяется также индивидуальными особенностями каждой самки и погодными условиями. Обычно самки кормят молоком щенков 2—3 раза в день. При продолжительности кормления 8—22 мин все щенки развиваются нормально. У самок, кормящих 3—7 мин, детеныши отставали в росте и в последствии наблюдалось увеличение процента истощенных особей [55]. В табл. 16.3 показана длительность кормления при разной погоде. Видно, что время кормления уменьшалось в более холодные дни, при сильных ветрах с поземкой. Бельки на малозаторошенных открытых льдах собирались в кучи и их заносило снегом. В этих условиях сам-

Таблица 16.3

Длительность разового кормления молоком детенышей каспийского тюленя в зависимости от погодных условий (по данным 1971, 1972 гг.)

Состояние неба	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С	Продолжительность кормления, мин
Облачно	В	2—3	—2	10—22
Ясно	В	2—3	—5	10—18
Ясно	СВ	5—6	—3	8—17
Пасмурно	ВЮВ	9—10	—6	4—15
Ясно	Штиль	0	—18...—25	6—13
Ясно	СЗ с поземкой	15—20	—12...—15	3—7
Ясно	ССВ с поземкой	10—15	—10...—14	4—5

ки большее время находятся в воде. Они выходят на лед на очень короткий срок, только на кормление. Если поблизости не оказывалось детеныша, самка тут же уходила в воду. Это было вызвано, вероятно, боязнью остаться отрезанной от воды или застрять в обмерзшей лунке. В ветреную погоду с поземкой лед по краям лунок намерзал значительно быстрее обычного и часто самки, накормив детенышей, с трудом пролезали через лунку, а были случаи, когда тюлени застревали в ней и замерзали [55]. В такие холодные и ветреные дни самки кормили щенков непродолжительное время (4—5 мин). На залежках слышался стон полуголодных бельков. Детеныши расползались по торосам в поисках своих матерей, некоторые из них уползали на несколько сот метров от своих мест.

В зависимости от условий молочного кормления изменяется темп роста приплода тюленей. У нормально развивающихся детенышей ежедневный прирост составляет в первые дни лактации 400—500 г, а в начале второй половины лактации — 600—800 г. При первоначальной массе 4,9—5,5 кг детеныш за 10—15 сут молочного кормления увеличивает ее до 11,7—14,7 кг, т. е. в 2,5—3 раза [55]. Однако средние данные по отдельным выборкам оказываются ниже этих значений (табл. 16.4). Так, за 3 сут (9—12 февраля) периода наиболее интенсивного роста в 1984 и 1985 гг. средний суточный прирост составил всего 367 г, а за месяц (9 февраля — 9 марта) — 243 и 261 г. Это связано с тем, что в выборку попадали особи с разным темпом роста, наблюдался разброс данных по массе тела в 2—3 раза, что нашло отражение в значении среднего квадратического отклонения σ. Наиболее низкие значения средней массы для всех периодов исследованных лет были в суровую зиму 1985 г., с аномальными погодными и ледовыми условиями. Резкое потепление в начале массовой щенки, а затем сильные штормовые ветры переменного направления вызвали взламывание, подвижки и деформацию льдов, перемещивание и вынос детных залежек. В такой ситуации самки теряли своих детенышей, что нарушало режим молочного выкармливания приплода и отразилось на его развитии. Кроме того, это привело к нетипичному для суровых зим расположению детных залежек на Гурьевской бороздине, где они оказались далеко от кромки льда. В результате перелинявший приплод (сиварь) поздно перешел на самостоятельное питание, а часть вообще не смогла достичь воды и вышла на побережье.

Во все годы исследований в выборках щенков присутствовали отстающие в развитии, истощенные особи, так называемые заморыши. В годы с благоприятным режимом (1978, 1970 и др.) заморышей бывает обычно 2,5—3,5 %. Неблагоприятные условия в период молочного кормления в 1971 и 1972 гг. обусловили увеличение их доли в популяции. В эти годы в конце периода лактации (20 февраля) заморыши составили 13,3 % (1971) и 9,9 % (1972).

Замечено, что часть ослабленных и истощенных детенышей погибает к концу лактационного периода или в стадии сиваря. Общая гибель среди учтенных бельков-заморышей на 20 февраля 1971 г. составила 35 %, а в 1972 г. — 31 % [55]. Оставшаяся часть истощенных бельков линяет и переходит в стадию сиваря. Всего 5—7 % истощенных сиварей доживает до стадии сеголеток. Они погибают чаще весной и реже летом или осенью [64]. Так, весной и осенью на песчаных островах Северного Каспия встречались сеголетки-заморыши, еле передвигавшиеся по суше. Через несколько дней мы находили их уже мертвыми.

Общая гибель приплода от разных причин за лактационный и линочный периоды (30 января — 10 марта) составляет, по многолетним данным, 10—15 % [64]. В 1979 г. была сделана попытка оценить роль отдельных факторов в этом процессе. Было обследовано 572 детеныша. Общая смерт-

Таблица 16.4

Изменение экстерьерных показателей приплода каспийского тюленя за 1984, 1985 (по [32]) и 1987, 1989 гг. (по неопубликованным данным КаспНИРХа)

Дата	Количество измеренных особей	Масса тела, кг		Толщина подкожного сала, см		Зоологическая длина, см	
		пределы изменений	среднее ±σ	пределы изменений	среднее ±σ	пределы изменений	среднее ±σ
Белек							
9 II 1984	15	3,0—6,7	4,7 ± 1,27	0,4—1,5	0,89 ± 1,12	65—83	74,7 ± 2,35
9 III 1985	30	3,0—8,4	4,5 ± 1,58	0,4—2,5	0,80 ± 1,37	65—87	71,7 ± 2,27
9 III 1987	20	3,2—13,4	6,2 ± 2,17	0,3—1,5	0,95 ± 2,15	71—87	76,3 ± 2,14
12 II 1984	10	4,1—10,1	6,8 ± 2,27	0,6—2,5	1,0 ± 1,25	64—86	75,4 ± 2,32
12 II 1985	30	3,5—10,8	5,6 ± 2,35	0,7—3,0	1,2 ± 1,47	63—84	75,0 ± 2,83
12 II 1989	28	3,3—11,2	6,9 ± 2,8	—	—	74—88	78,2 ± 2,73
Сиварь							
9 III 1984	11	7,2—18	12,0 ± 2,7	2,0—5,0	3,7 ± 1,68	77—98	85,0 ± 2,27
9 II 1985	10	8,3—17	11,3 ± 2,8	2,5—5,0	3,9 ± 1,8	73—93	83,0 ± 3,05
9 II 1987	11	10,4—20,8	15,8 ± 2,6	3,5—5,0	4,7	82—95	88,5 ± 2,47

ность белька в этом году на осмотренных залежках колебалась в пределах 2,4—12,5 %. От механического повреждения льдами погибло 0,8—2,8 %, от истощения — 2,2—8,3 %, от орлана белохвоста 0,8—8,5 %. Как уже отмечалось, на более слабых подвижных торосистых льдах гибель бельков от задавливания льдами была значительно выше, чем на более крепких, но гладких припайных льдах. От истощения и орлана белохвоста, напротив, погибало больше детенышей на припайных гладких крепких льдах (8,3—8,5 %) и меньше — на торосистых (2,9—7,1 %), где у детенышей была возможность укрыться от непогоды и хищников. В 1979 г. как ни в одном другом году, на детных залежках часто встречались чисто обклеванные скелеты и шкуры детенышей. Иногда на одной залежке их можно было насчитать от 3 до 5, находящихся вблизи друг от друга. Ежегодно в апреле — мае (после таяния льдов) в Северном Каспии на побережье островов Кулалы, Малого Жемчужного и в районе б-ки Баутино выбрасывает погибших тюленей, большей частью бельков и сиварей. В неблагоприятные для развития приплода годы (1971, 1972, 1977 и 1979) выбросы были массовыми. В эти годы большое количество выбросов сиварей и сеголеток было обнаружено даже на северном побережье Апшеронского полуострова [127].

Многолетние наблюдения показывают, что ледовые и погодные условия влияют не только на рост, линьку и смертность приплода, но и на линьку и гибель взрослых тюленей. В средние и суровые зимы, как правило, линька взрослых животных полностью протекает на льдах, что было отмечено в 1969, 1972, 1984 и другие годы. В более мягкие или аномальные зимы (1979, 1981 и 1989 гг.) при раннем исчезновении льдов (в первой или второй половине марта) животные завершают линьку на песчаных островах. В этих случаях она затягивается до середины мая и в результате сокращается срок нагульного периода. Самки не успевают набрать нормальную упитанность, что отражается на воспроизводительной способности текущего года, а, возможно, и будущего года.

Таким образом, ледовые и метеорологические условия определяют эффективность воспроизводства каспийского тюленя.

16.4. Влияние ледовых и метеорологических условий на промысел каспийского тюленя

Каспийский тюлень с давних времен является важным объектом зверобойного промысла. Особую ценность представляют шкурки приплода (белька, сиваря), дающие меховое сырье, которое пользуется большим спросом как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Тюлений жир используется в технических маслах и ветеринарии, мясо — на корм пушного зверя и на птицефермах.

В прошлом веке и в начале текущего столетия ежегодно выбой составлял в среднем 115 тыс. животных, а наибольшая добыча достигала 300 тыс. голов [14]. Интенсивный промысел велся в 1933—1940 гг., когда в среднем за год добывалось 165 тыс., а в отдельные годы — до 228 тыс. тюленей.

После зарегулирования Волги численность тюленя резко сократилась. Для сохранения его запасов были приняты особые охранные меры по регулированию промысла. В 1966 г. была запрещена добыча самок в зимнее время, а в 1967 г. — добыча на береговых залежках животных разного пола и возраста. С этого момента объектом промысла становятся только бельки и сивари. Начиная с 1970 г. устанавливается рекомендованный наукой лимит добычи приплода, который по мере снижения численности основного стада постепенно уменьшается с 70 до 40 тыс. шт. (табл. 16.5). Промысел ведется на льдах в жесткие сроки: белька — с 1 по 15 февраля, сиваря — с 1 по 15 марта.

Таблица 16.5

Динамика добычи каспийского тюленя (по данным КаспНИРХа)

Год	Лимит, тыс. шт.	Добыча		Количество судов на промысле	Эффективность добычи, шт./судо-сутки	
		тыс. шт.	% от лимита		белька	сиваря
1966	—	86,2	—	30	—	—
1969	—	58,2	—	29	—	—
1970	70	69,2	99	29	—	—
1971	60	41,7	70	27	—	—
1972	60	52,2	87	22	—	—
1973	60	60,0	100	23	—	—
1974	50	50,0	100	18	—	—
1975	50	50,0	100	18	—	—
1976	45	35,2	78	17	—	—
1977	45	25,6	57	14	—	—
1978	45	19,2	43	9	—	—
1979	45	18,0	40	5	—	—
1980	45	16,3	36	4	—	—
1981	45	20,5	46	5	244	92
1982	45	19,8	44	5	103	81
1983	45	19,2	43	4	281	77
1984	40	20,5	51	5	159	96
1985	40	14,5	36	4	153	63
1986	40	21,5	54	4	206	164
1987	40	39,3	98	8	215	103
1988	40	26,0	65	7—8	180	42
1989	40	26,3	66	8	150	79

С 1978 г. ежегодно в авандельтах рек Волги и Урала проводится санитарная выбраковка больных животных псевдомфистомозом (гельминтозное заболевание), а также выбой старых животных и истощенных особей разных возрастов в пределах 3—5 тыс. шт. В последние годы в связи со снижением численности основного стада, а также ряда негативных явлений в структуре популяции лимит добычи каспийского тюленя снижен с 40 до 30 тыс., а в 1990 г. и в последующем — до 25 тыс. белька, сиваря и 3 тыс. разновозрастных животных.

Результаты промысла белька и сиваря на льдах Северного Каспия зависят в первую очередь от материальной базы зверобойного флота, т. е. от мощности и численности зверобойных судов, осуществляющих добычу зверя. Однако ледовые и погодные условия также значительно влияют на его результаты.

В 60—70-х годах промысел велся с деревянных маломощных судов — моторных рыбниц РС-80, которые могли продвигаться только по разводьям. Из-за сильных подвижек и сжатий льда суда часто получали серьезные повреждения

и покидали район промысла. Иногда их затирало льдами и они вмерзали в лед или тонули. В последнее десятилетие (начиная с 1981 г.) на промысле были введены специализированные зверобойные суда ледового класса (проект 2035 ЭРСТ, серия «Тюлень»), имеющие усиленную ледовую обшивку корпуса. Однако в суровые ветреные зимы с тяжелыми льдами и малым количеством разводий и полыней (сплоченность льдов 8—10 баллов) подвижки и сжатия льдов также значительно осложняют промысел и снижают его результативность.

Анализ динамики добычи мехового зверя за ряд лет (см. табл. 16.5) и сопоставление ее с ледовыми и погодными условиями показал, что наиболее эффективной добыча белька по среднесуточным данным в расчете на одно судно была при слабом ледяном покрове толщиной 12—30 см. Это относится к 1981, 1983, 1986 и 1987 гг., когда были получены максимальные значения — 206—281 шт./судо-сутки. В тех случаях, когда такие ледовые условия сохранялись и в марте, добыча сиваря также проходнла с высокой эффективностью — 92—164 шт./судо-сутки. Исключением был 1989 г. В отличие от прочих лет, звери в этот год были рассредоточены на большой площади. Поэтому, несмотря на благоприятную ледовую обстановку, позволявшую судам свободно передвигаться во льдах, много времени уходило на поиски зверя и переходы судов из одного района в другой.

Кроме того, имели место сгонно-нагонные явления, подвижки и торошение льда. Раннее разрушение льда осложнило также промысел сиваря. Из-за непогоды за весь промысловый сезон было недоиспользовано 53 судо-суток. На промысле белька простой составил 30 % рабочего времени, на промысле сиваря — 10 %. Вследствие дополнительного расхода времени и простоя судов эффективность промысла снизилась до 150 для белков и до 79 для сиваря.

Наиболее благоприятными для промысла ледовая обстановка, метеорологические условия и размещение залежек были в 1966 г. Зима была на редкость мягкая и маловетреная. К началу массовой щенки зверя ледяной покров занимал лишь восточную половину Северного Каспия. Щенные залежки концентрировались вблизи «подсовов», на которых впоследствии образовались необычные для Каспия густые плотные детные залежки. Благодаря слабости ледяного покрова в районе детных залежек маневренность зверобойных судов была настолько невелика, что они, легко перейдя от одной залежки к другой, практически полностью выбили приплод текущего года [13, 14]. Введение лимита на добычу тюленя в последующие годы исключило возможность повторения подобной ситуации.

16.5. Влияние антропогенных факторов на состояние популяции каспийского тюленя

Численность популяции тюленя в период до зарегулирования стока рек оценивалась приблизительно в 1 млн голов. В 60—70-х годах она сократилась до 520—560 тыс. Охранные меры, действующие на протяжении 20 лет, и слабый промысел в течение последних 10 лет давали надежду на значительный рост численности стада, однако этого не произошло. По данным аэрофотосъемок, проведенных в 80-х годах, численность тюленя продолжает снижаться: 1980 г. — 450 тыс. шт., 1986 г. — 400 тыс. шт., 1989 г. — 360 тыс. шт., с учетом южной субпопуляции, которая оценивается приблизительно в 15 тыс. шт. Одновременно было отмечено уменьшение численности размножающихся самок: 1980 г. — 106 тыс. шт., 1986 г. — 60 тыс. шт., 1987 г. — 90 тыс. шт., 1986 — 80 тыс. шт. Наблюдается также ряд негативных изменений в состоянии популяции, которые выявлены на материалах осенних отстрелов разновозрастного зверя в авандельтах Урала (1978—1985 гг.) и Волги (1986—1989 гг.).

В популяции тюленя в 1986—1987 гг. преобладали половозрелые особи, составляющие 63—81 % среди самок и 60—71 % среди самцов (табл. 16.6). В этой группе доминировали особи в возрасте 6—20 лет, более старшие (21—30 лет) — составляли незначительную часть, а старше 30 лет — встречались единично. Низкий процент неполовозрелых особей говорит о снижении темпов пополнения маточного поголовья в стаде. Особенно настораживает снижение относительной численности молодых самок в возрасте 2—5 лет, которые составили в последние годы 6 % общего количества самок против 24 % в 1964—1971 гг. и 13 % в 1978—1985 гг. Уменьшилось также относительное количество беременных самок, впервые вступающих в размножение (6—7 лет), до 7,6 %.

В группе неполовозрелых особей наблюдается резкое изменение полового состава. По данным

Таблица 16.6

Возрастной и половой состав стада тюленя в авандельте Волги

Группа	Возрастной состав, %				1986 г.			1987 г.		
	Самки		Самцы		Половой состав, %		Общее количество особей	Половой состав, %		Общее количество особей
	1986 г.	1987 г.	1986 г.	1987 г.	Самки	Самцы		Самки	Самцы	
Неполовозрелые	36,9	19,4	39,6	28,8	28,8	71,2	59	32,0	68,0	100
В том числе в возрасте:										
9 мес	30,4	13,3	8,5	8,0	60,9	39,1	23	53,7	46,3	41
2—5 лет	6,5	6,1	—	—	8,3	—	36	16,9	—	59
2—6 лет	—	—	31,1	20,8	—	91,7		—	83,1	
Половозрелые	63,1	80,6	60,4	71,2	31,2	68,8	93	44,2	55,8	301
Объем выборки, шт.	46	165	106	236	—	—	152	—	—	401

представительной выборки 1987 г., на первом году жизни самок немного больше, чем самцов (54 %), а в возрасте 2—6 лет их относительное количество снижается до 17 % (см. табл. 16.6). Это говорит о более высокой смертности самок в первые годы жизни. Одновременно происходит значительное снижение воспроизводительной способности популяции тюленей. Отмечено большое количество самок, абортировавших и с резорбирующим зародышем на ранних стадиях эмбриогенеза. Примерно половина половозрелых самок яловые (табл. 16.7).

Таблица 16.7

Соотношение (%) половозрелых самок разного физиологического состояния в авандельтах Волги и Урала

Физиологическое состояние	Волга			Урал
	1986 г.	1987 г.	1989 г.	1978—1985 гг.
Беременные	44,7	42,6	36,0	21,3—50,0
Абортировавшие	21,1	8,5	23,0	5,2—26,4
С резорбирующим зародышем	—	1,6	—	1,3—3,9
Яловые	34,2	47,3	41,0	39,8—59,8
Объем проб, шт.	38	129	22	—

Основную роль в снижении воспроизводительного потенциала каспийского тюленя играет загрязнение среды обитания отходами промышленного и сельскохозяйственного производства (Крылов и др., 1990). Известно, что значительное сокращение популяции серого тюленя в Балтийском море и снижение его воспроизводительной способности сопровождалось накоплением в его органах и тканях высоких концентраций хлорорганических пестицидов, ПХБ и токсичных химических элементов [135, 136]. При уровне ДДТ и ПХБ 70 млн$^{-1}$ и выше в подкожном сале у половозрелых самок отмечены окклюзия и стеноз (закупорка и сужение) яйцеводов в рогах матки. Среди этих особей 80 % утрачивали способность к воспроизводству и только 20 % самок имели нормальную репродуктивную систему. Экспериментально установлено, что введение беременным норкам дозы ПХБ 70 млн$^{-1}$ приводит к абортированию, резорбированию и мацерированию эмбрионов. Впоследствии у норок происходит окклюзия и стеноз яйцеводов. Высокое содержание тяжелых металлов (ртути, кадмия, свинца) в органах вызывает уродство скелета [134].

У каспийского тюленя исследование содержания токсических веществ в органах и тканях было проведено в 1978—1988 гг. Анализы показали, что уровень накопления хлорорганических соединений в подкожном слое сала составил: в Северном Каспии у сеголеток — 35—38 млн$^{-1}$, у неполовозрелых и взрослых животных — 2—44 млн$^{-1}$, в Южном Каспии — 5—6 млн$^{-1}$. Уровень содержания тяжелых металлов в печени, главным образом ртути, был значительно больше у тюленей в Южном Каспии (2—23 млн$^{-1}$), чем в Северном (2—6 млн$^{-1}$). Более высокое содержание токсикантов наблюдалось у самок яловых, абортировавших и с различной патологией.

Концентрация токсических веществ у каспийского тюленя несколько ниже, чем у балтийского. У него не наблюдается ни окклюзии, ни стеноза в рогах матки. Но отмеченная у каспийского тюленя повышенная яловость, аборты, резорбция, а также цирроз печени, деформация когтей, несомненно, являются следствием накопления в его органах и тканях токсических веществ.

Определенное влияние на популяцию каспийского тюленя оказывает также нефтяное загрязнение. Замечено, что в результате загрязнения нефтью западной части Южного Каспия тюлени перестали выходить на острова около Апшеронского полуострова, что сократило район их обитания.

Другой причиной деградации популяции каспийского тюленя является изменение его трофических условий. В результате интенсивного рыболовства и снижения запасов анчоусовидной кильки — основного объекта питания в период летнего нагула — за последние 10 лет ухудшилась его кормовая база. Следствием этого стало снижение массы пищевого комка, падение упитанности тюленей, ухудшение их экстерьерных показателей. В период 1978—1986 гг. у всех возрастных групп животных обоего пола толщина подкожного слоя сала снизилась на 11—16 % [60].

Негативное влияние на популяцию тюленя, несомненно, оказывает промысловая авиаразведка детных залежек. В течение всего лактационного периода над детными залежками ежедневно по 8 ч летает самолет (Ан-30) на высоте 150—200 м и вертолет (Ми-8) на высоте 100 м. Это не только приводит тюленей в стрессовое состояние, но и распугивает их. Самки сразу уходят в воду, прерывая кормление детенышей. В результате недокорма детенышей увеличивается количество заморышей и возрастает смертность приплода. Возможно, это сказывается и на состоянии самок. Для снижения стрессовых нагрузок на тюленей следует по возможности сократить частоту полетов промысловой авиаразведки и увеличить высоту полетов до 300 м.

В заключение следует отметить, что межгодовые изменения метеорологических и ледовых условий в период размножения тюленей на льдах Северного Каспия определяют естественную флюктуацию численности его популяции. При воздействии только этих факторов и проведении регулируемого промысла можно было бы поддерживать численность популяции на квазистационарном уровне. Однако накопление в море токсических веществ промышленного и сельскохозяйственного производства привело к снижению воспроизводительной способности популяции. В результате численность ее неуклонно снижается — от 1 млн голов в 50-х годах до 400 и 360 тыс. шт. в 1986 и 1989 гг. соответственно. Воздействие антропогенного загрязнения на популяцию тюленей стало решающим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе впервые удалось объединить материалы по влиянию океанологических факторов на все энергетические уровни экосистемы Каспийского моря.

Основной фактор, определяющий продуктивность этого замкнутого, изолированного от океана моря, — пресноводный сток, большая часть которого (80 %) приходится на Северный Каспий. Действие речного стока проявляется многогранно. С одной стороны, он поставляет в море биогенные элементы со всего обширного водосборного бассейна, с другой — определяет режим солености в предустьевых районах и в мелководном Северном Каспии. Под влиянием биогенного стока и солености формируются условия нагула молоди и взрослых рыб в море. Кроме того, от объема и характера речного стока зависят масштабы и эффективность размножения тех рыб, которые нерестятся в дельтах и руслах рек. К ним относятся наиболее ценные в промысловом отношении осетровые и полупроходные рыбы. В данном случае играет роль не только абсолютное значение объема стока, но и сопряженные с ним характеристики: скорость подъема и спада волны половодья, скорость течения и высота уровня в реке, сроки наступления и продолжительность половодья.

Например, для осетровых, размножающихся в русле, скорость течения и высота уровня в реке определяют интенсивность нерестового хода и ската производителей (см. рис. 13.3, 13.4). Эти факторы определяют также продолжительность миграционного периода покатной молоди осетровых и ее размеры (см. табл. 13.5). Для полупроходных рыб, которые размножаются на заливаемых в половодье территориях, важное значение имеют высота уровня и продолжительность половодья, которые закономерно связаны с объемом стока (см. табл. 11.5). От этих факторов зависит площадь залитых нерестилищ и продолжительность их функционирования. Количество молоди воблы и леща на нерестилищах, ее размеры и выживание увеличиваются по мере возрастания объема стока, нерестовых площадей и продолжительности половодья (см. табл. 12.4).

После зарегулирования стока рек произошли существенные изменения в их гидрологическом режиме, что ухудшило условия размножения рыб. Перераспределение стока с весеннего периода на зимний сопровождалось снижением объема паводка на 30 %. Изменился также режим половодья. Раньше его ход в большинстве случаев обеспечивал оптимальные условия для размножения рыб. В период зарегулированного стока нарушилась естественная сопряженность гидрологических элементов половодья. Это особенно проявляется в маловодные годы, когда усиливается регулирование стока. Наблюдается несоответствие между затоплением нерестилищ и прогревом воды в реке. Нерестовые температуры наступают раньше, чем обводняются полои (см. табл. 12.3). Это приводит к изменению сроков и продолжительности нереста, а также к одновременному нкрометанию рыб с разной экологией. Другое следствие регулирования стока — увеличение скорости подъема полых вод в 2 раза по сравнению с естественным периодом. В результате сократилась продолжительность половодья и нагула молоди на нерестилищах (см. табл. 11.5). Кроме того, теперь проточность полоев, как правило, совпадает по времени с выклевом личинок и они выносятся в водотоки дельты на ранних стадиях развития, что приводит к их гибели и снижению численности поколений.

Биогенные элементы, поступающие в море с речным стоком, утилизируются в основном на мелководьях. В Северном Каспии их количество определяет степень развития фитопланктона, а через него и всех последующих звеньев трофической цепи. Гидрохимические условия формирования биологической продуктивности Северного Каспия существенно изменились после создания на Волге водохранилищ. Уменьшилось поступление фосфатов (почти в 2 раза), азота (в 1,5 раза), но увеличилось поступление растворенных органических веществ, что ухудшило условия питания фитопланктона. Эти явления усугубились после падения уровня моря, когда обширное мелководное пространство ниже дельты заросло макрофитами и стало играть роль биофильтра. Здесь аккумулируются взвешенные вещества, потребляются минеральные растворенные биогенные вещества и увеличивается по сравнению с вершиной дельты концентрация органических соединений.

В результате уменьшения объема пресноводного стока и количества поступающих с ним биогенных элементов уменьшилась продуктивность Северного Каспия. На рис. 8.2 и 8.3 приведены зависимости первичной продукции планктона и биомассы диатомовых водорослей от количества фосфора и кремния, поступающих со стоком в половодье. Прослежено также положительное влияние объема половодья на уровень развития в этом районе зоопланктона (см. рис. 9.2), высших ракообразных (см. рис. 10.4) и некоторых моллюсков (см. табл. 10.12) в связи с улучшением трофических условий как за счет увеличения первичной продукции, так и за счет выноса в море детрита из дельты Волги и устьевого взморья.

Распределение солености на мелководьях определяет преимущественное развитие тех или иных экологических комплексов организмов планктона и бентоса, т. е. кормовой базы рыб. Особенно четко это прослеживается на малоподвижных донных животных (см. табл. 10.12). В многоводные годы соленость воды в Северном Каспии снижается и преимущественное развитие получают солоноватоводные моллюски, которые являются основным кормом воблы и отчасти леща. В периоды с низким объемом стока соленость возрастает, что влечет за собой рост биомассы морских форм бентоса. Некоторые из них (нереис, абра, церастодерма, краб) являются главными объектами питания взрослых осетра и севрюги. Но значительная часть биомассы морских организмов не потребляется рыбами (балянус, митилястер), за счет чего возрастает доля некормового бентоса.

От солевого режима Северного Каспия зависит также площадь нагула рыб, которая ограничена предельной для каждого вида соленостью. Ареал полупроходных рыб в многоводные годы возрастает в 1,5—2,6 раза по сравнению с маловодными (см. табл. 12.1).

Особо важное значение для молоди карповых и осетровых рыб имеют распресненные зоны в при-

дельтовых районах, куда молодь попадает с мест размножения. Здесь она адаптируется к морским условиям и откармливается прибрежными организмами слабосолоноватоводного комплекса. При уменьшении стока рек Каспийского бассейна происходит сокращение или даже исчезновение опресненных зон и связанных с ними сообществ бентоса. Это ведет к снижению выживаемости молоди и уменьшению запасов таких промысловых рыб, как вобла, лещ, осетр, севрюга, белуга, шип, судак и др.

Таким образом, объем пресноводного стока может служить интегральной характеристикой условий размножения осетровых и полупроходных рыб и их нагула в Северном Каспии. По мере роста объема стока Волги в половодье от 60 до 110 км³ количество скатывающихся с нерестилищ личинок осетра возрастает примерно в 7 раз, а при дальнейшем увеличении стока — практически не меняется (см. рис. 13.5 *а*). Аналогичная закономерность прослеживается и для личинок волжской севрюги в летнюю межень (см. рис. 13.5 *б*). На р. Урале количество скатившихся личинок севрюги возрастает в 5—6 раз при увеличении годового стока от 3 до 10 км³.

Для полупроходных рыб количество личинок на нерестилищах Волги также зависит от объема стока. При его увеличении от 60 до 150 км³ общая численность личинок воблы возрастает в 7 раз, а леща — в 26 раз (см. табл. 12.4). Урожайность воблы, которая оценивается по количеству сеголетков в Северном Каспии, является максимальной в диапазоне значений объема стока от 110 до 140 км³, внутри которого она несколько варьирует в разные периоды. При более низких и более высоких значениях стока урожайность воблы падает (см. рис. 12.5).

Одна из главных особенностей гидрологического режима Каспийского моря — непостоянство уровенной поверхности. В вековом ходе уровня выделяются периодические колебания различной продолжительности, которые в основном определяются изменениями пресноводного стока. При понижении уровня высыхают и выходят из рыбохозяйственного фонда важнейшие рыбные пастбища. Снижение уровня с 1930 по 1977 г. на 3 м повлекло за собой сокращение площади Северного Каспия почти на 40 %. Критической для рыбного хозяйства является отметка уровня —28,5 м абс. При снижении его ниже этого значения нарушается водообмен между западной и восточной частью Северного Каспия. Это влечет за собой нарушение водно-солевого баланса этой части моря, формирование зон повышенной солености и как следствие этого уменьшение кормовой базы и сокращение нагульных ареалов для рыб. Полученное уравнение зависимости промыслового запаса воблы, леща и судака в Волго-Каспийском регионе от уровня моря и волжского стока (см. п. 11.3) может быть использовано для фоновых прогнозов.

Важное значение для продуктивности мелководных районов моря имеет не только положение уровня, но и скорость его изменения. При повышении или понижении уровня моря происходит отмирание растительных сообществ и обновление участков дна, подверженных волновому воздействию. В результате этих процессов в море поступает дополнительное количество взвешенных и растворенных биогенных веществ. Влияние скорости изменения уровня моря проявляется на связи зоопланктона Северного Каспия со стоком (см. табл. 9.5 и рис. 9.2). Для отдельных периодов с разной скоростью изменения уровня моря связь биомассы зоопланктона со стоком различается.

Таким образом, формирование биологической продуктивности мелководных районов зависит от следующих океанологических факторов: объем и характер пресноводного стока, количество поступающих со стоком биогенных веществ, режим солености, положение и скорость изменения уровня моря.

Биологическая продуктивность глубоководной части моря зависит от иных факторов. Она формируется не за счет поступления биогенных элементов извне, а за счет их перераспределения по вертикали. При определенных океанологических условиях происходит поступление биогенных веществ из нижележащих слоев в эвфотическую зону. Это наблюдается при конвективном перемешивании вод в зимний период, глубина которого уменьшается от 200 м на севере Среднего Каспия до 40—60 м в иранских водах. В соответствии с изменением глубины перемешиваемого слоя меняется количество биогенных элементов, вовлекаемых в биотический круговорот. Прослеживается уменьшение продукции планктона от северных районов к южным. Помимо зимней вертикальной циркуляции, перемешивание вод происходит под действием плотностного стока поверхностных вод в глубинные слои, что обеспечивает вертикальные подвижки водных масс в более глубоких слоях. В отдельные периоды при сочетании низкой зимней температуры и высокой солености водные массы в районе кромки льда приобретают такую высокую плотность, что начинают погружаться по северному склону и могут достигнуть самых больших глубин впадины Среднего Каспия. Это фиксируется по увеличению концентрации кислорода в придонных слоях. Вентиляция глубинных слоев Южного Каспия происходит главным образом благодаря поступлению среднекаспийских вод через Апшеронский порог и опусканию их в Южнокаспийскую впадину.

Компенсационное поступление глубинных вод, обогащенных биогенными веществами, в эвфотический слой приводит к увеличению первичной продукции планктона. Этот процесс впервые прослежен по многолетним материалам изменения биомассы основного планктонного фитофага — эвритеморы (см. рис. 9.7). Максимальная биомасса зафиксирована после повышения солености в Северном Каспии в 30-х и 70-х годах.

Температура — мощный фактор, синхронизирующий сезонное развитие всей биоты. Она регулирует последовательную смену экологических групп организмов. В некоторых случаях температура становится ведущим фактором и определяет количественное развитие гидробионтов. Например, в зимний период повышение концентрации хлорофилла на востоке Среднего Каспия обусловлено повышением температуры воды на несколько градусов за счет адвекции более теплых вод из Южного Каспия (см. рис. 9.6). Второй пример относится к зоопланктону Северного Каспия, для которого получена зависимость биомассы от температуры

воды в период квазистационарного положения уровня (см. рис. 9.3).

От температуры в большой степени зависит эффективность размножения рыб, так как все они имеют очень узкий интервал оптимальной для нереста температуры (см. табл. 11.3). Наиболее чувствительны к воздействию температуры ранние стадии развития. Ее уровень определяет активность энзимов — катализаторов обмена веществ. Отклонения температуры от оптимального уровня приводят к снижению эффективности работы систем, наблюдаются отклонения в развитии и увеличение смертности организмов. Для размножения морских рыб и животных, наряду с температурой, большое значение имеют также гидрометеорологические условия (см. главы 14 и 16).

Мощное воздействие на всю биоту Каспийского моря оказывает возрастающее загрязнение речных и морских вод промышленными отходами и сельскохозяйственными стоками. Зафиксировано накопление в тканях и органах животных хлорорганических пестицидов и тяжелых металлов. Их концентрация возрастает на более высоких трофических уровнях.

У осетровых в результате хронической интоксикации появилось новое заболевание, которое проявляется в расслоении мышечной ткани и сопровождается нарушениями на функциональном и морфологическом уровнях. Изменениям подверглись почти все формы обмена веществ: белковый, углеводный, липидный и минеральный. Морфологические изменения отмечены в селезенке, почках и, особенно, печени. Загрязнение моря токсическими веществами сказалось на появлении многочисленных нарушений гонадо- и гаметогенеза вследствие патологии обмена веществ и прямого действия токсикантов. У самцов осетровых это может приводить к полной стерилизации, а у самок — к снижению плодовитости.

У каспийского тюленя также зафиксировано накопление хлорорганических соединений в подкожном слое сала и тяжелых металлов в печени. Это сопровождается увеличением доли яловых и абортировавших самок, а также циррозом печени и деформацией когтей.

Межгодовые изменения метеорологических и гидролого-гидрохимических условий определяют естественные колебания уровня развития отдельных групп организмов и биоты в целом. Антропогенное воздействие в виде зарегулирования стока рек и накопления токсических веществ может привести к деградации системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К Ч. II

1. Абрамов Б. Н. Многолетние колебания содержания кислорода и биогенных элементов в воде Среднего и Южного Каспия//Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38. — С. 117—133.
2. Алехина Р. П., Горюнова В. Н. О влиянии режима половодья в дельте р. Волги на размножение основных промысловых рыб//Состояние и охрана биологических ресурсов Волгоградской области. — Волгоград, 1977. — С. 58—61.
3. Алехина Р. П., Курапов А. А. Пути повышения продуктивности естественных нерестилищ дельты Волги// Проблемы изучения, охраны и рационального использования природных ресурсов Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги. — Астрахань, 1989. — С. 58—59.
4. Алехина Р. П., Финаева В. Г. Значение отдельных районов дельты р. Волги для воспроизводства полупроходных рыб//Рыбохозяйственные основы территориального перераспределения водных ресурсов. — М., 1981. — С. 65—80.
5. Алехина Р. П., Курапов А. А., Финаева В. Г. Режим весенних попусков и его влияние на ранний онтогенез полупроходных рыб Волго-Каспийского района// 4-я Всесоюз. конф. по раннему онтогенезу рыб. Тез. докл. — Мурманск, 1988. — С. 16—18.
6. Алтухов К. А. Влияние механических воздействий на развивающуюся икру беломорской сельди//Вопр. ихтиологии. — 1960. — Вып. 15. — С. 123—126.
7. Ардабьева А. Г. Фитопланктон Северного Каспия в июне 1980—1987 гг.//Рыбохозяйственные исследования планктона. Ч. 2. Каспийское море. — М., 1991. — С. 4—9.
8. Ардабьева А. Г., Татаринцева Т. А. Сезонные изменения фитопланктона Северного Каспия в условиях зарегулированного волжского стока//Теоретическая экология. — М., 1987. — С. 111—116.
9. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. — М.: Пищев. пром-сть, 1968. — 414 с.
10. Бадамшин Б. И. О питании каспийского тюленя//Труды Волго-Каспийской науч. рыбохоз. станции. — 1948. — Т. 10. — С. 129—134.
11. Бадамшин Б. И. Некоторые новые данные о биологии каспийского тюленя во льдах//Рыбное хозяйство. — 1949. — № 3. — С. 39—44.
12. Бадамшин Б. И. Состояние запасов каспийского тюленя//Зоологический журн. — 1960. — Т. 39, вып. 6. — С. 898—905.
13. Бадамшин Б. И. Биологические и экономические основы превращения промысла каспийского тюленя в рациональное хозяйство//3-е Всесоюз. совещ. по изучению морских млекопитающих. Тез. докл. — Владивосток, 1966. — С. 4—6.
14. Бадамшин Б. И. Биология и промысел каспийского тюленя//Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. — Алма-Ата, 1966. — С. 94—124.
15. Бадамшин Б. И. Каспийский тюлень и перспективы его хозяйственного использования//Труды КаспНИРХ. — 1968. — Т. 24. — С. 65—69.
16. Бадамшин Б. И. Численность и промысловые запасы каспийского тюленя//Морские млекопитающие. — М., 1969. — С. 261—267.
17. Барсукова Л. А. Многолетний биогенный сток р. Волги у Астрахани//Труды КаспНИРХ. — 1971. — Т. 26. — С. 42—53.
18. Батычков Г. А. Оценка эффективности размножения осетра в верхнем бьефе Волгоградского гидроузла по результатам учета покатной молоди//Труды Волгогр. отд-ния ГосНИОРХ. — 1972. — Т. 6. — С. 79—87.
19. Белоголова Л. А. Динамика численности и распределения молоди воблы (*Rutilus rutilus, Jakowlew*), леща (*Abramis brama, Berg*) и судака (*Stizostedion lucioperca, Linne*) в Северном Каспии//Вопр. ихтиологии. — 1987. — Т. 27, вып. 6. — С. 924—935.
20. Беляева В. Н., Лагунова В. С. Миграция молоди осетровых в дельте Волги//Труды ЦНИОРХ. — 1971. — Т. 3. — С. 54—63.
21. Бенинг А. Л. О зимнем зоопланктоне Каспийского моря//Труды Комиссии по комплексному изучению Каспийского моря. — 1938. — Вып. 5. — С. 7—97.
22. Биологическая продуктивность Каспийского моря. — М.: Наука, 1974. — 242 с.
23. Бирштейн Я. А., Спасский Н. П. Донная фауна Каспийского моря до и после вселения *Nereis succinea*// Материалы к познанию фауны и флоры. Нов. сер. Зоология. — 1952. — Вып. 33(48). — С. 35—114.
24. Вещев П. В., Новикова А. С. Воспроизводство севрюги *Acipenser stellatus Pallas* (*Acipenseridae*) в условиях изменения стока Волги//Вопр. ихтиологии. — 1983. — Т. 23, вып. 5(142). — С. 766—773.
25. Винецкая Н. И. Многолетние и сезонные изменения гидрохимического режима Северного Каспия до зарегулирования стока р. Волги//Труды КаспНИОРХ. — 1962. — Т. 18. — С. 4—90.
26. Винецкая Н. И. Первичная продукция Северного Каспия//Труды КаспНИРХ. — 1965. — Т. 20. — С. 21—34.
27. Винецкая Н. И. Фосфатный фосфор и первичная продукция Северной части Каспийского моря//Химические процессы в морях и океанах. — М., 1966. — С. 145—151.

28. Виноградов Л. Г. Многолетние изменения северокаспийского бентоса//Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38, вып. 1. — С. 241—276.
29. Виноградов Л. Г. Возможные пути мелиорации Северного Каспия//Проблемы Каспийского моря. — Баку, 1963. — С. 148—154.
30. Власенко А. Д. Биологические основы естественного воспроизводства осетровых в зарегулированной Волге и Кубани. — Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М.: ВНИРО, 1982. — 25 с.
31. Водовская В. В., Кушниренко А. И. Оценка эффективности воспроизводства и его роль в формировании численности каспийских сельдей//Рыбное хозяйство. — 1986. — № 5. — С. 21—23.
32. Дергачев П. О. К оценке морфофункционального состояния приплода каспийского тюленя//Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих. Тез. докл. 9-го Всесоюз. совещ. — Архангельск, 1986. — С. 119—120.
33. Державин А. Н. Воспроизводство запасов осетровых рыб. — Баку: АН АзССР, 1947. — 249 с.
34. Державин А. Н. Куринское рыбное хозяйство. — Баку: АН АзССР, 1956. — 495 с.
35. Дорофеев С. В. Влияние ледовых условий на дислокацию залежек каспийского тюленя//Докл. ВНИРО. — 1947. — № 9. — С. 1—8.
36. Ежегодник качества морских вод по химическим показателям. — Обнинск: ВНИИГМИ—МЦД, 1961—1988.
37. Естественное воспроизводство полупроходных и туводных рыб в низовьях рек Волги, Урала, Атрека/ В. Н. Беляева, Р. П. Алехина, А. Н. Петрова и др.//Комплексные рыбохозяйственные исследования на Каспии. — М., 1989. — С. 138—158.
38. Жидовинов В. И., Орлова Э. А., Дегтярева Н. Г. Некоторые особенности распределения покатной молоди рыб в дельте р. Волги//Сб. науч. тр. Гидрорыбпроект. — 1985. — Вып. 99. — С. 97—116.
39. Идельсон М. С. Зоопланктон средней и южной части Каспийского моря//Развитие рыбохозяйственных исследований на Каспии. — Астрахань, 1980. — С. 33—47.
40. Казанчеев Е. Н. Рыбы Каспийского моря. — М.: Пищев. пром-сть, 1981. — 165 с.
41. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. — М.: Наука, 1986. — 260 с.
42. Каспийское море. Ихтиофауна и промысловые ресурсы. — М.: Наука, 1989. — 235 с.
43. Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность. — М.: Наука, 1985. — 276 с.
44. Катунин Д. Н., Струбалина Н. К. Оценка запасов полупроходных рыб Северного Каспия по гидрологическим параметрам//3-я Всесоюз. конф. по проблемам промыслового прогнозирования. Тез. докл. — Мурманск, 1986. — С. 181.
45. Катунин Д. Н., Хрипунов И. А. Многолетнее распределение температуры, солености и прозрачности вод Северного Каспия. — М.: Пищев. пром-сть, 1976. — 230 с.
46. Коблицкая А. Ф. К вопросу о совмещении нерестилищ в низовьях дельты Волги//Труды Океанографической комиссии. — 1959. — Т. 5. — С. 236—242.
47. Коблицкая А. Ф. Нерестовое значение ильменей нижней зоны дельты Волги в зависимости от гидрологического режима//Труды Астраханского гос. заповедника. — 1961. — Вып. 5. — С. 180—200.
48. Коблицкая А. Ф. Изучение переста пресноводных рыб. — М.: Пищев. пром-сть, 1966. — 166 с.
49. Коблицкая А. Ф. Определитель молоди пресноводных рыб. — М.: Пищев. пром-сть, 1981. — 208 с.
50. Коблицкая А. Ф. Ильменно-полойные нерестилища дельты Волги и их значение в разных экологических условиях на примере нерестилищ нижней зоны дельты// Вопр.ихтиологии. — 1984. — Т. 24, вып. 4. — С. 587—596.
51. Кормовая база рыб Каспийского моря//Е. А. Яблонская, В. Ф. Осадчих, Н. И. Винецкая и др.//Труды ВНИРО. — 1975. — Т. 108. — С. 81—98.
52. Коробочкина З. С. Основные этапы развития промысла осетровых в Каспийском бассейне//Осетровые южных морей Советского Союза. — М., 1964. — Сб. 1. — С. 59—86.
53. Косарев А. Н. Гидрология Каспийского и Азовского морей. — М.: МГУ, 1975. — 272 с.
54. Крыжановский С. Г. Материалы по развитию сельдевых рыб//Труды ИМЖ АН СССР. — 1956. — Вып. 17.— С. 6—72.
55. Крылов В. И. К биологии каспийского тюленя//Бюл. МОИП, Биол. отд-ние. — 1976. — Т. 81(1). — С. 15—27.
56. Крылов В. И. Численность каспийского тюленя на восточных «шалыгах» Северного Каспия//Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих. Тез. докл. 8-го Всесоюз. совещ. — Астрахань, 1982. — С. 184—185.
57. Крылов В. И. Каспийский тюлень размножается не только на льдах//Природа. — 1983. — № 3. — С. 69—71.
58. Крылов В. И. К оценке влияния каспийского тюленя (*Pusa caspica*) на популяцию рыб//Зоологический журн. — 1983. — Т. 72, вып. 6. — С. 930—936.
59. Крылов В. И. Каспийский тюлень и его численность// Морские млекопитающие. — М., 1984. — С. 268—276.
60. Крылов В. И. Результаты исследований по экологии каспийского тюленя в аванделте Урала за 1978—1984 гг.//Морские млекопитающие. — М., 1986. — С. 1—69.
61. Крылов В. И., Зорин А. В. О влиянии каспийского тюленя на промысел кильки в Южном Каспии//Рыбное хозяйство. — 1984. — № 2. — С. 43—48.
62. Крылов В. И., Зорин А. В. Авиаучет тюленей в северо-восточном Каспии в 1984 году//Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих. Тез. докл. 9-го Всесоюз. совещ. — Архангельск, 1986. — С. 218—219.
63. Крылов В. И., Минеев В. Н. Биологическое обоснование сроков промысла каспийского тюленя//5-е Всесоюз. совещ. по изучению млекопитающих. Тез. докл. — Махачкала, 1972. — Ч. 1. — С. 41—43.
64. Крылов В. И., Хураськин Л. С., Юсупов М. К. Естественная смертность у каспийского тюленя//Морские млекопитающие. — М., 1980. — С. 52—58.
65. Куделина Е. Н. Зоопланктон Среднего и Южного Каспия и его изменения в период падения уровня моря// Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38, вып. 1. — С. 204—240.
66. Кузьмичева В. И. Экология основных видов зоопланктона Каспийского моря//Рыбохозяйственные исследования планктона. Ч. 2. Каспийское море. — М., 1991. — С. 129—146.
67. Кузьмичева В. И., Тиненкова Д. Х., Парицкий Ю. А. Изменения зоопланктона Среднего Каспия в 1971—1985 годах и обеспеченность пищей анчоусовидной кильки//Рыбохозяйственные исследования планктона. Ч. 2. Каспийское море. — М., 1991. — С. 115—128.
68. Куп М. С. Планктон Каспийского моря в условиях зарегулированного стока Волги//Изменение биологических комплексов Каспийского моря за последние десятилетия. — М., 1965. — С. 54—98.
69. Курашова Е. К. Состояние зоопланктона Северного Каспия за период с 1962 по 1967 г.//Труды КаспНИРХ.— 1971. — Т. 26. — С. 83—99.
70. Курашова Е. К., Абдуллаева Н. М. *Acartia clausi* (*Calanoida, Acartiidae*) в Каспийском море//Зоологический журн. — 1984. — Т. 63, вып. 6. — С. 931—933.
71. Курашова Е. К., Кузьмичева В. И. Отношение к солености воды отдельных видов и комплексов зоопланктона Северного Каспия//Рыбохозяйственные исследования планктона. Ч. 2. Каспийское море. — М., 1991. — С. 19—27.
72. Кусморская А. П. Зоопланктон Северного Каспия// Экология беспозвоночных южных морей СССР. — М., 1964. — С. 94—147.
73. Лагунова В. С. Влияние гидрологических факторов на динамику ската и численность молоди осетровых в Волге//Биологические основы развития осетрового хозяйства в водоемах СССР. — М., 1979. — С. 134—135.
74. Левшакова В. Д. Весенний фитопланктон Северного Каспия//Труды КаспНИРХ. — 1963. — Т. 17. — С. 33—43.
75. Левшакова В. Д. Фитопланктон северной части Каспийского моря//Материалы Закавказской конф. по споровым растениям. — Баку, 1965. — С. 19—23.
76. Левшакова В. Д. Многолетние изменения весеннего фитопланктона Северного Каспия//Труды КаспНИРХ. — 1967. — Т. 23. — С. 25—58.
77. Левшакова В. Д. Особенности распространения и количественного развития нитчатой водоросли спирогиры (*Spirogyra sp. sp.*) в Северном Каспии//Труды КаспНИРХ. — 1968. — Т. 24. — С. 113—128.
78. Левшакова В. Д. Сезонная динамика фитопланктона Северного Каспия//Гидробиологический журн. — 1970. — Т. 6, № 3. — С. 44—50.
79. Левшакова В. Д. Некоторые экологические особенности фитопланктона Северного Каспия//Труды КаспНИРХ. — 1971. — Т. 26. — С. 67—82.

80. Левшакова В. Д. О важнейших видах фитопланктона Каспийского моря, их количественном развитии и взаимоотношениях//Биологические ресурсы Каспийского моря. — Астрахань, 1972. — С. 100—101.
81. Левшакова В. Д., Санина Л. В. Летний фитопланктон Среднего Каспия до и после вселения ризосолении//Труды ВНИРО. — 1973. — Т. 80, вып. 3. — С. 18—27.
82. Лесников Л. А., Матвеев Р. П. О характере влияния волжского стока на зоопланктон Северного Каспия// Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38, вып. 1. — С. 176—203.
83. Летичевский М. А. О нерестовом значении авандельты р. Волги//Труды Волго-Каспийской науч. рыбохоз. станции. — 1947. — Т. 9, вып. 1. — С. 95—114.
84. Ловецкая А. А. Кильки Среднего и Южного Каспия (промыслово-биологический очерк). — Автореф. дис. ... ... канд. биол. наук. — Баку, Азерб. науч.-исслед. рыбохоз. станция ВНИРО, 1946. — 25 с.
85. Ловецкая А. А. Каспийские кильки и их промысел. — М.: Пищев. пром-сть, 1951. — 48 с.
86. Логвиненко Б. М. Об изменениях в фауне каспийских моллюсков рода *Dreissena* после вселения *Mytilaster lineatus* (*Gmel*)//Науч. докл. высшей школы биол. науки. — 1965. — № 4. — С. 14—19.
87. Магомедов Г. М. Промысловые рыбы Дагестана, их запасы и промысел.— Махачкала: Даг. кн. изд-во, 1981.— 232 с.
88. Маляревская А. Я. Влияние экстремальных факторов среды на обмен веществ рыб//Биологические основы рыбоводства. — М., 1984. — С. 117—133.
89. Марти Ю. Ю. Осетровые южных морей Советского Союза. Предисловие//Труды ВНИРО. — 1964. — Т. 52. — С. 7—19.
90. Матвеева Р. П. Питание молоди судака в нерестово-выростном хозяйстве в 1953 году//Вопр. ихтиологии. — 1955. — Вып. 5. — С. 61—70.
91. Млекопитающие Советского Союза. Т. 2. ч. 3/ В. Г. Гептнер, К. К. Чапский, В. А. Арсеньев, В. Е. Соколов. — М.: Высш. шк., 1976. — С. 197—219.
92. Новикова А. С. Масштабы воспроизводства белуги в нижнем течении Волги//Осетровое хозяйство водоемов СССР. Тез. докл. Всесоюз. конф. — Астрахань, 1984. — С. 237—239.
93. Осепян К. Г. Влияние факторов среды на численность кильки в Северном Каспии//Биология промысловых рыб и беспозвоночных на ранних стадиях развития. Тез. докл. Всесоюз. конф. — Мурманск, 1974. — С. 148—149.
94. Павлов А. В. Оценка влияния нового режима рыболовства на запасы осетровых//Труды ВНИРО. — 1970. — Т. 71. — С. 20—30.
95. Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря. — Л.: Гидрометеоиздат, 1966. — 343 с.
96. Пашкин Л. М. Белуга и воспроизводство ее в условиях зарегулирования Волги. — Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Волгоград, Волгогр. отд-ние ЦНИОРХ, 1969. — 22 с.
97. Песериди Н. Е., Митрофанов В. П., Дукравец Г. М. Рыбы Казахстана. — Алма-Ата: Наука, 1986. — Т. 1. — 276 с.
98. Питание тюленя в Северном Каспии/Г. А. Ворожцов, В. Д. Румянцев, Г. А. Склярова, Л. С. Хураськин//Труды ВНИРО. — 1972. — Т. 99. — С. 19—36.
99. Полянинова А. А., Масленникова И. А., Кашенцева Л. Н. Итоги развития трофологии осетровых Северного Каспия за 1967—1977 гг.//Осетровое хозяйство внутренних водоемов СССР. Тез. докл. Всесоюз. совещ.— Астрахань, 1979 — С 213—214.
100. Приходько Б. И. Экологические черты каспийских килек//Вопр. ихтиологии. — 1979. — Т. 19, вып. 5(118). — С. 801—812.
101. Прошкина-Лавренко А. И., Макарова И. В. Водоросли планктона Каспийского моря. — Л.: Наука. Ленинград. отд-ние, 1968. — 291 с.
102. Путилина Л. А. Качественная структура нерестовой части популяции персидского осетра Волги//Рациональные основы ведения осетрового хозяйства. Тез. докл. науч.-практ. конф. — Волгоград, 1981. — С. 209—210.
103. Роганов А. И. Предварительные итоги исследований каспийского тюленя и его промысла//Бюлл. Всекаспийской науч.-рыбохоз. экспедиции. — 1939. — № 5—6. — С. 43—47.
104. Романова Н. Н. Распределение и экологическая характеристика северокаспийских *Amphipoda* и *Cumacea*// Докл. АН СССР. — 1958. — Т. 121, № 3. — С. 555—556.
105. Романова Н. Н. Выживание некоторых *Amphipoda* Северного Каспия при разных соленостях//Труды ВНИРО. — 1959. — Т. 38, вып. 1. — С. 277—296.
106. Романова Н. Н. Некоторые черты экологии и распределения ракообразных арктического происхождения в Каспийском море//Зоологический журн. — 1970. —Т. 49, вып. 7. — С. 970—979.
107. Романова Н. Н., Осадчих В. Ф. Современное состояние зообентоса Каспийского моря//Изменение биологических комплексов Каспийского моря за последние десятилетия. — М., 1965. — С. 138—165.
108. Рубинчик Е. Е. Сезонное распределение растворенного кислорода в южной части Каспийского моря//Труды ГОИН. — 1962. — Вып. 68. — С. 50—78.
109. Смирнова Л. И. О фитопланктоне Среднего Каспия// Труды ИО АН СССР. — 1949. — Т. 3. — С. 260—276.
110. Современное состояние кормовой базы рыб Северного Каспия/В. Ф. Осадчих, В. Д. Левшакова, Е. К. Курашова, А. Г. Ардабьева//Труды ВНИРО. — 1978. — Т. 131. — С. 55—65.
111. Современный гидролого-гидрохимический режим низовьев р. Урал и его влияние на воспроизводство осетровых/А. А. Большов, Е. Б. Бокова, Ф. И. Ахмедзянов и др.//Осетровое хозяйство водоемов СССР. Тез. докл. Всесоюз. совещ. Ч. 1. — 1989. — С. 33—35.
112. Солдатова Е. В., Рыкова Т. И. Характеристика питания осетровых Среднего Каспия в современных условиях//Осетровое хозяйство внутренних водоемов СССР. Тез. докл. Всесоюз. совещ. — Астрахань, 1979. — С. 241—242.
113. Танасийчук В. С. К биологии молоди леща//Труды Волго-Каспийской науч. рыбохоз. станции. — 1947. — Т. 9, вып. 1. — С. 115—137.
114. Танасийчук В. С. Условия нереста рыб в р. Урал// Рыбное хозяйство. — 1950. — № 11. — С. 29—31.
115. Танасийчук В. С. Закономерности формирования численности некоторых каспийских рыб//Труды КаспНИРХ. — 1957. — Т. 13. — С. 3—38.
116. Танасийчук В. С. Биология размножения и закономерности формирования численности некоторых каспийских рыб в связи с изменением водности Волги и Урала. — Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М.: ВНИРО, 1958. — 25 с.
117. Танасийчук В. С., Воноков И. К., Небольсина Т. К. Биология размножения волжского судака как основа мероприятий по воспроизводству его запасов// Труды совещаний ихтиологической комиссии. — 1957. — Вып. 7. — С. 268—274.
118. Тимофеев Н. А. О влиянии абиотических условий на зоопланктон Северного Каспия//Труды ВНИРО. — 1972. — Т. 87, вып. 7. — С. 51—58.
119. Тимофеев Н. А. О некоторых результатах исследования влияния стока Волги на ежегодные изменения биомассы зоопланктона Северного Каспия//Труды ВНИРО.— 1976. — Т. 116, вып. 2. — С. 19—23.
120. Тимошенко Ю. К. Материалы по биологии размножения каспийского тюленя//Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна (ПИНРО). — Мурманск: 1971. — С. 224—248.
121. Требования рыбного хозяйства к объему весенних попусков воды в дельту Волги/Д. С. Павлов, Д. Н. Катунин, Р. П. Алехина и др.//Рыбное хозяйство. — 1989. — № 9. — С. 29—32.
122. Усачев П. И. Количественное колебание фитопланктона в Северном Каспии//Труды ИО АН СССР. — 1948. — Т. 2. — С. 60—88.
123. Функциональное состояние гонад и нейрогипофиза осетра и белуги в низовьях дельты и под плотиной Волгоградской ГЭС в зимний период/Ю. В. Алтуфьев, А. Д. Власенко, Н. Н. Шевелева, А. Л. Поленов//Осетровое хозяйство внутренних водоемов СССР. Тез. докл. Всесоюз. совещ. — Астрахань, 1979. — С. 4—5.
124. Хорошко П. Н. Водность бассейна Волги и ее влияние на размножение осетровых (сем. *Acipenseridae*) при бытовом и зарегулированном стоке//Вопр. ихтиологии. — 1972. — Т. 12, вып. 4(75). — С. 665—673.
125. Чугунов Н. Л. К изучению планктона северной части Каспийского моря//Работа волжской биологической станции. — 1921. — Т. 6, № 3. — С. 107—162.
126. Эйбатов Т. М. Естественная продолжительность жизни Каспийского тюленя (*Pusa caspica*)//Зоологический журн. — 1976. — Т. 65, вып. 12. — С. 1893—1896.
127. Эйбатов Т. М. Возрастной состав погибших каспийских тюленей на северном побережье Апшеронского по-

луострова//Морские млекопитающие. Тез. докл. 7-го Всесоюз. совещ. — М., 1978. — С. 360—362.
128. Яблонская Е. А. Водная взвесь как пищевой материал для организмов бентоса Каспийского моря//Труды ВНИРО. — 1969. — Т. 65. — С. 85—147.
129. Яблонская Е. А. Исследование трофических связей в донных сообществах южных морей//Ресурсы биосферы (Итоги советских исследований по международной биологической программе). — Л., 1976. — Вып. 2. — С. 117—144.
130. Яблонская Е. А., Зайцев А. И. Современное состояние и проблемы повышения биологической продуктивности Каспийского моря//Водные ресурсы. — 1979. — № 1. — С. 41—50.
131. Яновская Л. И. Формирование численности поколений волжского полупроходного судака в условиях зарегулированного стока р. Волги. — Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Л.: ГосНИОРХ, 1979. — 24 с.
132. Яшнов В. А. Планктон Каспийского моря//Труды I-й Всекаспийской науч. рыбохоз. конф. — 1938. — Т. 2. — С. 51—56.
133. Яшнов В. А. Планктическая продуктивность Каспийского моря//Изв. АН СССР. Сер. биол. — 1939. — № 5. — С. 705—719.
134. Bergman L., Ollson M. Patology of Baltic grey seal and ringed seal females with special reference to adrenocortical hyperpla sia: Is environmental pollution the cause of a widely distributed diseasae syndrome? Pt. I: Seals on the Baltic//Finnish game research 44. — Finland: Helsinki, 1986. — P. 47—62.
135. Helle E., Hyvarinen H., Stenman O. Proceedings from the symposium on the seals in Baltic and Eurasian Lakes. Pt. I: Seals in the Baltic//Finnish game research 44. — Finland: Helsinki, 1986. — P. 63—68.
136. Ollson M. PCB and reproduction among Baltic seals// Proceedings from the symposium on the conservation of Baltic seals. Haikko, 26—28 apr., 1977. — Finland: Helsinki, 1978. — P. 40—45.

Справочное издание

Проект «Моря»

Гидрометеорология и гидрохимия морей

Том VI

КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

Выпуск 2

Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности

Редактор О. М. Федотова. Художественный редактор Л. А. Уярод. Технический редактор Н. Ф. Грачева. Корректоры Г. Н. Римант и О. В. Андреева.

Н/К

ЛР № 020228 от 08.10.91
Сдано в набор 15.03.95. Подписано в печать 13.02.96. Формат 60×90 1/8. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 40,5. Кр.-отт. 41,0. Уч.-изд. л. 49,23. Тираж 500 экз. Индекс ОЛ-27. Заказ № 36.
Гидрометеоиздат. 199397. Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38.

Ордена Трудового Красного Знамени ГП «Техническая книга» типография № 8 Комитета РФ по печати
190000, г. Санкт-Петербург, Прачечный пер., д. 6.

Замеченные опечатки в книге «Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Сер. Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI». (СПб.: Гидрометеоиздат, 1992)

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
5 (справа)	17 сверху	—	1.1 — Ш. М. Агаев, Н. Д. Клевцова, П. И. Бухарицын
	18 сверху	С. И. Потайчук	М. С. Потайчук
	23 сверху	—	8.4.3 и 8.4.4 — Л. Е. Веселова, П. И. Бухарицын
	26 сверху	9.1 — В. В. Тарасова, Н. А. Скриптунов	9.1 — В. В. Тарасова
	27 сверху	—	10.1 и 10.2 — Р. Е. Никонова; 10.3.1 — Н. А. Скриптунов, П. И. Бухарицын
	28 сверху	11 — В. Н. Бортник, Р. Е. Никонова	11 — В. Н. Бортник
	29 сверху	12.1 — Н. А. Скриптунов, Р. Е. Никонова	12.1 — Н. А. Скриптунов
	19 снизу	З. И. Татлыева	З. И. Тотлыева
		—	14.1 и 14.2 — З. И. Тотлыева, П. И. Бухарицын