

Федеральная служба России по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды

Государственный научный центр Российской Федерации
Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

СБОРНИК СТАТЕЙ

Юбилейный выпуск 70
(к 75-летию ААНИИ)



Санкт-Петербург Гидрометеониздат 1995

Ответственный редактор

И. Е. Фролов

Редакционная коллегия

Г. В. Алексеев, В. Д. Грищенко (зам. отв. редактора), А. И. Данилов (зам. отв. редактора), В. Ф. Захаров, В. В. Иванов, В. И. Калацкий, Б. А. Крутских, Г. А. Лебедев, В. А. Лихоманов, В. В. Лукин, С. А. Мельников, Е. У. Миронов, Н. П. Муравьева (секретарь редколлегия), Е. Г. Никифоров, А. В. Новожилов, В. Ф. Радионов, В. А. Рожков, Л. А. Тимохов, О. А. Трошичев

НАУКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ОУ журналы АН СССР
(ИЗДАНИЕ 1995 г.)

Сборник научных статей

**ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ,
юбилейный выпуск 70 (к 75-летию ААНИИ)**

Редактор Ю. В. Виноградова. Художественный редактор Л. А. Уирид.
Технический редактор Н. Ф. Грачева. Корректор О. В. Андреева.

ЛР № 020228 от 08.10.91.

Н/К

Сдано в набор 26.05.95. Подписано в печать 29.08.95. Формат 60×90^{1/16}. Бумага писче-бланочная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 20. Кр.-отт. 20,38. Уч.-изд. л. 23,2. Тираж 600 экз. Индекс ГЛ-14. Заказ № 64. Заказное.

Гидрометеоиздат. 199397. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38.

Ордена Трудового Знамени ГП «Техническая книга» типография № 8 Комитета РФ по печати. 190000, г. Санкт-Петербург, Прачечный пер., д. 6.

П 1805040600-019
069(02)-95 Без объявл.

ISBN 5—286—01191—8

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский
институт (ГНЦ — ААНИИ), 1995

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Г. А. Баскаков, А. И. Воскресенский, Т. М. Герасимова, А. И. Данилов, Н. А. Корнилов, <u>Е. С. Короткевич</u> , И. Е. Фролов. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт — центр российской полярной науки	6
Б. А. Крутских. Основные научно-прикладные результаты деятельности ААНИИ в системе Гидрометслужбы	33
И. Е. Фролов. Современное состояние и перспективы научных исследований в Арктике	45
В. А. Воеводин. Арктический институт в годы Великой Отечественной войны (к 50-летию Победы в Великой Отечественной войне)	50
Б. А. Крутских. Основные итоги изучения и прогнозирования морских льдов Арктики	58
Ю. А. Горбунов, З. М. Гудкович, С. М. Лосев. Исследования динамики и строения ледяного покрова Северного Ледовитого океана	75
А. И. Коротков. Основные итоги и перспективы исследований ледового режима Южного океана	84
А. В. Бушуев, <u>Н. А. Волков</u> , В. Д. Гриценко. Наблюдения за морскими льдами и их исследования, создание автоматизированной ледово-информационной системы	104
Г. А. Лебедев, В. П. Гаврило, В. А. Спицын. Методы и результаты изучения физических характеристик льда, снега и водных масс полярных районов	120
В. А. Лихоманов. Итоги и перспективы работы отдела ледовых качеств судов	143
Е. Г. Никифоров. Океанографические исследования в Арктике	150
Н. Н. Антипов, В. Н. Ботников, А. В. Клепиков. Океанографические исследования Южного океана	172
В. М. Смагин. Гидрохимические исследования полярных океанов	183
Г. В. Алексеев. Взаимодействие атмосферы и океана в полярных районах	193
В. Ф. Захаров. Открытие хребта Ломоносова	203
А. И. Воскресенский. Полярная метеорология: становление и перспективы развития	216
Н. Д. Виноградов, В. В. Иванов. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей Земли	246
О. А. Трошищев, В. А. Широчков, Н. Ф. Благовещенская. Полярная геофизика в ААНИИ: история, современный статус и перспективы	255
В. Г. Аверьянов. Географические исследования полярных стран	271
В. П. Клопов. Полярная медицина: итоги и перспективы	293
Н. Г. Ягодницын. Музей Арктики и Антарктики	305

CONTENT

Preface	5
<i>G. A. Baskakov, A. I. Voskresensky, T. M. Gerasimova, A. I. Danilov,</i> <i>N. A. Kornilov, [Ye. S. Korotkevich], I. Ye. Frolov.</i> The Arctic and An- tartic Research Institute — the centre of the polar science of Russia	6
<i>B. A. Krutskikh.</i> The main scientific-applied results of the AARI' acti- vity within Hydrometeoservice	32
<i>I. Ye. Frolov.</i> The modern conditions and prospects of studies in the Arctic	45
<i>V. A. Voevodin.</i> The Arctic Institute during the Great Patriotic War (by the 50th anniversary of the V-Day of the Great Patriotic War)	50
<i>B. A. Krutskikh.</i> The main results of studying and forecasting the Arctic sea ice	58
<i>Yu. A. Gorbunov, Z. M. Gudkovich, S. M. Losev.</i> Studies of dynamics and structure of the Arctic Ocean ice cover	75
<i>A. I. Korotkov.</i> The main results and prospects of the Southern Ocean ice regime studies	84
<i>A. V. Bushuev, [N. A. Volkov], V. D. Grischenko.</i> Observations and studies of sea ice, development of the automated system for ice data	104
<i>G. A. Lebedev, V. P. Gavrilo, V. A. Spitzin.</i> The methods and results of studies of ice, snow and water physical characteristics for the polar regions	120
<i>V. A. Likhomanov.</i> The results and prospects of works of the 'Ship Performance in Ice' Department	143
<i>Ye. G. Nikiforov.</i> Oceanographic investigations in the Arctic	150
<i>N. N. Antipov, V. V. Botnikov, A. V. Klepikov.</i> Oceanographic investi- gations in the Southern Ocean	172
<i>V. M. Smagin.</i> Hydrochemical research of polar oceans	183
<i>G. V. Alexeev.</i> Air/ocean interaction in the Polar regions	193
<i>V. F. Zakharov.</i> The discovery of the Lomonosov Ridge	203
<i>A. I. Voskresensky.</i> Polar meteorology: its development and prospects <i>N. D. Vinogradov, V. V. Ivanov.</i> Macrocirculative method of long-term meteorological forecasts for the polar areals of the Earth	216 246
<i>O. A. Troshichev, A. V. Shirochkov, N. F. Blagoveshenskaya.</i> Polar geophysics at the AARI: The history, modern state and prospects	255
<i>V. G. Averianov.</i> Geographical investigations of the Polar countries <i>V. P. Klopov.</i> Polar medicine: results and prospects	271 293
<i>N. G. Yagodnitzin.</i> The Arctic and Antarctic Museum	305

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий выпуск сборника «Проблемы Арктики и Антарктики» посвящен 75-летию Государственного научного центра Российской Федерации — Арктического и антарктического научно-исследовательского института. В соответствии с этим публикуемые в сборнике статьи являются обзорными, освещающими основные результаты научных и прикладных исследований института за последние три четверти века и перспективы его работ на ближайшее будущее.

В статьях данного сборника публикуются материалы об основных этапах деятельности института как единого научного коллектива, нацеленного на решение общей задачи комплексного исследования природных условий и ресурсов Арктики и Антарктики для удовлетворения практических запросов народного хозяйства страны, а также работу института в части комплексных научно-прикладных исследований, направленных на непосредственное обеспечение текущих и перспективных промышленно-транспортных и других практических задач в полярных районах Земли. Наечены важнейшие направления научных исследований в Арктике и Антарктике на ближайшую перспективу, указаны условия их успешной реализации.

Большая часть статей посвящена результатам исследований по основным направлениям деятельности: морскому ледоведению, океанологии и гидрохимии Северного Ледовитого и Южного океанов, метеорологии, геофизике и физической географии Арктики и Антарктики, исследованию физических характеристик льда, снега водных масс полярных районов, взаимодействию атмосферы и океана в полярных районах, изучению ледовых качеств судов, полярной медицине.

В целом содержание выпуска дает достаточно полное представление об истории создания, становления и деятельности ГНЦ РФ — ААНИИ за 75 лет его существования, хотя и не с одинаковой полнотой по различным ее направлениям и участкам.

Редакционная коллегия

Г. А. БАСКАКОВ А. И. ВОСКРЕСЕНСКИИ
Т. М. ГЕРАСИМОВА, А. И. ДАНИЛО
Н. А. КОРНИЛОВ, Е. С. КОРОТКЕВИЧ, И. Е. ФРОЛО

АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ — ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ПОЛЯРНОЙ НАУКИ

4 марта 1995 г. исполнилось 75 лет Государственному научному центру Российской Федерации — Арктическому и антарктическому научно-исследовательскому институту — крупнейшему старейшему в мире специализированному учреждению по исследованию природных условий полярных областей Земли. Институт ведет свою родословную от **Северной научно-промысловой экспедиции** (сокращенно Севэкспедиции или СНПЭ), созданной Постановлением Президиума Высшего Совета Народного Хозяйства (ВСНХ) при его Научно-техническом отделе. Вновь создано учреждение, хотя и носило скромное название, по существу являлось уже в то время центром отечественных научных исследований на Крайнем Севере по высокому научному статусу, солидной материальной базе, а также широкому масштабу исследований.

В соответствии с первым «Положением» об экспедиции на него возлагалось производство научно-технических исследований производительных сил и природных богатств Севера в целях наилучшего практического их использования. Все распоряжения Севэкспедиции, относящиеся к исследованию Севера от берегов Мурмана до Берингова пролива, подлежали неуклонному исполнению всеми государственными учреждениями, общественными организациями и частными лицами. Руководителем Севэкспедиции был назначен Рудольф Лазаревич Самойлович — известный геолог, участник последней экспедиции В. А. Русанова на Шпицберген. Был создан Ученый Совет экспедиции, в который вошли известные ученые академик А. Е. Ферсман, профессора Н. М. Книпович, Ю. М. Шокальский, Л. Ф. Рудовиц, К. М. Дерюгин, писатели А. М. Горький и многие другие. Почетным председателем Совета стал А. П. Карпинский — Президент Российской Академии наук, что, несомненно, отражало высокий научный статус экспедиции.

Материальная база Севэкспедиции образовалась из активностей научно-практических организаций, которые вошли в ее состав при создании. В частности, экспедиции были переданы суда «Дельфин», «Грумант», «Надежда», «Шарлотта». Были отпущены материальные средства и необходимое оборудование, снаряжение, продовольствие, одежда. Севэкспедиция базировалась в четырех городах. В Петрограде, в помещении Геологического музея Российской Академии наук, находился Ученый Совет и отделение поддерживающее связь со всеми организациями, занимавшимися

учением Севера. В Москве, в доме № 7 по Мамоновскому переулку, размещалось представительство для связи с центральными учреждениями РСФСР. В Архангельске, в доме № 35 по Пинежской улице находилось хозяйственное руководство СНПЭ. В Вологде, в доме № 9 на площади Борьбы, располагалась база по снабжению снаряжением и оборудованием отрядов экспедиции.

Летом 1921 г. Севэкспедиция направила на Север 23 самостоятельных отряда, в которых насчитывалось в общей сложности более 400 сотрудников. Работы велись на побережье Белого моря, на Кольском полуострове, в районе пролива Югорский Шар, в бассейне реки Печоры, т. е. в европейской части Севера. Выполнялись преимущественно такие исследования, которые обеспечивали вопросы рыболовства, оленеводства, зверобойного промысла и т. п. Проводились также геологические изыскания угля и нефти в районе Ухты, на Печоре и Новой Земле, апатитов на Кольском полуострове и др. С годами объем работ экспедиции возрастал, причем исследования распространились и на азиатскую часть крайнего Севера.

В связи с расширением района и состава работ Северной научно-промысловой экспедиции она была преобразована приказом ВСНХ № 522 от 2 марта 1925 г. в научно-исследовательский институт по изучению Севера (ИИС). Наряду с биолого-промысловыми и геологическими работами в нем успешно развивались океанографические, метеорологические, геофизические и общегеографические исследования. Институт по Изучению Севера находился в Ленинграде на Васильевском острове (Съездовская линия, дом № 1/3).

В конце 20-х — начале 30-х годов в нашей стране резко усиливается интерес к Арктике, к изучению и освоению природных богатств Крайнего Севера. Стремительно развивавшееся народное хозяйство страны требовало регулярного мореплавания в морях, омывающих берега Сибири — Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском. С применением ледоколов при надежной радиосвязи с вновь построенными береговыми полярными станциями все возрастающей изученности гидрометеорологии арктических широт, особенно Карского, грузовые рейсы пароходов становятся менее рискованными, приобретают характер нормальных морских перевозок. К 1930 г. объем грузоперевозок одной только Карской экспедиции (плавание в устье Оби и Енисея и далее в глубинные районы Сибири за хлебом) составил 143 тыс. т. На российском крайнем Севере увеличивается население, возникает крупная промышленность, Арктика обживается. Наступает время глубоких перемен, которые коснулись всех сторон жизни и деятельности людей в Арктике, включая и сферу изучения ее природных условий.

В навигацию 1929 г. направленная на Землю Франца-Иосифа ольшая экспедиция на л/п «Г. Седов» (начальник экспедиции — Ю. Шмидт, капитан судна — В. И. Воронин) построила там бухте Тихой самую северную в мире геофизическую обсерваторию.

рию. Кроме того, эта экспедиция, а также экспедиции на л/к «Малыгин» и судне «Ломоносов», выполнили большие океанографические работы в ранее не изученных районах Баренцева и Карского морей. В том же 1929 г. Институт по изучению Севера становится широко известным в нашей стране и за рубежом по тому, как экспедиция на л/к «Красин» (начальник экспедиции Р. Л. Самойлович) успешно выполнила операции по снятию дрейфующих льдов группы итальянцев — участников полета дирижабле «Италия», потерпевшем аварию на обратном пути полюса в Европу.

В 1930 г. экспедиция на л/п «Г. Седов» (начальник экспедиции — О. Ю. Шмидт, капитан судна — В. И. Воронин) открыла в северной части Карского моря остров, существование которого было предсказано В. Ю. Визе по данным анализа характера дрейфа льдов в этом районе моря. Остров был назван о-вом Визе. Кроме того, экспедиция открыла еще ряд островов в северной и восточных частях этого моря и высадила на Северную Землю группу зимовщиков: полярника Г. А. Ушакова, геолога Н. Н. Уланова, радиста В. В. Ходова, промысловика С. П. Журавлева. Эта героическая четверка в течение двух последующих лет исследовала архипелаг и нанесла на карту очертания четырех больших и многих малых его островов, выполнила геологические и другие изыскания.

По Постановлению Президиума Центрального Исполнительного Комитета (ЦИК) СССР от 29 ноября 1930 г. институт был переведен из системы ВСНХ в систему Комитета по заведованию учеными и учебными заведениями ЦИК СССР и переименован в **Всесоюзный Арктический институт (ВАИ)**. При этом в Постановлении подчеркивалось, что ВАИ не только организует средствами Института изучение полярных областей, но и является центральным плановым руководящим органом в деле объединения и других организаций, ведущих аналогичную работу.

Институты ВСНХ были отраслевыми, обслуживающими непосредственные запросы соответствующих отраслей народного хозяйства. Перед ВАИ теперь были поставлены гораздо более широкие задачи по изучению Арктики для обеспечения интересов всех работавших здесь ведомств.

Такое изменение ведомственной принадлежности и названия, а также уточнение круга исследований и географического ареала работ института сопровождалось сменой руководства — директором ВАИ был назначен профессор Отто Юльевич Шмидт (с 1935 г. — действительный член АН СССР, а с 1937 г. — Герой Советского Союза), ученый разносторонних научных интересов, хороший организатор, человек чрезвычайно энергичный и инициативный. Заместителями директора были назначены Р. Л. Самойлович и В. Ю. Визе.

Летом 1931 г. Всесоюзный Арктический институт переехал в предоставленное ему помещение по адресу: набережная реки Фонтанки, дом № 34, бывший дворец графов Шереметевых, из

ственный также под названием «Фонтанного дома». Институт занимал сначала лишь часть здания, но к середине 50-х годов уже все помещения дворца были переданы в распоряжение института. Однако «Фонтанный дом» не был приспособлен для работы научного учреждения.

В 1985—1986 гг. институт переехал на Васильевский остров специально построенный для него комплекс современных зданий, расположенных по адресу: ул. Беринга, дом № 38.

В июле—сентябре 1932 г. экспедиция под руководством Ю. Шмидта и В. Ю. Визе (заместитель начальника экспедиции и научной части) на л/п «А. Сибиряков» (капитан — В. И. Воронин) впервые в истории мореплавания прошла за одну навигацию от Архангельска до Берингова пролива и далее в Тихий океан, т. е. по всей трассе Северного морского пути, доказав возможность и целесообразность регулярного плавания из портов европейской части страны в порты Дальнего Востока по кратчайшему морскому пути, проходящему в отечественных территориальных водах. Это событие имело большое народнохозяйственное значение.

По Постановлению Совета Народных Комиссаров СССР за № 1874 от 17 декабря 1932 г. было образовано новое ведомство союзного масштаба — **Главное управление Северного морского пути** (сокращенно — Главсевморпути или ГУСМП). В Постановлении для Главсевморпути была определена цель: «Проложить окончательно Северный морской путь от Белого моря до Берингова пролива, оборудовать этот путь, держать его в исправном состоянии и обеспечить безопасность плавания по этому пути».¹ Главсевморпути сыграло выдающуюся роль в развитии и освоении Арктики вообще и становлении полярной науки, в частности. Начальником Главсевморпути был назначен О. Ю. Шмидт. Всесоюзный Арктический институт вошел в состав Главсевморпути в качестве его научного центра. Директором ВАИ вновь стал Р. Л. Самойлович.

В 1953 г. Главсевморпути перестало быть союзным ведомством, замыкающимся непосредственно на Совет Министров СССР. Сначала оно было включено в состав Министерства морского флота в качестве его структурного подразделения, но со значительно меньшими функциями и правами, чем раньше. В состав Министерства морского флота перешел и Арктический научно-исследовательский институт. Затем Главсевморпути было упразднено. В 1963 г. по решению Правительства СССР Арктический и антарктический научно-исследовательский институт был передан из системы Министерства морского флота в систему Гидрометслужбы, ныне Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

¹ М. И. Белов. Советское арктическое мореплавание 1917—1932 гг./История открытия и освоения Северного морского пути, т. III. — Л.: Морской транспорт, 1959, с. 437.

Летом 1932 г. было проведено еще 15 экспедиций в арктические моря на судах «Ф. Литке», «Таймыр», «Садко» и др., а также созданы самая северная в мире полярная станция на о-ве Рудольфа (архипелаг Земля Франца-Иосифа) и станция на мысе Челюскин — самой северной точке европейско-азиатского континента. Арктический институт активно участвовал в проведении в Арктике крупнейшего научного мероприятия — Второго международного полярного года с августа 1932 г. по август 1933 г. В его выполнении участвовали представители 44 стран, среди которых наша страна занимала ведущее положение. В частности, число наших береговых полярных станций проводивших научные наблюдения, увеличилось в этот период вдвое — с 13 до 26. Было организовано, в основном силами ВАИ, 15 вышеупомянутых экспедиций, работы которых охватили все наши северные моря — от Баренцева до Чукотского. Масштаб научно-исследовательских работ, проведенных нашей страной в Арктике в 1932 г. выдвинул ее на первое место среди других государств.

В навигацию 1933 г. была предпринята попытка пройти за одну навигацию по всей трассе Северного морского пути на обычном транспортном судне «Челюскин», корпус которого был лишь несколько усилен ледовыми подкреплениями. Попытка не увенчалась успехом. Судно экспедиции (начальник — О. Ю. Шмидт, капитан судна — В. И. Воронин) с большим трудом прошло от Мурманска до южной части Чукотского моря, но в непосредственной близости от Берингова пролива было зажато льдами, попало в ледовый плен, а 14 февраля 1934 г. п/х «Челюскин» был раздавлен льдами и затонул. Члены экспедиции и команда судна вынуждены были перейти на дрейфующие льды Чукотского моря, образовав знаменитый в то время «лагерь Шмидта».

С середины 30-х годов российская полярная наука расширяла исследования, охватывая Арктический бассейн — центральную наиболее труднодоступную часть Северного Ледовитого океана. В навигации 1935, 1936 и 1937 гг. проведены три **Высокоширотные судовые экспедиции (ВСЭ)** на л/п «Садко», которые выполнили гидрометеорологические, геофизические и биологические исследования ряда северных районов арктических морей, а также участков Арктического бассейна, расположенных к северу от Шпицбергена и Северной Земли.

21 мая 1937 г. Первая Высокоширотная воздушная экспедиция (ВВЭ) «Север-1» (начальник экспедиции — О. Ю. Шмидт, начальник летного отряда — М. В. Водопьянов) высадила в районе Северного полюса первую в мире дрейфующую станцию «Северный полюс-1» (И. Д. Папанин — начальник, П. П. Ширшов, Е. К. Федоров, Э. Т. Кренкель). Станция была снята 19 февраля 1938 г. в Гренландском море.

С весны 1954 г. до последнего времени на льдах Арктического бассейна дрейфовали, непрерывно сменяя одна другую после годичного дрейфа, две дрейфующие станции «Северный полюс», организацией и проведением которых занимался наш институт.

мену персонала этих станций и операции по снабжению их всем необходимым выполняли ВВЭ «Север». Одновременно ВВЭ проводили гидрологическую съемку с посадкой самолетов в ряде точек для выполнения разовых станций. Многолетние данные наблюдений, полученные на станциях «Северный полюс» и ВВЭ «Север», являются натурной основой практически всех наших знаний природных условиях Арктического бассейна. В частности, они широко использовались при разработке «Атласа Северного Ледовитого океана», изданного в 1980 г. и «Атласа Арктики», опубликованного в 1985 г.

К сожалению, работы на дрейфующих станциях в настоящее время не проводятся в связи с сокращением финансирования научных исследований. На последней по счету станции «Северный полюс-31» наблюдения прекратились в июле 1991 г. вследствие слома льдины, на которой располагалась станция.

Несмотря на то, что с переходом в систему Главсевморпути в 1932 г. основной задачей института было обеспечение потребности мореплавания в Арктике, перестройка структуры и тематики Института шла медленно. Неудовлетворительные итоги тяжелых по льдовым условиям арктических морских навигаций 1937 и 1938 гг., когда на вынужденную зимовку в Арктике остались десятки судов, со всей убедительностью показали необходимость коренного изменения направленности научных исследований ВАИ и соответственного изменения его структуры.

В 1939 г. в соответствии с приказом по ГУСМП была осуществлена реорганизация института. Он получил название **Арктического научно-исследовательского института (АНИИ)**. Его основными научными подразделениями стали: **ледовый отдел, отдел ледяной гидрологии, отдел метеорологии и отдел геофизики**. Эти четыре отдела с тех пор и до настоящего времени входят в число ведущих научных отделов института, причем ледовый теперь называется **отделом ледового режима и прогнозов**, а отдел морской гидрологии — **отделом океанологии**.

За прошедшие с того времени годы специалисты именно этих отделов внесли определяющий вклад в познание природных явлений полярных областей Земли, выявили основные закономерности гидрометеорологического режима и геофизических явлений Арктики и Антарктики, разработали методы соответствующих прогнозов и расчетов различных пространственно-временных масштабов, оставили многочисленные научно-прикладные пособия (атласы, справочники и др.) для обеспечения запросов народного хозяйства страны.

В частности, полярными метеорологами было выявлено и изучено такое явление, как «потепление Арктики» в 20-х — 50-х годах XX в., установлены изменения характеристик озонового слоя и поведение так называемой «озоновой дыры» в полярных областях, инициирована постановка вопроса о создании системы мониторинга природной среды Арктики в условиях антропогенного воздействия и заложены основы такой системы. В историческом

аспекте вклад России в исследование арктической климатической системы не имеет себе равных среди вкладов других стран.

Отдел ледового режима и прогнозов неизменно сохраняет свое естественное лидирующее положение в институте как по широте и значению выполняемой в нем научной тематики, так и по внедрению ее результатов в практику, в особенности в создание функционирование высокоэффективной системы гидрометеорологического научно-оперативного обеспечения мореплавания по Северному морскому пути и других отраслей нашего народного хозяйства в Арктике и Антарктике.

Геофизики института внесли большой вклад в развитие полярной науки. В частности, крупным достижением отдела геофизики стала разработка, а в последующем и внедрение в практику метода и аппаратуры наклонного зондирования атмосферы, позволяющих определять диапазон наивыгоднейших частот радиосвязи для любого времени суток и сезона года. Со второй половины 70-х годов в европейской части России действует единая система наклонного зондирования, обеспечивающая интересы нескольких министерств.

Океанологами разработаны основные положения общей теории формирования гидрологического режима Северного Ледовитого океана, оценена его роль и место в термическом и динамическом режиме Мирового океана, созданы научные основы следящей прогнозирующей системы (СПАС) с целью мониторинга Северного Ледовитого океана и получения информации о его фактическом состоянии.

По мере уточнения научных задач института, исследования геологической, биологической и промысловой направленности постепенно, в течение 30-х годов, были переданы другим учреждениям — Институту полярного земледелия, Горногеологическому управлению Главсевморпути, Институту рыбного хозяйства и др.

В навигацию 1936 г. начали свою работу так называемые «ледовые патрули», т. е. экспедиции на небольших судах, в задачу которых входило сначала слежение за положением кромки льдов в арктических морях в теплый период года, а также выполнение гидрологических съемок по стандартной программе. Уже во второй половине 40-х годов, в связи с совершенствованием методики ледовой разведки, слежение за кромкой льдов с судов постепенно утрачивает свое значение, и проведение гидрологической съемки выходит на первый план в работах патрулей. В 50—70-х годах три патрульных судна успевали выполнить гидрологическую съемку морей Карского, Лаптевых и Чукотского 2—4 раза за навигацию, а Восточно-Сибирского — 2—3 раза. Ценнейшие многолетние материалы, собранные патрулями, явились основой наших знаний о гидрологическом режиме арктических морей.

К сожалению, начиная с 80-х годов, когда действовавшие ранее патрульные суда отслужили свой век, должной замены им не нашлось. Съемка морей утратила свою регулярность, не охватывала всей их акватории; уникальный ряд гидрологических наблю-

дений был существенно нарушен. Правда, в последние годы ситуация стала улучшаться в основном за счет совместного финансирования и проведения экспедиционных работ с зарубежными коллегами: норвежцами в Карском море (с 1989 г.), американцами и японцами в Чукотском море (с 1990 г.), немцами в море Лаптевых (с 1993 г.).

С 1926 г. используется **авиация** для проводки судов во льдах в Арктике. По мере накопления опыта такой проводки уже в 30-х годах специалисты института совместно с летчиками полярной авиации начали отработку методики так называемой «ледовой разведки», т. е. совокупности приемов визуальных наблюдений с самолета за состоянием льдов и их картирования.

Ледовая разведка подразделяется на оперативную и стратегическую. Оперативная разведка выполняется в период арктической навигации на ограниченных участках трассы Северного морского пути для проводки во льдах отдельных судов и караванов. В этом виде разведка является частью системы научно-оперативного обеспечения мореплавания и замыкается на так называемые штабы морских операций, создаваемые на Диксоне, в Тикси и Певеке на период летней арктической навигации для всестороннего руководства мореплаванием по Северному морскому пути и другими видами работ. Стратегическая разведка проводится начиная с 1939 г. на обширных пространствах в заданные сроки, по заданным маршрутам с целью получения данных о льдах для изучения закономерностей ледового режима Северного Ледовитого океана.

Методика визуальной ледовой разведки, разработанная ААНИИ, отличается высоким научным и техническим уровнем, постоянно совершенствуется и, несмотря на созданные и создаваемые перспективные методы инструментальных наблюдений за льдами, до сих пор сохраняется в арсенале ученых как важный способ получения всесторонней информации о морском ледовом покрове. Эта методика используется также на замерзающих неарктических морях России.

Во второй половине 30-х годов началось формирование **системы научно-оперативного гидрометеорологического обслуживания** мореплавания по Северному морскому пути и других отраслей народного хозяйства Крайнего Севера — системы, которая очень быстро достигла высокого уровня. Первую ступень этой системы составляют результаты тематических разработок специалистов института, раскрывающие закономерности ледового, гидрологического и метеорологического режима арктических морей, Арктического бассейна и устьевых областей крупных рек Арктики. Созданные на основе этих разработок методы прогноза и расчета гидрометеорологических характеристик по трассе Северного морского пути, а также соответствующие научно-прикладные и справочные пособия являются второй ступенью системы. И, наконец, третья, завершающая ступень системы — это работа научно-оперативных групп непосредственно в Арктике, в составе штабов мор-

ских операций на Диксоне, в Певеке и Тикси. Ранее, приблизительно до середины 80-х годов, научно-оперативные группы формировались из сотрудников института, а в дальнейшем — из специалистов управлений Гидрометслужбы.

Научно-оперативные группы, располагающие необходимыми историческими и текущими гидрометеорологическими данными методическими и научно-прикладными пособиями, обеспечивают всех потребителей (моряков, летчиков, геологов) соответствующей информацией и прогнозами, выдают рекомендации о наиболее рациональных путях плавания судов и полетов самолетов. В составлении прогнозов, особенно долгосрочных и среднесрочных, участвуют соответствующие научные отделы института. Научно-оперативное гидрометеорологическое обеспечение морских операций явилось качественно новым этапом в освоении Северного морского пути — переходом от самостоятельных плаваний отдельных судов по ограниченным участкам ледовой трассы к проводкам караванов судов ледоколами по всей трассе в соответствии с рекомендованными штабами маршрутами. Система научно-оперативного гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства Крайнего Севера представляет собой яркий пример тесного и плодотворного союза науки и практики.

В 40-е годы в институте формируется новое важное направление работ: исследование арктических льдов как физического тела и гидрофизических полей Северного Ледовитого океана методами точных и инженерных наук. В 1944 г. была создана **ледоисследовательская лаборатория** под руководством профессора И. С. Пещанского, выполнявшая исследования механических характеристик льдов (прочность, грузоподъемность и др.), а также разрабатывавшая методы активного разрушения льдов — главного препятствия для мореплавания по Северному морскому пути.

В середине 50-х годов организована **гидроакустическая лаборатория** под руководством В. В. Богородского (впоследствии члена-корреспондента АН СССР), где изучались физические свойства льда, акустические и оптические поля Арктического бассейна и арктических морей, другие проблемы гидрофизики полярных вод. В дальнейшем гидроакустическая лаборатория была преобразована в **отдел радиофизических исследований**, а затем в **отдел физики льда и океана**, в состав которого в 1977 г. вошла ледоисследовательская лаборатория.

В настоящее время отдел физики льда и океана — одно из основных научных подразделений института. Отдел ведет исследования структуры, физико-механических, теплофизических, акустических, оптических и электрических характеристик морских и пресноводных льдов, ледниковых покровов суши и снежного покрова Арктики и Антарктики, а также состояния и изменчивости гидрофизических полей полярных акваторий. Эти исследования явились основой для разработки современной структурно-генетической классификации льдов природных водоемов, обеспечили становление и успешное развитие нового направления полярной

еофизики — радиогляциологии, создали научную основу автоматизированного дешифрирования спутниковой информации в ИК и СВЧ диапазонах. Отдел разрабатывает и применяет разнообразные современные средства и методы исследований — контактные и дистанционные, основывающиеся на достижениях современной радиофизики, сейсмоакустики, электроники и т. д. В состав этого отдела входит **лаборатория физического моделирования** (на Ладожском озере), где проводятся первые испытания создаваемых в отделе гидрофизических и других приборов перед применением их в Арктике и Антарктике.

В 30-х годах в институте стали выполняться исследования по проблеме взаимодействия корпуса судна со льдом и образовано кораблестроительное бюро, впоследствии преобразованное в **отдел ледовых качеств судов**. Исследования в отделе ведутся по двум основным направлениям: сопротивление льда движению судна (ледовая ходкость) и работа конструкций корпуса судна на восприимчивые ледовых нагрузок (ледовая прочность).

В отделе в 1955 г. создан первый в мире ледовый опытовый бассейн, послуживший прототипом для всех современных зарубежных ледовых бассейнов. К числу научных достижений отдела следует отнести разработку основ и совершенствование теории моделирования движения судна во льдах, создание первой в мире теоретически и экспериментально обоснованной методики расчета ледовых нагрузок на корпуса судов, разработку основ методики натурных испытаний ледовых качеств судов. В 1991 г. вступил в строй новый, более современный ледовый опытовый бассейн. Благодаря его техническим возможностям существенно расширена программа модельных испытаний отдела.

Концепция ледового паспорта, разработанная в отделе в 50—60-е годы, получила широкое практическое применение: им снабжены 16 типов судов ледового плавания. Совершенствование методов расчета безопасных режимов эксплуатации судов и имитационная модель движения судов во льдах, также разработанная в отделе, послужили научной основой для постановки темы по разработке методики численной оценки риска эксплуатации судов и шельфовых сооружений в акваториях, покрытых льдом.

Большое значение в формировании гидрологического режима арктических морей, а также в экономике Крайнего Севера имеют крупные судоходные реки Арктики — Енисей, Обь, Лена, Индигирка, Колыма и др. К исследованиям гидрологии и льдов устьевых областей рек институт приступил в начале 30-х годов. Уже в 1933—1938 гг. здесь работало большое число экспедиций и береговых полярных станций, наблюдения на которых позволили ученым института выполнить соответствующие научные разработки и в предвоенные годы заложить основы научно-оперативного обслуживания речного судоходства информацией и прогнозами.

В институте в 30-х годах в составе гидрологического отдела существовал речной сектор, который в начале 50-х годов был реорганизован в самостоятельный отдел, в настоящее время — **отдел**

гидрологии устьев рек и водных ресурсов (ОГУР и ВР). Отдел выполняет обширные исследования в области гидрологии и ледоведения устьевых областей рек Арктики. В частности, отдел внес большой вклад в создание фундаментального труда по водным ресурсам Земли, отмеченного Государственной премией СССР за 1981 г.¹

В годы Великой Отечественной войны ААНИИ обеспечивал как потребности обороны страны — флота и авиации, так и запросы народного хозяйства в Арктике. Значение Северного морского пути резко возросло: он стал единственной артерией, связывающей запад и восток нашей страны. Западная часть Арктики — от границы с Норвегией до Тикси являлась частью Северного фронта. В Карском море немецкие военные корабли топили наши транспортные и научные суда, разрушали береговые полярные станции.

В начале войны ААНИИ был эвакуирован из блокированного Ленинграда в Красноярск и возвратился только во второй половине 1944 г. Однако ни сокращение экспедиционной деятельности, ни эвакуация в Красноярск не снизили научной активности и практической отдачи института. Его основной состав, экспедиции и научно-оперативные группы в Арктике бесперебойно обеспечивали военный флот и авиацию, а также гражданское мореплавание и другие отрасли народного хозяйства всеми видами научной продукции: гидрометеорологической и ледовой информацией и прогнозами по арктическим морям, рекомендациями по выбору наиболее рациональных путей плавания судов по участкам трассы Северного морского пути, научно-прикладными пособиями различного характера и назначения. Несмотря на все попытки фашистского командования блокировать Северный морской путь, эта важнейшая для страны морская трасса всю войну действовала бесперебойно. Безусловно, в этом есть большая заслуга и сотрудников Арктического института.

После окончания войны расширяются экспедиционные работы института в Арктике как в арктических морях, так и в Арктическом бассейне. В частности, высокоширотные воздушные экспедиции «Север», проводившиеся с 1948 г., полностью изменили существовавшее ранее представление о рельефе дна Арктического бассейна.

Организация службы погоды в Арктике началась еще в 1925 г. В 1934 г. начал свою работу Арктический отдел Центрального управления Единой гидрометслужбы, созданной при Полярном управлении Главсевморпути. Растущая заинтересованность мореплавателей по Северному морскому пути и полярной авиации в надежном метеорологическом обеспечении обусловили создание в институте в 1945 г. **отдела долгосрочных метеорологических прогнозов (ОДМП)**, который возглавил выдающийся советский

¹ Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. — Л.: Гидрометеониздат, 1974. — 638 с.

метеоролог проф. Г. Я. Вангенгейм. В основу составляемых отделом прогнозов был положен разработанный Г. Я. Вангенгеймом и развитый в дальнейшем проф. А. А. Гирсом макроциркуляционный метод, названный так потому, что он базируется на закономерностях развития крупномасштабных атмосферных процессов северного полушария и специфики их проявления в физико-географических условиях Арктики. На основе этого метода в настоящее время составляются метеорологические прогнозы (давление атмосферы, температура воздуха, ветер) заблаговременностью 10—12 месяцев (так называемые фоновые прогнозы), 3—5 месяцев, а также прогнозы малой заблаговременности на 3 и 8—10 суток. Первые используются для планирования морских операций и другой деятельности на предстоящую навигацию, а вторые — при текущем обеспечении навигации.

Географические исследования проводятся с первых лет существования института. В 1945 г. для изучения природных условий островной и континентальной суши Арктики, а также истории освоения Северного морского пути в институте организуется отделение, преобразованное затем в отдел географии и истории. В 1970 г. путем объединения с отделом антарктических исследований создается существующий ныне **отдел географии полярных стран**, дополнительной задачей которого становится изучение природных условий Антарктиды. Мировую известность получили результаты исследований географов, геоморфологов, гляциологов, историков, работавших в отделе на протяжении прошедших пяти десятилетий.

В многочисленных статьях и монографиях ими дано достаточно полное общегеографическое описание всех основных регионов суши Арктики, дана общегеографическая характеристика наиболее важных регионов Антарктиды, а также установлены основные закономерности, касающиеся общности и различия зон полярных пустынь в северном и южном холодных (полярных) поясах, включая характеристику особенностей их растительного и животного мира. Выполнены палеогеографические и палеоклиматические реконструкции для ряда ключевых районов Арктики и Антарктиды. Материалом для них явились результаты изучения разрезов четвертичных отложений и особенно ледяных кернов из глубоких скважин, пробуренных в ледниках и охватывающих изменения климата и окружающей среды за последние 250 тыс. лет.

В составе института всегда имелось подразделение, которое занималось вопросами технического оснащения экспедиционных исследований в полярных условиях. В настоящее время это — **отдел разработки и исследования гидрометеорологических станций и постов (РИГМСиП)**. В 40—70-х годах сотрудник этого отдела, выдающийся конструктор гидрометеорологической техники Ю. К. Алексеев создал большое число приборов, получивших широкое применение в экспедициях, причем не только в Арктике и Антарктике: буквопечатающую вертушку для измерения морских течений (БПВ), радиовеху, дрейфующую радиометеорологи-

ческую станцию (ДАРМС), лебедку «Северный полюс», грунто-вую трубку, малогабаритный батометр и др. В частности, БПВ проста по устройству, удобна и надежна в работе, дешевая, она широко применяется у нас в стране и за рубежом. К сожалению, в настоящее время наша промышленность не изготавливает ни этого прибора, ни его модификации — электрифицированного самописца течений (ЭСТ).

В 70—80-х годах в ААНИИ при участии специалистов Рижского завода гидрометприборов был сконструирован современный электронный прибор АЦИТ — автоматический цифровой измеритель течений, температуры воды, электропроводности воды, глубины погружения прибора, а также уровня открытого моря (в одной из модификаций прибора). Прибор изготавливается большими сериями и применяется в экспедициях Росгидромета и других ведомств, изучающих океаны и моря.

С середины 50-х годов в трех пунктах на трассе Северного морского пути — на Диксоне, в Тикси и Певеке — действовали небольшие филиалы института — **арктические научно-исследовательские обсерватории (АНИО)**, штат каждой из которых состоял всего из 25—30 человек. Сотрудники обсерватории не только активно участвовали в научно-оперативном обслуживании арктического мореплавания, но и вели исследовательскую работу. В середине 60-х годов АНИО были включены в качестве научных подразделений в состав территориальных управлений Росгидромета — Диксонского, Тиксинского и Певекского УГМ. Бесспорно, АНИО сыграли свою положительную роль не только как форпосты науки, наиболее приближенные к изучаемому ими региону и обслуживаемому потребителю, но и как центры, в которых формировались кадры полярников, особенно хорошо знающие условия жизни и работы в Арктике.

Россия ведет крупномасштабные **комплексные исследования в Антарктике**, начатые в связи с подготовкой и проведением Международного геофизического года (МГГ) и проводимые в соответствии с международным договором об Антарктике, подписанным в Вашингтоне 1 декабря 1959 г. 12 государствами, в том числе и Россией, и вступившим в силу 23 июня 1961 г. Датой начала российских исследований в Антарктике можно считать 4 января 1956 г., когда к берегам ледяного континента подошел д/э «Обь» — флагманское судно нашей Первой Комплексной антарктической экспедиции (сокращенно КАЭ). Начальником экспедиции был Герой Советского Союза Михаил Михайлович Сомов.

По распоряжению Совета Министров СССР от 25 июня 1958 г., № 1978 была организована Межведомственная комиссия по изучению Антарктики. При этом вся работа по организации и координации исследований на шестом континенте и в Южном океане была возложена на наш институт, который в связи с таким расширением своей деятельности был одновременно переименован в **Арктический и антарктический научно-исследовательский**

институт (ААНИИ). С 1959 г. экспедиция стала называться Советской антарктической экспедицией (САЭ).

7 августа 1992 г. Президент Российской Федерации Б. Н. Ельцин подписал Указ № 824, в соответствии с которым бывшая Советская антарктическая экспедиция преобразована в Российскую антарктическую экспедицию (РАЭ).

Экспедиция ответственна за организацию и обеспечение всех исследований, выполняемых в Антарктике не только специалистами ААНИИ, но и всеми другими российскими учеными, независимо от их ведомственной принадлежности. А руководство и контроль за деятельностью Российской антарктической экспедиции возлагаются на Федеральную Службу России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Российские научные работы в южной полярной области крупномасштабны. В этом отношении наша страна опережает другие государства. Пожалуй, все разделы наук о Земле представлены в программе работ экспедиции. Изучается земной шар от поверхности до ядра, гидросфера, льды океана, атмосфера до максимальных высот, ледниковый покров суши, ионосфера, магнитосфера и космические лучи. Исследуются растительный и животный мир и адаптация человека к суровым антарктическим условиям.

В выполнении научных исследований и инженерно-технических работ в РАЭ участвуют, помимо организаций Федеральной Службы России по гидрометеорологии и мониторингу природной среды, также учреждения и организации Российской Академии наук Министерства транспорта, Главного управления по геодезии и картографии, Комитета по геологии и использованию недр при Правительстве Российской Федерации и ряда других ведомств. Ежегодно в Антарктику направляется очередная антарктическая экспедиция. В 1995 г. в Антарктиде работает 40-я РАЭ и идет подготовка к 41-й РАЭ.

Для выполнения программ круглогодичных и сезонных исследований за прошедшие годы было создано 14 круглогодично действующих научных станций (табл. 1) и 11 сезонных станций, предназначавшихся для выполнения в основном геолого-геофизических наблюдений (табл. 2). Часть станций РАЭ после выполнения программ работ, а в последние годы также и из-за недостатка финансовых средств, была закрыта. В настоящее время продолжают работать следующие круглогодичные российские станции: Молодежная, Мирный, Новолазаревская и Беллинсгаузен. Внутриконтинентальная станция Восток в январе 1994 г. была законсервирована до декабря 1994 г. Она возобновила работу в 40-й РАЭ. Все наши станции расположены в важных в научном отношении точках антарктического материка, занимают оазисные территории и ключевые географические позиции. В Южном океане научные работы проводятся отрядами с борта судов РАЭ, причем суда выполняют также транспортные операции по смене персонала и снабжению береговых станций.

Развитая инфраструктура на береговых станциях РАЭ вклю-

Таблица 1

**Основные сведения о российских круглогодичных научных станциях
в Антарктиде**

Название	Дата открытия	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Численность персонала
		широта	долгота		
Мирный	13.02.56	66°33'	93°01' в.	35	43—145
Пионерская	27.05.56	69 44	93 30 в.	2741	4—5
Оазис	15.10.56	66 16	100 45 в.	29	2—14
Восток-1	12.04.57	72 08	96 35 в.	3252	8
Комсомольская	6.11.57	74 06	94 30 в.	3500	2—7
Восток	16.12.57	78 28	106 48 в.	3488	12—27
Советская	16.02.58	78 23	87 32 в.	3662	6
Лазарев	10.03.59	69 59	12 55 в.	24	7—11
Новолазаревская	18.01.61	70 40	11 50 в.	99	12—28
Молодежная	23.02.62	67 40	45 50 в.	42	11—147
Беллинсгаузен	22.02.68	62 12	58 54 в.	14	11—23
Ленинградская	25.02.71	69 30	159 24 в.	304	7—17
Русская	9.03.80	74 43	137 07 з.	100	11—13
Прогресс	1.04.88	69 24	76 24 в.	64	15—24

Таблица 2

Основные сведения о российских сезонных научных станциях в Антарктиде

Название	Годы работы	Координаты	
		широта	долгота
Многолетние станции			
Содружества	1971—1974	69°42'	73°30' в.
Дружная-1	1975—1985	74 44	40 14 з.
Союз	1982—1988	70 35	68 47 в.
Дружная-3	1986—1991	71 06	10 49 в.
Дружная-4	с 1986 по настоящее время	69 44	73 43 в.
Однолетние станции			
Полюс Недоступности	1958	82°07'	55°02' в.
Дружба	1960	66 43	86 24 в.
Победа	1960	64 39	98 53 в.
Мир	1960	66 45	92 26 в.
Салют	1978	65 32	96 30 в.
Дружная-2	1982	75 36	57 52 в.

чает около 110 крупных капитальных сооружений. Жилые объекты станций общей площадью более 18 тыс. м² позволяют обеспечить размещение почти 600 участников экспедиции. Общая мощность всех дизельэлектрических станций равна 4,5 тыс. кВт. Объем нефтехранилищ на всех станциях позволяет хранить 23 тыс. т различных видов топлива, что полностью обеспечивает бесперебой-

ную работу станций в течение трех лет. В АМЦ Молодежная и на станции Новозаревской созданы и до 1992 г. успешно эксплуатировались аэродромы для трансконтинентальных полетов (из России в Антарктиду и обратно). Для работ во внутриконтинентальных транспортных и научных походах используется специальная гусеничная техника, в том числе снегоходы «Харьковчанка-1», «Харьковчанка-2», тягачи АТТ, ДТ-30П.

Научные материалы, собранные отечественными антарктическими экспедициями, являются основой знаний о природных условиях Антарктики. Они используются при решении глобальных проблем, изучении гидрологических, гидрометеорологических, геологических, гляциологических, геофизических, биологических характеристик, физической географии антарктического региона и при научно-оперативном обеспечении рыболовства и судоходства в Южном океане.

На основе обобщения материалов по метеорологическому режиму, динамике климата и погодным условиям у поверхности и в свободной атмосфере создана модель циркуляции атмосферы над Антарктидой, установлено ее взаимодействие с глобальной атмосферой и выявлены условия формирования над Антарктикой так называемой «озоновой дыры».

Океанологами, участниками РАЭ, исследована циркуляционная система течений Южного океана. Установлены ее пространственные границы, определены средние климатические расходы течений, выявлены их основные потоки, соответствующие фронтальным разделам. Найденные закономерности позволили дифференцированно подходить к определению наиболее продуктивных районов для промыслового использования биологических ресурсов Южного океана.

Ученые-геофизики широко используют возможность проведения постоянных наземных наблюдений в области южнополярного каспа, примыкающего к геомагнитному полюсу, на котором расположена станция Восток. Материковое положение геомагнитного полюса позволяет специалистам, участвующим в РАЭ, получить выводы о механизме взаимодействия «солнечного ветра» с магнитосферой Земли, необходимые для разработки методов диагностики и прогнозирования состояния магнитосферы и ионосферы. Результаты, достигнутые российскими учеными в изучении ледникового покрова Антарктиды, представляют огромный интерес для мировой науки.

Особую ценность для интересов России имеют комплексные геолого-геофизические исследования в Антарктическом регионе. Выполненные крупномасштабные съемки в практически неисследованных осадочных бассейнах морей Уэдделла и Содружества внесли существенные уточнения в представления о нефтегазоносности окраинных морей антарктического материка. Изучение геологического строения горных районов суши и оценка их перспектив на твердые полезные ископаемые, в первую очередь особенно ценные (благородные металлы, алмазы), велись на Антаркти-

ческом полуострове, в горном обрамлении бассейна моря Уэдделла, в горах Земли Королевы Мод, Земли Эндерби, Земли Мак-Робертсона, и Земли Принцессы Елизаветы.

В конце 1992 г. специалистами различных исследовательских организаций Росгидромета, Роскомнедра, Российской Академии Наук, Роскартографии и Росрыбкома была подготовлена перспективная Программа российских антарктических исследований на период до 2000 г. Вахта российских ученых в Антарктике продолжается.

Самое активное участие ААНИИ принял в крупнейшем научном мероприятии — проведении **Международного геофизического года (МГГ)** в период с 15 июля 1957 г. по 31 декабря 1958 г. Работы МГГ, в которых приняло участие 67 государств, были продолжены в последующие годы под наименованием Международного года спокойного Солнца (МГСС), который перерос в Международное геофизическое сотрудничество (МГС).

С 1961 г. в ААНИИ стало развиваться еще одно направление морского ледоведения — изучение условий плавания судов во льдах и разработка на этой основе тактики ледового плавания транспортных судов и ледоколов. Был создан **отдел изучения ледового плавания**, который возглавил инициатор этих работ доктор географических наук П. А. Гордиенко. Разработанная ААНИИ в тесном содружестве с моряками тактика ледового плавания успешно применяется на арктических морских трассах, в Южном океане и на замерзающих неарктических морях России. В дальнейшем этот отдел был объединен с отделом ледового режима и прогнозов.

Начиная со второй половины 60-х годов институт принимает активное участие в **крупномасштабных научных международных и национальных программах**, таких как Программа исследования глобальных атмосферных процессов («ПИГАП»), Полярный эксперимент («ПОЛЭКС»), программы «Разрезы», «Перелив» и ряд других.

Цель программы «ПОЛЭКС» — изучение физических закономерностей многолетних изменений гидрометеорологического режима Арктики и Антарктики как результат крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы. Наиболее крупная экспедиция «ПОЛЭКС — Север-76» была проведена в весенне-летний сезон 1976 г. В южном полушарии работы по программе «ПОЛЭКС-Юг» были начаты в 1975 г., причем основное внимание уделялось исследованию самого мощного океанского потока — Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) как ключа к познанию интенсивности и величины обмена между океаном и атмосферой в Южном океане.

В связи с тем что ААНИИ был назначен головным в системе Госкомгидромета учреждением по проблеме «Взаимодействие океана и атмосферы», а также для организации и координации работ по крупномасштабным научным программам, в институте были созданы два новых отдела — **отдел теории взаимодействия**

океана и атмосферы (1968 г.) и отдел полярного эксперимента (1970 г.). В 1986 г. эти отделы были объединены в единый отдел **взаимодействия океана и атмосферы**. Отделом получены крупные научные результаты в области изучения взаимодействия атмосферы и океана в полярных районах при наличии ледяного покрова и оценки их влияния на климатическую систему.

В 1966 г. в институте были начаты исследования в области полярной медицины. Сначала небольшая группа медиков работала в составе отдела географии полярных стран, а в 1968 г. был создан самостоятельный отдел **полярной медицины**. Выполненные специалистами отдела и врачами полярных экспедиций медико-физиологические, психологические и гигиенические исследования в Арктике и Антарктике положены в основу научных разработок отдела и составленных в нем многочисленных практических пособий, направленных на решение проблемы адаптации человека к жизни и работе в экстремальных климатических и социально-бытовых условиях, на совершенствование системы охраны здоровья работающих как в полярных экспедициях, так и на удаленных и труднодоступных станциях Росгидромета.

За успешное гидрометеорологическое обеспечение мореплавания по Северному морскому пути и других отраслей народного хозяйства Крайнего Севера, а также за достижения в исследованиях природных условий Арктики и Антарктики Арктический и антарктический научно-исследовательский институт в 1967 г. был награжден орденом Ленина.

Долгие годы институт, морские работы которого ограничивались арктическими морями и Арктическим бассейном, не имел собственного флота. Исследования на море велись на судах, арендованных у Министерства морского флота, которое в общем удовлетворяло наши запросы. Однако со временем, по мере расширения исследований института, проводившихся во все более обширных районах Мирового океана, в связи с участием в выполнении крупных научных программ («Разрезы», «ПОЛЭКС» и др.), а также для надежного обеспечения транспортных операций РАЭ, стала более острой необходимость наличия своего флота. Первое научно-исследовательское судно (нис) «Профессор Визе» институт получил в 1967 г. В настоящее время **научный флот института** насчитывает шесть судов, из которых четыре научно-исследовательских, а два — научно-экспедиционных, имеющие большую грузоподъемность и хорошую ледопроходимость, что существенно важно для проведения снабженческих операций в Антарктике (табл. 3). Но, к сожалению, в связи с резким сокращением финансирования исследований в последние годы два из них — «Профессор Визе» и «Профессор Зубов» как научно-исследовательские суда не эксплуатируются.

Оставшиеся в эксплуатации четыре судна в настоящее время обеспечивают выполнение планируемых научных исследований и операций по снабжению и смене персонала российских антарктических станций, а также выполнение научных работ в Северо-

Таблица 3

**Основные сведения о научно-исследовательских судах (нис)
и научно-экспедиционных судах (нэс) ААНИИ (на ноябрь 1994 г.)**

Название	Вид	Дата ввода в эксплуата- цию	Видоизмеще- ние, т	Ледовый класс
«Профессор Визе»	нис	ноябрь 1967 г.	7000	Л
«Профессор Зубов»	нис	ноябрь 1968 г.	7000	Л
«Михаил Сомов»	нэс	май 1975 г.	14 000	УЛА
«Академик Шулей- кин»	нис	июль 1982 г.	2100	УЛ
«Профессор Мульта- новский»	нис	июль 1983 г.	2100	УЛ
«Академик Федоров»	нэс	сентябрь 1987 г.	16 500	УЛА

Европейском бассейне. К сожалению, эти суда лишь в незначительной степени используются для проведения океанологических работ в морях сибирского шельфа (Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском). Флагманом научного флота института является нэс «Академик Федоров», оборудованное современными измерительными системами для наблюдения за состоянием океана, льдов и атмосферы, имеющее 12 научных лабораторий, вычислительный, вертолетный и водолазный комплексы. Силовая установка, обводы корпуса позволяют ему непрерывно двигаться в сплошном льду толщиной 1 м со скоростью не менее двух узлов. Судно, предназначенное для плавания в сложных ледовых условиях и при этом способное перевести более 4000 т различных грузов и 160 участников экспедиции, выполнить комплекс научных исследований, пройти 20 000 миль без пополнения судовых запасов — уникально в своем роде.

В последние годы большинство морских экспедиций проводятся по международным программам, что дает возможность наиболее эффективно использовать сами суда, научное оборудование и аппаратуру. Кроме того, зарубежный партнер покрывает часть расходов экспедиции. Например, так было при организации с борта нэс «Академик Федоров» российско-американской дрейфующей научной станции в Антарктике, в море Уэдделла («Уэдделл-1») в феврале 1992 г. Так было и в марте 1993 г., когда на нис «Профессор Мультиановский» проводились исследования в рамках отечественной и международной программ «Гренландское море» и «АРКТИС-93», и — в июне — сентябре 1994 г., когда впервые на борту нэс «Академик Федоров» была проведена международная комплексная российско-шведская экспедиция «Экология тундры-94», охватившая практически все побережье и моря Российской Арктики, от Кольского полуострова до о-ва Врангеля в весенне-летний период, когда суда такого класса в таких льдах и в такое время года самостоятельно не плавали.

Кроме того, в последние два года практикуется использование нэс «Михаил Сомов» также для снабжения полярных станций

в Арктике. В 1993 г. это были полярные станции, расположенные на юго-западе Карского моря, в Обской губе и Енисейском заливе, а 1994 г. — на Новосибирских островах, мысе Челюскин и в Тикси.

В сложившейся в настоящее время ситуации, когда повсеместно наука ощущает недостаток выделяемых финансовых средств, когда происходит резкое удорожание энергоресурсов, возрастают и эксплуатационные расходы на содержание судов и аренду авиации и т. д., ААНИИ избрал единственно правильный путь, дающий возможность сохранить (пусть в меньшем объеме) экспедиционные работы в полярных морях и на дрейфующих льдах в Арктике — это кооперация с учеными зарубежных стран, осуществление совместных международных проектов.

В 1972 г. был создан Мурманский филиал Арктического и антарктического НИИ для использования части научного потенциала института на углубленное изучение Баренцева, Гренландского и Норвежского морей, организации непосредственных контактов ученых с практическими работниками различных отраслей народного хозяйства Мурманского Севера.

Во второй половине 70-х годов ААНИИ активно участвовал в подготовке и проведении двух плаваний судов в Арктическом бассейне, которые можно назвать историческими. В августе 1977 г. атомный ледокол «Арктика» (начальник экспедиции — министр Морского флота Т. Б. Гуженко, капитан ледокола — Ю. С. Кучиев, руководитель научной группы — И. П. Романов), впервые в свободном плавании достиг Северного полюса. Атомный ледокол «Сибирь» (начальник экспедиции — Б. С. Майнагашев, заместитель начальника экспедиции по научной части — Б. А. Крутских, капитан ледокола — В. К. Кочетков) в мае 1978 г., когда льды в прибрежной полосе еще не взламывались, провел транспортное судно «Капитан Мышевский» по высокоширотной трассе от Мурманска до Берингова пролива. Затем ледокол вернулся обратно тем же путем.

Институт всегда уделял внимание созданию и совершенствованию инструментальных методов наблюдений за ледяным покровом океанов и морей. До середины 60-х годов практически единственным дистанционным средством была аэрофотосъемка, которая широко применялась в экспедициях. Затем совместно с рядом промышленных предприятий и научных учреждений были разработаны, испытаны и внедрены в практику авиационные радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО) «Торос», радиолокационные измерители толщины морского льда, трассовые и сканирующие ИК и СВЧ радиометры. После запуска в эти годы первых метеорологических ИСЗ была разработана методика картографирования распределения и динамики льдов по телевизионным и ИК снимкам и потому ИСЗ стали, наряду с самолетами ледовой визуальной разведки, основным средством ледовых наблюдений.

В сентябре 1983 г. был осуществлен успешный запуск экспериментального спутника «Космос-1500», в состав бортовой аппаратуры которого впервые был включен комплекс радиофизической аппаратуры, основной частью которого является РЛС БО и система сбора информации от автоматических ледовых станций (АЛС). Институт принимал непосредственное участие в создании этого спутника в части методики обработки и использования информации и разработки АЛС. Независимость информации РЛС БО от освещенности и метеоусловий обеспечивает регулярность ледовых наблюдений и приоритет этого типа спутников в общей системе сбора ледовой информации.

В середине 70-х годов были начаты работы по созданию Автоматизированной ледово-информационной системы Арктики (АЛИСА). Эти работы ведет и координирует созданный в 1981 г. **Отдел совершенствования ледово-информационной системы (ОСЛИС).**

Система АЛИСА, принятая в 1986 г. в опытную, а в 1990 г. в промышленную эксплуатацию, включает в качестве структурных подразделений созданный в институте **центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ)** и территориальные Управления Росгидромета и позволяет потребителям всех рангов (от министерств до судов в Арктике) получать метеорологическую и ледовую информацию, а также краткосрочные (один-трие суток) и среднесрочные (трие-восемь суток) ледовые прогнозы для требуемого района, вплоть до всей акватории Северного Ледовитого океана, составленные по данным всех источников — искусственных спутников Земли (ИСЗ), самолетов ледовой разведки, автоматических ледовых станций (АЛС), береговых полярных станций, находящихся в Арктике транспортных судов и ледоколов, а также морских и других научных экспедиций и т. д.

В 1987 г. в институте была создана **лаборатория энергетики атмосферы полярных областей.** В работах лаборатории большое место занимают вопросы диагноза синоптической изменчивости атмосферы в полярных областях и расчета статистических параметров динамики и энергетики атмосферной циркуляции. В числе полученных результатов выводы о существенной неадиабатичности синоптических возмущений, о распределении вихревых переносов, о передаче энергии из вихрей в средние потоки и др.

В мае — июне 1987 г. была проведена первая комплексная экспедиция в приполюсном районе на атомном ледоколе «Сибирь» (начальник экспедиции — А. Н. Чилингаров, заместитель по научной работе — Б. А. Крутских, руководитель научно-оперативной группы — И. Е. Фролов, капитан ледокола — З. А. Вибах). Выполненный экспедицией обширный комплекс научных исследований впервые позволил получить для района высоких широт уникальные сведения о крупномасштабных разломах морского ледяного покрова, об изменчивости содержания озона в приполюсном

районе, о геолого-геодезических особенностях труднодоступных районов Северного Ледовитого океана и др.

В конце 1991 г. в Институте была организована лаборатория «Арктикшельф», основной задачей которой является создание научных основ, разработка и реализация системы гидрометеорологического обеспечения освоения минеральных ресурсов ледовитых районов Мирового океана. Работы лаборатории пока сосредоточены в Баренцевом море, на обеспечении технико-экономических обоснований Штокмановского и Приразломного подводных месторождений нефти и газа.

С первых дней существования институт ведет активную издательскую деятельность. Организует и выполняет эту работу редакционно-издательский отдел ААНИИ. Основные результаты исследований ученых института печатаются в серийных изданиях «Труды Арктического и антарктического научно-исследовательского института»¹, публикуемых с 1920 г. и «Труды Российской Антарктической экспедиции»², публикуемых с 1959 г., а также в монографиях, не входящих в эти серии.

К 1995 г. вышли в свет 483 тома «Трудов ААНИИ», 89 томов «Трудов РАЭ» и более 100 монографий.

Первым периодическим изданием Института стал ежемесячный информационный «Бюллетень Арктического института», выпускавшийся с 1931 по 1936 г. «Бюллетень» давал разностороннюю, содержательную информацию по общим вопросам Арктики и Антарктики, хронику деятельности ВАИ и других учреждений, работающих на Крайнем Севере, сообщения об отечественных и зарубежных экспедициях в полярные страны, о деятельности полярных станций, рецензии на книги, обзоры литературы и др. О высоком научном уровне «Бюллетеня» свидетельствует состав его редколлегии: В. Ю. Визе, В. К. Есипов, Н. В. Пинегин, Р. Л. Самойлович, О. Ю. Шмидт.

Однако крепнущая и расширявшаяся полярная наука требовала не только информационного периодического издания, но и научного, способного обеспечить быстрое опубликование основных итогов научно-исследовательских работ. Поэтому с 1937 г. институт приступил к изданию сборника «Проблемы Арктики», установив его периодичность шесть номеров в год, в объеме 10 печатных листов каждый номер. Этот сборник, сменивший в 1959 г. название на «Проблемы Арктики и Антарктики», издается до настоящего времени. К сожалению, периодичность выхода его в свет, достигавшая в 1937—1938 гг. 12 номеров в год, в дальнейшем зачастую нарушалась, а в последние годы вообще снизилась до 1—2 номеров в год.

¹ В 1920—1924 гг. серия называлась «Труды Северной научно-промысловой экспедиции», в 1925—1930 гг. — «Труды Института по изучению Севера», в 1931—1939 гг. — «Труды Всесоюзного Арктического института», в 1940—1958 гг. — «Труды Арктического научно-исследовательского института».

² До 1991 г. серия называлась «Труды Советской антарктической экспедиции».

В соответствии с международным соглашением институт издает с 1958 г. «Информационный бюллетень Российской антарктической экспедиции».¹ Ежегодно выходят в свет 1—2 номера «Бюллетеня». Всего с начала издания до настоящего времени вышли в свет 118 номеров «Бюллетеня».

Кроме того, в разные периоды Институт публиковал другие сравнительно короткие серии изданий: сборники «*Arctica*» (1933—1937 гг.), «Материалы по изучению Арктики» (1931—1935 гг.), а также большой объем научно-оперативных материалов, документацию проводившихся в институте конференций, симпозиумов, совещаний и другие материалы по профилю своей деятельности.

Большое место в деятельности Института всегда занимали международные научные контакты. Организует эту работу **отдел внешних связей** ААНИИ. Памятными вехами этих связей в прошлом являлись исследования по совместным с учеными многих стран программам в период Второго МПГ в 1932—1933 гг., а также в период МГС — МГСС — МГС в 1957 г. и последующие годы. В тесном сотрудничестве с другими странами ведутся с 1956 г. широкие российские исследования в Антарктике.

В 1987 г. наша страна выступила с инициативой проведения конференции приарктических государств по координации научных исследований в Арктике. Эта конференция состоялась в декабре 1988 г. в Ленинграде в ААНИИ. В конференции участвовало более 500 человек, в том числе около 200 специалистов из США, Канады, Норвегии, Швеции, Дании, Финляндии и Исландии.

В последние годы в наших международных контактах на первый план выходят долговременные, устойчивые связи — работы по совместным научным программам как на многосторонней, так и на двухсторонней основе. Международное сотрудничество используется институтом как средство реализации наших национальных проектов посредством использования технических возможностей зарубежных партнеров, а также путем получения доступа к данным их наблюдений и получения дополнительного финансирования исследований.

На многосторонней основе институт вносит большой вклад в программу «Арктического мониторинга (АМАР)», направленную на определение текущего состояния природной среды Арктики в условиях антропогенных воздействий, участвовал во всех этапах создания Программы «Арктическая климатическая система (ACSYS)». Двухстороннее сотрудничество носит в основном региональный характер. В настоящее время реализуются совместные проекты с норвежскими, немецкими, шведскими, американскими и японскими коллегами.

Российско-норвежская океанографическая программа совместных исследований («РОСНОП») рассчитана на продолжительное сотрудничество. Цель работ в соответствии с ней заключается

¹ До 1991. — «Информационный бюллетень Советской антарктической экспедиции».

з исследовании гидрометеорологии северных районов Гренландского, Баренцева и Карского морей. Выполнение программы началось весной 1989 г. с совместных работ океанологов ААНИИ и Норвегии на российских и норвежских судах, причем в дальнейшем (с 1994 г.) расширен состав работ за счет включения исследований по загрязнению природной среды, биологии моря и др.

Российско-германский проект «Система моря Лаптевых», выполняемый с 1993 г., предусматривает комплексные исследования этого моря, включая климатические, биологические и геохимические аспекты. Научные результаты экспедиций «ЛАПЭКС-93» (лето 1993 г., на судах «Иван Киреев» и «*Polarstern*») и «ЛАПЭКС-94» (лето 1994 г., на судне «Профессор Мультановский») опубликованы соответственно в 1994 и 1995 гг. Совместно с германским Институтом полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (AWI) составлен и издан в 1992 г. большой «Гидрологический атлас Южного океана».

Совместные с учеными США (с 1990 г.) и Японии (с 1992 г.) работы по проекту «Циркуляция вод Берингова и Чукотского морей» отличаются широким комплексом и большим масштабом работ. Проведены пять совместных экспедиций на судах «Профессор Хромов», «Академик Шокальский», «*Alpha Helix*», «*Surveyor*». Уникальным результатом этих работ являются годовые циклы натурных данных (течение, температура и соленость воды, уровень), полученные на 17 автономных станциях в открытой части Чукотского моря. Летом 1994 г. проведена большая российско-шведская экспедиция «Экология тундры-94» на нэс «Академик Федоров», охватившая комплексными исследованиями на море и прилегающей суше обширный район Арктики — от Кольского полуострова до о-ва Врангеля.

Всесторонняя деятельность нашей страны по изучению и хозяйственному освоению Крайнего Севера, успехи, достигнутые уже в 20-х—30-х годах, суровая, но прекрасная природа Севера закономерно привели к идее создания музея. В ноябре 1930 г. Президиум ЦИК (Центральный Исполнительный комитет) СССР вынес постановление об организации **Музея Арктики** в Ленинграде при ВАИ. Открытие музея состоялось 8 января 1937 г. в присутствии начальника Главсевморпути О. Ю. Шмидта. С 1956 г. музей стал демонстрировать также материалы по Антарктике и соответственно стал называться **Музеем Арктики и Антарктики**. Тематика музея направлена в основном на то, чтобы показать природу, быт и условия труда людей в Арктике и Антарктике, продемонстрировать успехи нашей страны в изучении и хозяйственном освоении полярных районов.

Основная информационная база института сосредоточена в его **научно-технической библиотеке (НТБ)** и **Гидрометфонде**. В НТБ имеется около 75 тысяч единиц хранения русской и иностранной литературы по физической географии, гидрометеорологии, геофизике, флоре и фауне Арктики и Антарктики, истории исследований полярных стран и др. Гидрометфонд института представляет со-

бой совокупность неизданных материалов научных наблюдений, выполненных судовыми, дрейфующими, воздушными и другими экспедициями в полярных областях. В настоящее время в отделах института идет сложная и трудоемкая работа по перенесению этих материалов на технические носители и созданию на этой основе современного банка натурной информации.

Нельзя не упомянуть о наших друзьях — полярных летчиках, моряках и гидрографах, совместно с которыми ученые ААНИИ ведут исследования в Арктике и Антарктике. Для ученых-полярников моряки и летчики — не только водители транспортных средств, но надежные и верные помощники, а иногда и полноправные участники научных изысканий. Например, только благодаря совместным усилиям летчиков полярной авиации и гидрологов могла быть отработана методика ледовой разведки и техника посадки самолетов на не оборудованные для приема самолетов дрейфующие ледяные поля Арктического бассейна. В тесном сотрудничестве специалистов ААНИИ и моряков велась разработка научно обоснованной тактики плавания ледоколов и транспортных судов в различных ледовых условиях.

Полярные гидрографы — сотрудники Государственного Гидрографического предприятия Министерства Транспорта проводя свою основную многообразную и трудную работу по обеспечению безопасности плавания судов по трассе Северного морского пути, выполнили огромный объем наблюдений за уровнем моря и течениями в арктических морях. Эту ценную информацию используют в своей работе океанологи ААНИИ. За успехи в изучении Арктики и Антарктики, за проявленные при этом мужество и героизм многие сотрудники института были отмечены правительственными наградами. Высокого звания Героя Советского Союза в различные годы были удостоены В. Х. Буйницкий, М. Е. Острекин, В. Ф. Родченко, М. М. Сомов, Е. К. Федоров, А. Н. Чилингаров, П. П. Ширшов, О. Ю. Шмидт, а звания Героя Социалистического Труда — Н. А. Корнилов, Е. С. Короткевич, И. Г. Петров, А. Ф. Трешников. Лауреатами Государственной премии СССР стали А. П. Балабаев, Н. А. Белов, В. В. Богородский, А. В. Бушуев, В. Ю. Визе, А. В. Гусев, В. В. Иванов, Н. И. Комов, Е. С. Короткевич, Н. В. Мустафин, А. Ф. Трешников.

ААНИИ обладает мощным научно-техническим потенциалом, кадрами высококвалифицированных специалистов, имеющих многолетний опыт проведения тематических и экспедиционных работ в Арктике и Антарктике, способных решать на современном уровне практически любые задачи по исследованию закономерностей природных процессов полярных областей и обеспечению запросов всех заинтересованных отраслей народного хозяйства страны.

В состав ААНИИ входят 17 научных подразделений. Наряду с научными отделами и лабораториями ААНИИ имеет в своем составе Центр ледовой и гидрометеорологической информации, Мировой центр данных «Б» по морскому льду. Российскую антарктическую экспедицию (РАЭ) с береговыми научными стан-

циями в Антарктиде, научно-экспедиционный флот, включая уникальное судно ледокольного типа «Академик Федоров», Музей Арктики и Антарктики, научно-экспериментальные станции «Ладожская» и «Горьковская» под Санкт-Петербургом, специализированный ледовый бассейн, экспериментально-производственный комплекс по разработке и изготовлению исследовательских приборов.

Институт ведет комплексные исследования в Арктике и Антарктике в области морского ледоведения, физики льда, океана и вод суши, гляциологии, океанологии, гидрохимии, гидрологии устьевых областей рек, метеорологии, взаимодействия океана и атмосферы, экологии, геофизики, полярной географии, взаимодействия корпуса судна, а также других инженерных сооружений со льдом, полярной медицины.

ААНИИ осуществляет научные и прикладные разработки, натурные эксперименты, направленные на:

- комплексное развитие фундаментальных научных знаний о процессах, протекающих в природных средах Арктики и Антарктики (ледяном покрове, океане, устьевых областях рек, атмосфере, верхней атмосфере, ионосфере) и взаимосвязях между этими средами;

- сбор, накопление, анализ и распространение данных о состоянии и изменении природных сред, в том числе под влиянием антропогенных воздействий, трансграничных переносов и изменений климата;

- определение долговременных климатических тенденций в полярных областях;

- разработку и совершенствование методов диагноза и прогноза состояния природы полярных регионов;

- развитие на этой основе существующей системы гидрометеорологического, геофизического и экологического обеспечения (включая оперативное) хозяйственной и оборонной деятельности России в полярных регионах, в том числе и обеспечение работ на арктическом шельфе;

- создание технических средств и технологий автоматизированного сбора натурной информации в полярных областях;

- планирование, координацию и проведение комплексных научно-экспедиционных исследований в Арктике и Антарктике с использованием научных судов, авиации, полярных станций и других средств;

- подготовку исследовательских кадров высокой квалификации.

По этим направлениям деятельности ААНИИ располагает крупными научным, научно-техническим, информационным потенциалами и корпусом высококвалифицированных специалистов.

Исследования ААНИИ базируются на обширных массивах комплексных данных наблюдений за льдом, океаном, атмосферой, геофизическими и другими процессами, накопленных за многие десятилетия. Эти данные организованы в виде автоматизирован-

ных справочных систем, баз натуральных данных, математических и физико-статистических моделей природных процессов, методов прогноза и расчета состояния и изменения природных сред, научно-прикладных пособий (атласов, справочников, рекомендаций и др.).

ААНИИ имеет развитые контакты с российскими научными и хозяйственными организациями, компаниями, ассоциациями, работающими в Арктике и Антарктике. Мировая известность ГНЦ РФ — ААНИИ позволяет ему участвовать в международных проектах, экспедициях, симпозиумах, рабочих группах, комитетах и комиссиях, связанных с исследованиями полярных областей Земли, а также активно осуществлять двухстороннее научно-техническое сотрудничество с центрами и институтами США, Канады, Норвегии, Германии, Швеции и многих других государств.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 июня 1994 г. № 648 институту присвоен статус Государственного Научного центра Российской Федерации. Поэтому полное наименование института Государственный Научный центр Российской Федерации — Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ГНЦ РФ — ААНИИ).

Поступила 6.02.95 г.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ААНИИ В СИСТЕМЕ ГИДРОМЕТСЛУЖБЫ

По решению Правительства СССР в 1963 г. ААНИИ был перенесен из Министерства морского флота в систему Главного Управления Гидрометслужбы при Совете Министров СССР, ныне Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. К этому времени институт оформился как комплексное научное учреждение гидрометеорологического профиля, способное решать практически все основные задачи Гидрометслужбы в полярных районах. Приоритетные достижения ААНИИ в изучении Арктики и Антарктики, а также в решении научно-прикладных задач промышленно-транспортного освоения полярных районов получили широкое признание в нашей стране и за рубежом.

С переходом в Гидрометслужбу институт сохранил все функции научного гидрометеорологического обеспечения текущих и перспективных задач практической деятельности человека в Арктике и Антарктике на основе комплексного изучения природы полярных районов Земли. Поэтому сложившиеся направления исследований и структура института не изменились, что явилось важным условием продолжения и развития научных, научно-оперативных (гидрометеобеспечение промышленно-транспортных задач) и экспедиционных работ в Арктике и Антарктике. Одновременно с переходом в систему Гидрометслужбы перед институтом ставились задачи, связанные с глобальными проблемами гидрометеорологии, корректное решение которых возможно лишь с учетом природных процессов в полярных районах. В дальнейшем это обстоятельство обусловило соответствующие изменения в направлениях исследований и структуре института.

К началу 60-х годов в основном завершилось эмпирическое изучение режима природных процессов и явлений в полярных районах, сопровождавшееся рядом открытий и фундаментальных результатов. Логика развития науки требовала синтеза полученных знаний и теоретических обобщений с использованием большого объема имеющейся и непрерывно поступающей гидрометеорологической, ледовой и геофизической информации. Одновременно практика промышленно-транспортного освоения Арктики и деятельность человека в Антарктике ставила новые научно-прикладные задачи государственной значимости, что явилось основным условием возрастающих темпов комплексного изучения природы полярных районов в последние три десятилетия. Эти исследования были направлены прежде всего на развитие научно-технических основ гидрометеорологического обеспечения следующих практических задач в полярных районах:

— увеличение продолжительности арктической навигации на

Северном морском пути и освоение высокоширотных трасс для судоходства, включая подледные плавания;

- освоение природных ресурсов шельфа арктических морей;
- оценка последствий межзонального перераспределения стока сибирских рек;

- контроль и охрана природы полярных районов;

- оценка современных изменений климата полярных районов с учетом антропогенных факторов;

- активные воздействия на морские льды в целях безопасности судоходства;

- изучение процессов обледенения судов в физическом и географическом аспектах;

- внедрение космических средств в систему наблюдений за морским ледяным покровом;

- создание автоматизированных систем сбора, обработки, анализа и распространения ледовой и гидрометеорологической информации;

- исследования и разработки в интересах гидрометобеспечения ВМФ в Арктике и др.

Решение перечисленных научно-практических задач сопровождалось разработкой физико-математических моделей крупномасштабных гидрометеорологических процессов, реализацией этих моделей на ЭВМ численными методами, постановкой натуральных экспериментов глобального и регионального масштабов, созданием системы усвоения информации и банков данных, разработкой методов прогнозов и расчетов природных процессов и явлений различных пространственно-временных масштабов.

В 1967 г. ученые ААНИИ разработали программу «Натурного эксперимента» по проблеме взаимодействия океана и атмосферы («НЭВ»), которая получила развитие в долговременной программе комплексного полярного эксперимента («ПОЛЭКС»). В 1970 г. программа «ПОЛЭКС» была представлена в Брюсселе на международной конференции стран участниц программы исследований глобальных атмосферных процессов («ПИГАП»). Исследования ААНИИ по программе «ПОЛЭКС» внесли существенный вклад в реализацию «ПИГАП» в части изучения гидрометеорологических процессов в полярных районах, с которыми существенно связаны процессы умеренных широт. Наряду с реализацией программы «ПОЛЭКС» институт выполнял такие программы, как процессы в энергоактивных зонах Мирового океана («Разрезы»), водообмен в Мировом океане («Перелив»), термодинамика ледяного покрова (Карский эксперимент и Янский эксперимент) и др.

В связи с тем, что ААНИИ был назначен головным в системе Госкомгидромета учреждением по проблеме «Взаимодействие океана и атмосферы», а также из-за необходимости организации и координации работ по крупномасштабным научным программам в институте были созданы два новых отдела — отдел теории взаимодействия океана и атмосферы (1968 г.) и отдел полярного эксперимента (1970 г.). В 1986 г. эти отделы были объединены в еди-

ый отдел взаимодействия океана и атмосферы. Реализация программы «ПОЛЭКС» в северной полярной области началась в 1973 г., а в южной — в 1975 г.

Основой реализации крупномасштабных натурных экспериментов стала созданная ААНИИ система экспедиционных наблюдений, включающая дрейфующие станции «Северный полюс», высокоширотную воздушную экспедицию, дрейфующие автоматические гидрометеорологические станции, ледовую авиационную разведку, океанографические экспедиции в арктических морях на гидрографических судах, гидрологические экспедиции в устьях сибирских рек, Советская (ныне Российская) антарктическая экспедиция, выполняющая комплексное изучение природы Антарктики, а также стационарная сеть гидрометеорологических станций в Арктике и Антарктике.

В 1968 г. институту были переданы научно-исследовательские суда Гидрометслужбы «Профессор Визе», «Профессор Зубов» и «Океанограф», что существенно расширило возможности экспедиционных исследований в северной части Атлантического океана и Южном океане.

Экспедиционные работы и стационарные непрерывные наблюдения полярных станций требовали постоянного совершенствования и создания новых технических средств измерений параметров природной среды. В последние три десятилетия в институте были разработаны и внедрены в практику наблюдений: магнитно-вариационные станции (МВС), станции наклонного зондирования ионосферы (НАИС), подводные магнитометры, измерители поглощения радиоволн в ионосфере — риометры, автоматические ледовые станции (метеорологические) с передачей информации через ИСЗ, система автономного измерения течений, включающая автоматический цифровой измеритель течений (АЦИТ), притопленные буйковые станции (ПБС) и акустический размыкатель троса, мареограф открытого моря «Цунами», сеймонаклономерный метод измерений напряжений в ледяном покрове, радиогидроакустический метод количественной оценки сжатий и разрежений льда, телеуправляемая аппаратура для подледных видеосъемок, и др.

Научные и экспериментальные исследования ААНИИ были направлены на решение главной задачи Гидрометслужбы — создание научных основ гидрометеорологического обеспечения текущих и перспективных практических задач в полярных районах, включая разработку методов прогнозов и расчетов гидрометеорологических, ледовых и геофизических процессов и явлений различных пространственно-временных масштабов.

Информация о параметрах природной среды полярных районов Земли положена в основу создания уникальных баз и банков данных, специализированных и общего пользования атласов, справочников, строительных норм и правил, правил Морского Регистра судоходства, навигационных пособий, а также в разработку мето-

дов гидрометеорологических, ледовых и геофизических прогнозов и расчетов.

К наиболее крупным научно-прикладным работам следует отнести первый в мире двухтомный Атлас Антарктики (I т. 1966 г., II т. 1969 г.), Атлас Арктики (1985 г.), Атлас Северного Ледовитого океана (1980 г.), справочники гидрометеорологических условий шельфа арктических морей, океанографический атлас Южного океана совместно с Институтом полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (издан в 1992 г. в ФРГ), ряд климатических атласов и справочников.

Учеными ААНИИ выполнены фундаментальные исследования, раскрывающие закономерности пространственно-временной изменчивости ледяного покрова и механизмы заблаговременности для прогнозов в связи с взаимодействием процессов в атмосфере и океане. На этой основе были разработаны методы сверхдолгосрочных (на перспективу до нескольких лет), долгосрочные (от 1 до 6 месяцев) и краткосрочные (от 1 до 30 суток) ледовых прогнозов. Важным научно-практическим результатом является интенсивное развитие численных методов, основанных на физико-математических моделях эволюции ледяного покрова, позволяющих по данным метеопрогноза получать поля скорости дрейфа, деформации, толщин, сплоченности и другие характеристики с заблаговременностью от 3—5 суток до 3—4 месяцев в любое время года.

Исследования закономерностей ледового режима и оценки ледовых условий плаваний в Южном океане привели к созданию принципиальных основ среднесрочного и долгосрочного прогнозирования состояния ледяного покрова в этом регионе, реализованных в практике гидрометеорологического обеспечения судоходства в антарктических водах.

Численные методы ледовых расчетов и прогнозов нашли применение не только в оперативной практике, но и в исследованиях климата в оценках воздействия метеорологических факторов речного стока и морских течений на ледовые и гидрологические условия в Северном Ледовитом океане, а также влияния аномалий теплообмена между морем (при наличии льда) и атмосферой на атмосферную циркуляцию.

Реализация возможностей численных методов прогнозов и расчетов требовала создания банка ледовой и гидрометеорологической информации для полярных районов Земли и организации автоматизированной ледовой информационной системы для Арктики. Работы в этих направлениях проводились одновременно с переходом к численным методам расчетов и прогнозов. В 1967 г. была создана лаборатория инструментальных методов ледовой разведки, преобразованная в 1981 г. в отдел совершенствования ледово-информационной системы.

За эти годы внедрены в практику наблюдений за ледяным покровом комплексы бортовой аппаратуры для самолетов и ИСЗ, включающие сканирующие радиометры ТВ, ИК и СВЧ диапазонов, радиолокационные станции бокового обзора, измерители тол-

щины пресноводного и морского льда. В период 1981—1986 гг. ААНИИ были разработаны техническое задание и проект автоматизированной ледово-информационной системы (АЛИСА), выполнена работа по реализации проекта системы в целом и создан центр ледовой и гидрометеорологической информации на базе существовавших технических средств. В 1990 г. этот центр сдан в промышленную эксплуатацию.

ААНИИ принял непосредственное участие в разработке ИСЗ «Космос-1500» в части методики обработки, усвоения и использования ледовой информации и непосредственной разработки автоматической ледовой станции (АЛС). В результате к моменту запуска этого спутника в сентябре 1983 г. было подготовлено методическое пособие, что позволило сразу использовать ледовую и метеорологическую информацию в оперативной практике гидрометслужбы и прежде всего для обеспечения судоходства во льдах Мирового океана. Запуск спутника «Космос-1500» и методические указания по приему, обработке и использованию ледовой информации, разработанные на основе большого объема подспутниковых калибровочных наблюдений, обеспечили широкое развитие автономных пунктов приема информации (АППИ) на сети полярных станций в Арктике и Антарктике, на ледоколах и судах, что явилось существенным вкладом в оперативную практику Гидрометслужбы.

В начале 60-х годов стало развиваться новое направление морского ледоведения — изучение условий плавания судов во льдах и разработка на этой основе тактики ледового плавания транспортных судов и ледоколов. Учитывая большую научно-практическую значимость этих исследований для развития судоходства во льдах Мирового океана, в 1963 г. был создан отдел изучения ледового плавания. Основным практическим результатом исследований воздействия ледовых условий на судоходство стали количественные оценки ледопроеходимости морских и речных трасс и научно обоснованное рейсовое планирование морских операций на Северном морском пути с учетом технического уровня ледоколов и транспортных судов. Разработанная в ААНИИ в тесном сотрудничестве с моряками тактика ледового плавания успешно применяется на арктических морских трассах, в Южном океане и на замерзающих неарктических морях России.

ААНИИ внес фундаментальный вклад в исследования сопротивления льда движению судна, ледовых качеств судов и ледоколов на основе лабораторных, натурных экспериментов и теоретических обобщений. Впервые в мире были разработаны теоретические основы и методология моделирования льда, определения ледовых нагрузок и расчета прочности корпусных конструкций гребных винтов и валов, а также основы методики натурных испытаний ледовых качеств судов. В результате был осуществлен переход от метода аналогии проектируемого судна с прототипом к непосредственному моделированию новых типов ледоколов и судов ледового плавания в ледовом опытовом бассейне.

В течение более четырех десятилетий в ледовом бассейне ААНИИ, построенном впервые в мире в 1955 г., с высокой эффективностью испытывались модели всех типов ледоколов и судов ледового плавания отечественного морского и речного флота, а также модели различного вида гидротехнических опор и сооружений, включая водяные затворы Невской дамбы. Следует отметить, что в составе нового лабораторного производственного комплекса ААНИИ введен в эксплуатацию в 1991 г. новый ледовый опытовый бассейн и холодильные камеры.

В области физики и механики льда получен большой объем информации о физико-механических свойствах природных льдов, о характеристиках динамики, напряженно-деформированного состояния и морфометрических особенностях строения морских льдов. Разработаны методы расчета ледовых нагрузок и несущей способности ледяного покрова, контактные и дистанционные методы измерения механических и морфометрических характеристик, сжатий и торосистости льда, методы активной борьбы со льдом, включая создание технических средств для термобурения и терморезания льда.

В целях научного и технически грамотного проектирования электронной аппаратуры для дистанционных и контактных измерений ледяного покрова получены экспериментальные данные, характеризующие электрические, тепловые, акустические, радиолокационные и другие свойства ледяных покровов, выполнено их теоретическое обобщение, разработаны численные методы дешифрирования СВЧ радиометрических данных и ИК изображений морских льдов.

На основе всесторонних экспериментальных и теоретических исследований физики обледенения судов и морских платформ впервые разработана методика расчета массы нарастающего льда на этих объектах в зависимости от гидрометеорологических условий и создан атлас вероятности обледенения судов в различных районах Южного океана.

Перечисленные выше и другие важные научно-прикладные результаты исследований ААНИИ стали основой научно-гидрометеорологического обоснования и оперативного обеспечения следующих реализованных практических мероприятий, не имеющих аналогов за рубежом: расширение сроков навигации на Северном морском пути в 2—2,5 раза, круглогодичное плавание в Карском море, круглогодичное судоходство и непрерывная работа портов в замерзающих неарктических морях, научно-практический поход а/л «Арктика» к Северному полюсу, плавание высокоширотной трассой д/э «Капитан Мышевский» под проводкой а/л «Сибирь» от Мурманска до Берингова пролива, научно-экспедиционный рейс а/л «Сибирь» в Арктическом бассейне к Северному полюсу, плавание л/к «Владивосток» в Южном океане (море Росса) для освобождения нэс «Михаил Сомов» из ледового плена в зимний период (август 1985 г.).

Одной из главных задач ААНИИ является изучение закономерностей атмосферных процессов метеорологического режима и климата полярных районов Земли и создание на этой основе методов метеорологических прогнозов различной заблаговременности, включая прогнозы ожидаемых климатических изменений. К началу 90-х годов институт завершил цикл работ по совершенствованию и дальнейшему развитию макроциркуляционного метода метеорологических прогнозов, уделив особое внимание прогнозу крупных аномалий атмосферных процессов и детализации прогнозов.

Для обеспечения хозяйственной деятельности в полярных районах составлялись долгосрочные фоновые метеорологические прогнозы по северной полярной области на 12 месяцев, содержащие прогноз среднемесячных полей давления и температуры воздуха, а также их аномалий, направления преобладающих воздушных потоков и ветров, прогнозы на предстоящие 3 месяца с детализацией ожидаемого макропроцесса по однородным циркуляционным периодам, прогнозы погоды на 8—10 суток и на сутки для любого района Арктики, метеорологические прогнозы на месяц по южной полярной области в виде детализированных по дням полей приземного давления на первые 10 суток прогноза и по декадам на последующие 20 дней.

Создана серия климатических атласов, справочников и пособий, содержащих статистические данные об экстремальных метеорологических явлениях и их повторяемости, вероятностные характеристики климата в соответствии с требованиями строительных норм и правил. Произведена количественная оценка потенциальных ветроэнергетических ресурсов, содержания озона, аэрозольных и газовых загрязнений, включая их изменения, переносы и накопление в атмосфере. В целях непрерывного слежения за изменением климата и уровня загрязнения атмосферы, а также содержания озона на реперных станциях в Арктике и Антарктике были организованы соответствующие наблюдения — мониторинг климата. Основой мониторинга климата полярных районов является информация полярных станций.

Одним из важных результатов исследований структурных особенностей текущей циркуляционной эпохи является вывод об активизации в конце XX в. элементов западно-восточного переноса (форма циркуляции W) на фоне пока еще аномально высокого развития межширотного воздухообмена (форма циркуляции E). Такое макропреобразование атмосферных процессов имеет большое практическое значение. Сопутствующий этому преобразованию режим метеорологических условий на полушарии, и особенно в Арктике, в ближайшие десятилетия должен иметь ряд существенных особенностей. При осуществлении прогнозируемого специалистами ААНИИ перехода от процессов межширотного воздухообмена к западно-восточному в высоких широтах следует ожидать формирования более низкого температурного и барического поля, ослабления арктического антициклона, усиления циркумпо-

лярного вихря с центром в приполюсном районе, активизации ветвей полярного и арктического фронтов с одновременным смещением зоны этих фронтов в более низкие широты и увеличения ледовитости арктических морей.

Оценивая роль антропогенных факторов, в частности, рост содержания CO_2 в атмосфере, ученые ААНИИ установили, что колебательный характер современных изменений климата в Арктике плохо согласуется с прогнозируемым устойчивым экспоненциальным ростом температуры воздуха за счет парникового эффекта. Поэтому следует признать, что позиция сторонников ведущей роли естественных факторов в современных изменениях климата представляется сегодня более предпочтительной.

Рассмотрение проблемы озонового слоя показало, что формирование значительной отрицательной аномалии общего содержания озона (ОСО) в Антарктиде весной связано прежде всего с циркуляционными факторами. Основной причиной крупных аномалий ОСО являются процессы перестройки стратосферного вихря в этот период, регулирующие горизонтальный и вертикальный воздухообмен и, как следствие, адвекцию озона в Антарктиду.

В области физики свободной атмосферы продолжались исследования геофизических процессов и явлений в ионосфере и магнитосфере, а также изучение условий распространения радиоволн в полярных районах. Большое внимание уделялось созданию системы геофизических наблюдений в Арктике и Антарктике, что сопровождалось разработкой и внедрением в практику геофизической службы уникальных приборов и измерительных систем, названных выше.

На основе анализа и теоретического обобщения данных геофизических станций и первой в стране сети наклонного зондирования ионосферы, разработаны методы диагностики прогноза и расчета ионосферных характеристик, оптимального распространения радиоволн и важнейших в практическом отношении параметров магнитосферы в полярных районах Земли. Важнейшим результатом исследований является разработка нового индекса состояния ионосферы и магнитосферы в целом (РС-индекс), получаемого по данным всего лишь одной околополюсной станции (Туле или Восток), в отличие от аналогичного АЕ-индекса, рассчитываемого по данным 13 станций, принадлежащим разным государствам. Прогностические центры магнитосферной службы нашей страны получили возможность только по одной станции Восток в Антарктиде, при условии оперативной информации с этой станции, оценивать текущее состояние ионосферы и магнитосферы и на основе разработанных моделей и методик рассчитывать и прогнозировать развитие магнитно-ионосферных процессов в полярных районах Земли. Результаты геофизических исследований ААНИИ нашли широкое практическое применение для решения ряда проблем повышения уровня радиосвязи в высоких широтах, оценки радиационной обстановки в космическом пространстве,

обнаружении естественных и искусственных неоднородностей при активном воздействии на ионосферу, включая оперативную диагностику такого воздействия, а также для оценки влияния магнитных возмущений на работу каналов связи, линий электропередач и грубопроводов и многих других практических задач в полярных районах.

Усилия в области океанологии в прикладном плане были сосредоточены на исследовании полярных океанов и морей как физической среды, параметры которой необходимо знать для научно обоснованной реализации многочисленных промышленно-транспортных задач в этих районах. Создавались модели океанологических процессов как физической основы морской экологии и защиты океанов от загрязнений. Большое внимание уделялось исследованию взаимодействия океана и атмосферы и реализации научной программы «ПОЛЭКС». На основе фактических океанологических данных получены средние, экстремальные и вероятностные показатели океанологических элементов.

Созданы капитальные многоцелевого назначения режимно-справочные и научно-прикладные пособия, атласы и нормативные справочники по гидрологическому режиму Северного Ледовитого и Южного океанов. Разработаны физико-статистические и численные гидродинамические методы прогнозов сгонно-нагонных колебаний уровня с заблаговременностью до 5—6 суток, ветрового волнения на 1-3 суток, комплексных ледово-гидрологических прогнозов на 5-7 суток, успешно применяемые в практике гидрометеобеспечения.

Важным новым направлением работ ААНИИ в системе Гидрометслужбы является геохимический мониторинг природных вод, который включает в себя наблюдение и контроль за уровнем загрязнения морей, устьев рек и объектов вод суши, а также обеспечение заинтересованных организаций систематической информацией о состоянии природной среды. Для получения достоверных данных разработана и совершенствуется методология анализа природных объектов (вода, лед, снежный покров), начиная от стадии отбора проб и заканчивая их анализом в лабораторных условиях. На основе геохимического мониторинга получен большой объем информации по гидрохимии, минеральном составе и загрязнении (тяжелые металлы, пестициды, нефтяные и полиароматические углеводороды) природных вод и снежно-ледяного покрова.

В результате исследований разработаны модели трансграничных переносов загрязняющих веществ, процессов самоочищения вод и льдов и поведения нефтяных пятен на поверхности моря. Оценки степени загрязнения природной среды показали, что поступающие в Северный Ледовитый океан значительные массы загрязняющих веществ из умеренных широт и полярных промышленных районов распространяются и накапливаются неравномерно. В наибольшей мере загрязнена атмосфера (на уровне умеренных широт) и в меньшей степени — воды и снежно-ледяной покров.

Последнее объясняется высокой эффективностью процессов самоочищения, что способствует сохранению относительной чистоты экосистемы в арктических морях и Северном Ледовитом океане. Однако природные экосистемы имеют предел антропогенных нагрузок и поэтому тревожные сигналы о накоплении загрязняющих веществ в пищевых цепочках полярной биосферы требуют дальнейшего развития геохимического мониторинга.

В период международного гидрологического десятилетия (МГД) (1965—1974 гг.) исследования влагооборота в системе «океан — атмосфера — суша» и водного баланса на глобальной, национальной и региональной основах были отнесены к числу главных задач программы МГД. В качестве вклада советских ученых в эту программу была подготовлена монография «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» и «Атлас мирового водного баланса». Активное участие в этой фундаментальной работе принял коллектив института, который на единой методической основе подготовил разделы по водному балансу и водным ресурсам полярных районов Земли и пресноводному балансу Северного Ледовитого и Южного океанов, а также комплекты карт элементов водного баланса Арктики и Антарктики. Монография и Атлас были переизданы ЮНЕСКО на английском и испанском языках и получили международное признание. До настоящего времени полученные оценки элементов водного баланса и водных ресурсов по полярным областям Земли не потеряли своего научного и прикладного значения.

Одними из важнейших научно-прикладных результатов ААНИИ являются оценки возможных изменений природы и деятельности человека в Арктике в результате реализации государственного плана энергетического освоения крупных сибирских рек Оби, Енисея, Лены и Колымы.

Решая эти задачи в период 50—60-х годов, институт впервые выполнил комплексные оценки возможных последствий проектируемых на сибирских реках каскадов ГЭС и в первую очередь энергетических гигантов Нижнеобской, Нижнеенисейской, Нижнеленской гидроэлектростанций. Было показано, что реализация этих проектов приведет к значительным изменениям природных условий и режима устьевых областей рек и морей Арктики. С этих позиций критической оценке были подвергнуты также предложения отдельных организаций и ученых о перекрытии Берингова пролива и строительстве водохранилищ непосредственно в устьях, губах и заливах крупных сибирских рек. Научные разработки, связанные с энергетическим освоением сибирских рек, подготовили основу для выполнения исследований по оценке последствий территориального перераспределения стока северных и сибирских рек.

Исследования по данной проблеме в полной мере были развернуты в период 1975—1985 гг. на основе моделирования и прогноза возможных изменений природной среды. Выводы и экспертные заключения о последствиях осуществления проектов терри-

гориального перераспределения водных ресурсов однозначно указывали на неблагоприятное последствие реализации этих проектов на природные условия жизнедеятельности человека в Арктике. Эти результаты, недостаточность знаний закономерностей природных процессов и спорность в вопросах социальных, экономических и экологических последствий глобального проекта территориального перераспределения водных ресурсов, северных и сибирских рек наряду с отрицательным отношением общественности к данному проекту, послужили основой отказа от его реализации.

В целях развития системы гидрометеобеспечения народного хозяйства разработаны и внедрены в оперативную практику Гидрометслужбы методы фоновых долгосрочных и краткосрочных прогнозов сроков вскрытия, замерзания и толщин льда в низовьях и устьях сибирских рек, краткосрочных прогнозов колебаний уровня.

В данном обзоре основное внимание уделено наиболее крупным прикладным задачам, связанным с конкретными практическими мероприятиями освоения полярных районов Земли. Решение этих задач сопровождалось прежде всего развитием научно-технических основ системы гидрометеобеспечения народного хозяйства в целом, а также выполнением специализированных исследований и разработок экспертных оценок, научных гидрометеорологических обоснований проектов и предложений, созданием нормативных документов, специализированных прогнозов, включая оценки и прогнозы современных климатических изменений и т. п.

В конце 80-х годов ААНИИ располагал научно-техническим потенциалом, не имеющим себе равных в СССР и за рубежом, занимая общепризнанное ведущее положение в познании природных процессов полярных районов Земли. Начавшиеся в это время коренные политические, государственные и социально-экономические преобразования, сопровождающиеся финансово-экономическим кризисом в бывшем СССР, привели к резкому сокращению финансирования и материально-технического обеспечения науки в целом и исследований Арктики и Антарктики в частности.

В целях сохранения научного потенциала и продолжения исследований природы полярных районов Земли ААНИИ принял ряд инициатив, закрепляющих статус института как государственного научного учреждения, деятельность которого прежде всего должна быть направлена на выполнение федеральных и ведомственных научных программ за счет государственного бюджета. В соответствии с Указом Президента № 824 от 07.08.92 г. Россия стала правопреемником бывшего СССР по всем вопросам международного «Договора об Антарктике», а правительству России поручалось обеспечить финансированием комплексное изучение природы Антарктики.

Постановлением Правительства России № 648 от 05.06.94 г. ААНИИ получил статус государственного научного центра и финансовую государственную поддержку для выполнения феде-

ральных научных программ. Признание правительством проблемы комплексного изучения природы Арктики и Антарктики — одно из приоритетных государственных задач науки, является сегодня основным и необходимым условием сохранения ААНИИ как центра полярных исследований России.

Поступила 23.01.95 г.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ

Россия является приарктическим государством, имеет максимальную по отношению к другим странам протяженность границ в Арктике и обширные осваиваемые территории за северным полярным кругом с населением около 11 миллионов человек. Арктика содержит огромные запасы различных минеральных ресурсов, включая нефть и газ, при этом Россия разрабатывает этих ресурсов значительно больше, чем другие страны. В процессе освоения Арктики развита сеть воздушных, речных и морских сообщений, включая Северный морской путь. Сток речных вод в Северный Ледовитый океан составляет около 10 % глобального речного стока. При этом большинство рек России, включая такие реки Сибири как Обь, Енисей, Лена и реки севера европейской части России, собирающие воды с площади 12,8 млн км², несут их в Северный Ледовитый океан. В условиях все увеличивающейся антропогенной нагрузки это может стать существенным фактором ее переноса в Арктику. Атмосферная циркуляция также способствует переносу загрязняющих веществ из средних широт в Арктику. В свою очередь водные массы Северного Ледовитого океана и в большой степени дрейфующий лед способны аккумулировать эти вещества и переносить их на тысячи километров, в том числе за пределы Арктики.

Научные исследования в Арктике традиционно играли ведущую роль. Они были направлены главным образом на обеспечение хозяйственной деятельности в сочетании с политическими интересами страны в Арктике. История этих исследований содержит много ярких страниц, отражающих национальную славу России, закрепленную во многих географических названиях Арктики.

Исследования Арктики в течение многих десятилетий были направлены на изучение закономерностей формирования, развития природных процессов различного пространственно-временного масштаба и предвидения их возможных изменений. На различных этапах изучения и освоения Арктики были получены научные результаты, имеющие как фундаментальное, так и прикладное значение.

Разработана научная концепция изучения макромасштабных синоптических процессов в Арктике в связи и в зависимости от характера общей циркуляции атмосферы северного полушария, что позволило создать макроциркуляционный метод диагноза атмосферных процессов и их среднесрочного и долгосрочного прогнозирования. Обоснованы приемы прогноза резких перестроек термодинамических полей в северном полушарии и в Арктике, формирования крупных аномалий основных метеозлементов; вы-

явлен характер длительных тенденций в эволюции атмосферных процессов и их климатической изменчивости.

Разработаны основы создания теории формирования и развития арктического ледяного покрова. Обоснована роль ледяного покрова как важнейшего климатообразующего фактора, доказана его устойчивость к внешним климатическим воздействиям. Установлены основные закономерности формирования и развития ледяного покрова в различных пространственно-временных масштабах, определены его качественные количественные характеристики, что позволило глубже понять физические основы и механизмы ледовых процессов.

Созданы методы прогноза ледовых условий различной заблаговременности (от краткосрочных до долгосрочных) на физико-статистической основе и на основе численного моделирования. Эти методы адаптированы к конкретным запросам потребителя, т. е. они носят специализированный характер.

Получены крупные научные результаты в изучении кристаллического строения и фазового состава арктических льдов, его механических, электрических, радиолокационных и оптических характеристик и свойств. Разработаны современные методы классификации состояния ледяного покрова. Заложены основы нового направления полярного ледоведения — радиозондирование ледниковых покровов, морских и пресноводных льдов, а также вечной мерзлоты. Созданы научные предпосылки автоматизированного дешифрирования спутниковой информации в ИК и СВЧ диапазонах. Выполнен комплекс гидрофизических и сейсмоакустических исследований, что позволило разработать новые методы изучения динамики ледяного покрова и обосновать возможности использования метода акустической томографии для изучения состояния водных масс Арктического бассейна.

Разработаны основы создания общей теории формирования гидрологического режима Северного Ледовитого океана, созданы научные основы следящей и прогнозирующей автоматизированной системы (СПАС) с целью мониторинга Северного Ледовитого океана и получения информации о его фактическом состоянии.

Созданы феноменологические модели формирования всех типов структур вертикального распределения гидрологических полей в подледном слое. Создан электронный атлас основных гидрологических и гидрохимических характеристик и течений Северного Ледовитого океана и пакет программ для работы с указанными массивами с целью построения карт распределения этих характеристик. Разработана и внедряется в практику оперативная численная модель сгонно-нагонных колебаний уровня моря, течений и дрейфа льда.

Получены крупные научные результаты в области изучения процессов взаимодействия атмосферы и океана при наличии ледяного покрова и оценки их влияния на климатическую систему. Разработаны теоретические и научно-методические основы комплексных исследований объектов вод суши и устьевых областей

рек как водных систем во взаимосвязи с компонентами природной среды. Получены качественно новые знания об абиотической части пресноводных и эстуарных экосистем. Созданы теоретические основы и разработана концепция изучения процессов переноса и трансформации нефтезагрязнений морскими льдами и оценка возможных экологических последствий.

Основные результаты исследований Арктики нашли отражение в таких фундаментальных изданиях, как «Атлас Северного Ледовитого океана» (1980 г.) и «Атлас Арктики» (1985 г.).

Благодаря внедрению в практику полученных научных результатов создана высокоэффективная система гидрометеорологического обеспечения мореплавания по Северному морскому пути. Впервые в мировой практике удалось провести круглогодичное плавание по Северному морскому пути, испытать высокоширотные трассы и осуществить плавание атомоходов в район Северного полюса в различные сезоны года.

Экономические и политические изменения в России, произошедшие в последние 5—10 лет, резко изменили ситуацию в арктическом регионе практически во всех аспектах. Конкретные перспективы исследований необходимо определять с учетом ряда новых особенностей:

- снижение интенсивности многих видов хозяйственной деятельности в Арктике, что привело к сокращению морских перевозок по Северному морскому пути, деградации социальной инфраструктуры Крайнего Севера и ряду других негативных последствий;

- возникновение новой структуры инвестиций в арктический регион, которая характеризуется относительным сокращением федеральных и ростом региональных и иных, в том числе внебюджетных, вложений (на фоне общего сокращения финансовых вложений);

- повышение статуса природоохранных проблем;

- сокращение объема информации о состоянии природной среды Арктики в связи с сокращением сети гидрометеорологических и иных наблюдений, основанных прежде всего на «многолюдных» технологиях (гидрометстанции, суда) и сложных технических средствах (дистанционное зондирование с самолетов, ИСЗ, автономные средства);

- активная проработка вопросов добычи и транспорта нефти и газоконденсата на арктическом шельфе и побережье;

- активное вторжение западных, в том числе неарктических, государств в исследования и освоение экономической зоны России;

- наличие огромного объема исторической информации о природной среде, собранной за предыдущие годы, организация и хранение которой в целом не обеспечивает ее сохранность и быстрый доступ, а сама информация очень разнообразна и не всегда соответствует требованиям современных научных программ;

— существование большого числа программ и проектов различного уровня и ведомственной принадлежности, в рамках которых ведутся исследования Арктики;

— несоответствие современной практике нормативных актов, регламентирующих исследования, обмен информацией и ряд других вопросов по Арктике.

В целом, развивается процесс своеобразного «отделения» Арктики от государства, когда на фоне сокращения государственных инвестиций все большую роль играют средства территорий, компаний и т. д. В этих условиях целесообразно разделение исследований на три основные группы (по источникам финансирования).

Первая группа — это задачи, решаемые в рамках федеральных и ведомственных программ, проектов и постановлений за счет средств бюджета.

Вторая группа включает проблемы территориального уровня, решение которых осуществляется за счет бюджетных и иных средств, выделяемых территориальными органами власти.

Третья группа объединяет исследования в интересах различных компаний, фирм и других средств, в том числе иностранных.

Решение текущих и перспективных научных задач должно предусматривать:

а) приоритетное развитие автоматизированных средств наблюдений как контактных (автоматические станции, буи и т. д.), так и дистанционных (ИСЗ, авиация);

б) создание информационных систем и технологий, включающих в максимальной полноте исторические данные наблюдений, и быстрый доступ к информации.

В реализации основных научных направлений целесообразно использовать региональный подход, который позволяет:

— решать наиболее актуальные научные проблемы с учетом всех региональных особенностей и состояния изученности объекта;

— использовать возможности привлечения к исследованиям средств федерального и территориального бюджетов, а также внебюджетных средств в рамках федеральных, территориальных и иных программ;

— проводить координацию широкого комплекса исследований различных стран, ведомств и организаций.

Кроме того, необходимо использовать возможности международного сотрудничества в исследованиях путем участия в крупных международных программах для получения доступа к необходимой научной информации и организации совместных исследований на кооперативной основе с зарубежными партнерами.

В ближайшей перспективе, учитывая особенности современного периода, научные исследования будут направлены на определение текущего состояния природной среды Арктики и ее ожидаемых изменений, что необходимо для обеспечения устойчивого развития северных регионов в условиях возрастающего антропогенного воздействия. При этом наиболее значимыми являются:

— совершенствование системы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной и природоохранной деятельности в Арктике на основе развития и внедрения современных информационных систем и технологий, разработки математических моделей анализа и прогноза состояния гидрометеорологических и других параметров природной среды (гидрометеорологическое обеспечение);

— определение долговременных тенденций в арктической климатической системе, их влияния на глобальный климат, природную среду и хозяйственную деятельность в Арктике (климатические тенденции);

— определение состояния и возможных изменений природной среды Арктики в условиях антропогенного воздействия (загрязнение и экология);

— исследования ключевых процессов в окраинных морях Арктики, определяющих формирование и изменчивость потоков тепла, соли, загрязняющих веществ и других субстанций в прибрежной зоне (процессы в окраинных морях);

— исследования структуры ледяного покрова и процессов, определяющих его изменчивость, необходимые для разработки новых средств и методов наблюдений, новых методов расчета ледовых нагрузок на сооружения для выбора технических решений по добыче полезных ископаемых и их транспорту;

— определение процессов переноса энергии в системе: верхняя — средняя — нижняя атмосфера и разработка системы геофизического мониторинга в Арктике (полярная геофизика);

— реконструкция состояния природной среды Арктики на основе палеоданных (палеореконструкция).

Каждая из указанных целей исследований соответствует относительно самостоятельному направлению работ, совокупность результатов которых обеспечивает взаимодополняющий характер.

Поступила 13.03.95 г.

АРКТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ (к 50-летию Победы в Великой Отечественной войне)

После нападения фашистской Германии на нашу страну Западная Арктика сразу же стала театром военных действий, а полярники Арктического института включились в активную борьбу по отражению агрессии врага. В начале войны ушли в действующую армию многие сотрудники института: В. Х. Буйницкий, Л. Л. Балашин, В. П. Мелешко, В. С. Антонов и др.

В 1942 г. институт был эвакуирован из осажденного Ленинграда в Красноярск. К этому времени Северный фронт распространился на территорию к востоку по акватории Северного морского пути от границы с Норвегией и почти до Тикси. Девизом северян как и всех наших людей, стала фраза: «Все для фронта, все для победы!»

Для улучшения гидрометеорологического обслуживания Северного морского пути во время войны была расширена сеть полярных станций и бюро погоды по всей Арктике. Поток оперативной гидрометеорологической и ледовой информации, поступающей в радиоцентр АНИИ, направлялся в службу льда и погоды в региональные бюро погоды, расположенные на о-ве Диксон (начальник В. В. Фролов), в Тикси (начальник К. И. Чуканин), на мысе Шмидта (начальник Е. И. Толстиков) и далее в Штаб морских операций западного и восточного районов Арктики, в научно-оперативные группы. Здесь самоотверженно трудились опытные полярники: на западе — гидрологи А. Г. Дралкин, М. М. Сомов, А. Ф. Трешников; синоптики — А. И. Петров, Н. В. Шацко, В. В. Фролов; на востоке — гидрологи Н. А. Волков, П. А. Гордиенко, А. Я. Федяшина; синоптики — В. К. Кириш, К. А. Радвилевич, Е. И. Толстиков и др.

Для сбора гидрологической, ледовой и метеорологической информации, помимо береговых полярных станций и авиации, в это тревожное время во все наши арктические моря направлялись экспедиции ледово-гидрологического патруля под руководством А. Ф. Трешникова, А. А. Кухарского, Г. П. Смирнова и др. Экспедиционное судно «Мурманец», на котором работал А. Ф. Трешников, во время выполнения гидрологических работ было обстреляно на бреющем полете «Юнкерсом». По заданию командования Военно-Морского флота группа специалистов института под руководством И. В. Максимова и А. Ф. Лактионова составила гидрометеорологическое описание арктических морей, а также очень нужные морякам атласы течений в проливах.

Следует отметить, что флот и авиация во время войны не только получали полную сводку по гидрометеорологической обстановке в течение всей навигации по основным участкам трассы Се

ерного морского пути, но обеспечивались ледовыми и гидрометеорологическими прогнозами, в составлении которых участвовали ведущие специалисты института В. Ю. Визе, Н. Н. Зубов, И. Б. Карелин, М. М. Сомов, П. А. Гордиенко, Н. А. Волков, И. А. Дрогайцев. Огромный объем работы, выполненный учеными-полярниками во время войны, позволил регулярно и надежно осуществлять транспортные операции по Северному морскому пути в течение всего военного периода.

В Белом море обслуживание ледокольных операций в зимнее время в 1940—1944 гг. проводила группа научных сотрудников института в составе Н. Н. Зубова, М. М. Сомова, Б. И. Иванова, З. В. Фролова, Д. А. Дрогайцева, О. Н. Комовой. В целом, за время войны по ледовым трассам было перевезено свыше 1,5 млн т военных и народнохозяйственных грузов и в этом, безусловно, большая заслуга полярников из Арктического института.

Следует отметить, что фашистское командование отлично понимало значение Северного морского пути и роль гидрометеорологической и ледовой информации для бесперебойной работы этой морской ледовой коммуникации. Враг старался топить транспортные суда, а также ледоколы, за которыми устроил настоящую охоту. Он стремился разрушить как можно больше полярных станций и радиоцентров. Фашисты всеми силами рвались заполучить коды и шифры, чтобы выяснить ледовую и метеорологическую обстановку для боевых действий своего флота в западном секторе Арктики.

В начале войны командование фашистской армии имело такие стратегические цели: во-первых, изолировать северные районы Восточной Сибири, откуда на заводы европейской части Советского Союза поступало минеральное сырье, а, во-вторых — нарушить внешние морские коммуникации нашей Родины, связывающие ее с союзниками. Для этого были задействованы крупные соединения надводных и подводных военных кораблей, морская авиация, базировавшаяся на аэродромах, расположенных на необитаемых островах в северной части Баренцева моря. Кроме того, были созданы тайные метеостанции и базы заправки самолетов и подводных лодок.

В настоящее время в год 50-летия Победы над фашистской Германией можно еще раз подчеркнуть, что с годами многое тайное становится явным, например, таинственные события военных лет в Арктике. Почему фашистские «волчьи стаи» (как они сами себя называли) подводных лодок довольно точно выходили из белесоватой мути тумана в нужное время и в определенном месте на пути движения наших караванов? Наша семья была сугубо морская (даже мать, окончив мореходку, работала в Совторгфлоте), и к нам часто «на огонек» приходили моряки. Я вспоминаю, как капитан Г. Болтин, ходивший из Америки по ленд-лизу в Архангельск и далее на восток, рассказывал, что однажды, пройдя все опасности Северной Атлантики, избежав налеты немецких торпедоносцев и атак и подвод-

ных лодок, они с облегчением достигли кромки льдов, а, войдя с караваном во льды в районе юго-восточной части Баренцева моря у новоземельских проливов, вдруг неожиданно подверглись вражеской атаке. Вначале они даже не поняли, откуда на них осуществляется нападение и, лишь приглядевшись, обнаружили, что во льдах (это было странно, так как немцы их панически боялись) стоят в надводном положении подводные лодки фашистов, окрашенные в белый цвет, и прямой наводкой, экономя свои сверхсекретные акустические торпеды, бьют по каравану из орудий.

В годы Второй мировой войны немцы неоднократно пытались высадиться на побережье Гренландии. Иногда это им удавалось. Гитлеровское командование стремилось использовать остров для установки вдоль побережья цепи секретных метеорологических станций с целью составления прогнозов погоды, необходимых германскому военно-морскому флоту и авиации для проведения военных действий против СССР и его союзников. Тогда гренландская администрация организовала из охотников и рыбаков-эскимосов так называемые «санные патрули». Это были небольшие вооруженные отряды, которые, действуя в контакте с армейскими подразделениями США и Канады, уничтожали немецкие радиостанции на восточном побережье Гренландии.

На Шпицбергене и Земле Франца-Иосифа гитлеровцы также организовали свои авиабазы и тайные метеостанции. В сентябре 1942 г. г/с «Якутия» обнаружило в Карском море, в шхерах Минина, немецкую подводную лодку. Ясно, что она высаживала десант на берег, так как в 1943/44 г. здесь действовал вражеский наблюдательный метеопункт, расположенный вблизи основных трасс Северного морского пути. Сейчас стали известны некоторые подробности пиратских вылазок фашистов на арктических коммуникациях. Так, для координации действий и наведения подводных лодок, фашисты создали на одном из пустынных островов шхеры Минина, в западной его части, расположенной ближе всего к трассе, на о-ве Вардропер, радиостанцию.

Уже после войны полярники на г/с «Исследователь» во время посещения навигационного знака на о-ве Вардропер нашли там остатки немецкой стоянки: консервные банки с надписями на немецком языке, банки сухого спирта, а также антенну, установленную на маяке. Эта радиостанция, находясь в центре морского района с интенсивным судоходством, причинила много неприятностей. Фашисты потопили несколько наших судов, но выиграв войну в Арктике, добиться прекращения плавания по Северному морскому пути не смогли по причине отсутствия ледоколов и опыта плавания в арктических морях.

Во время посещения залива Волчьего на подходах к архипелагу Норденшельда в 1946/47 г. советские полярники обнаружили там немецкое продовольственное депо, осветительные ракеты. Полагают, что здесь в 1942/43 г. базировались немецкие подводные лодки. На северо-восточном побережье Новой Земли также находилась база немецких подводных лодок, которая контролировала

проход судов на этом участке. О существовании этой базы стало известно только после войны. На п-ове Таймыр, к югу от мыса Челюскин, в глубине тундры наши полярники обнаружили аэродром (точнее, то, что от него осталось): небольшую заросшую взлетно-посадочную полосу для самолета-разведчика, ржавые бочки из-под горючего и развалины деревянной хижинки.

Все это свидетельствует о том, что в наглости немцам нельзя было отказать. Они фактически у нас во фронтовой полосе под пологом создали агентурную сеть, обосновавшись в нашей Арктике, как у себя дома, а наша военная разведка, как говорится «не работала». Кто знает, с годами, возможно, откроются и новые тайные страницы истории войны в Арктике.

Тяжелые условия военного времени, нехватка научных материалов и потеря части квалифицированных специалистов не помешали коллективу института справиться с возложенными на него задачами. В годы войны успешно трудились, обеспечивая нужды и запросы Северного флота, выдающиеся ученые старшего поколения: В. В. Визе, Я. Я. Гаккель, А. Ф. Лактионов, И. В. Максимов, К. А. Гамаюнов, В. Т. Тимофеев и др. Рядом с ними с большим энтузиазмом работали молодые специалисты, ставшие впоследствии крупными полярными исследователями: В. Х. Буйницкий, А. Ф. Трешников, В. В. Фролов, Е. И. Толстиков, М. М. Сомов, Н. А. Волков, П. А. Гордиенко, Д. Б. Карелин, А. Г. Дралкин и др. Во время войны гидрометеорологическим обеспечением навигации Военно-морского флота плодотворно занимались Л. Л. Балашкин, В. И. Мелешко, В. Г. Корт, В. И. Решеткин, В. С. Антонов и др.

Еще осенью 1941 г. немецкие подводные лодки были засечены в северо-восточной части Баренцева моря и юго-восточной части Карского моря. Экспедиционное судно Арктического института «Академик Шокальский» (начальник экспедиции П. А. Шумский, гидрологи Н. Т. Субботин, В. Б. Старко и Б. А. Любимцев) повстречались у северо-восточных берегов Новой Земли с одной из них. Тогда лишь туман и мелководье помогли избежать рокового исхода.

В 1942 г. немецкие пираты осуществили в Карском море разбойничьи нападения на практически безоружных наших полярников как на море, так и на берегу. На Новой Земле в июле артиллерийским огнем с подводной лодки была уничтожена полярная станция Малые Кармакулы. В августе подводная лодка обстреляла полярную станцию мыс Желания и попыталась высадить десант, но атака немцев была отбита полярниками. 25 августа фашистский рейдер — тяжелый крейсер (карманный линкор) «Адмирал Шеер» во время неравного боя у о-ва Белуха потопил знаменитый д/п «А. Сибиряков». Моряки, открыв кингстоны, затопили обьятное огнем судно, но флаг не спустили. Погибло около 100 человек — моряков и сотрудников полярных станций. Фашистский катер отбуксировал полузатопленную шлюпку с 19-ю членами экипажа д/п «А. Сибиряков», тяжело ранеными в бессознатель-

ном состоянии, к борту крейсера. Среди них были капитан А. А. Качарава, парторг М. Ф. Сараев и ледовый разведчик, сотрудник ААНИИ, А. С. Золотов. Позднее М. Ф. Сараев, работавший директором-администратором в театре на Литейном проспекте, вспоминал:

— «Наш „А. Сибиряков“ вышел из Диксона, имея задание доставить на островные полярные станции смены наблюдателей продовольствие. 25 августа мы продвигались на северо-восток вдоль побережья и на траверсе о-ва Белуха неожиданно со стороны моря увидели силуэт большого военного корабля, который мы вначале приняли за английский корвет.

Полным ходом он пошел на сближение, запрашивая у нас ледовую обстановку и пытаясь отрезать судно от прибрежной полосу. На наш запрос о названии и принадлежности на крейсере ответили что-то невразумительное, затем на корме подняли английский флаг, после чего ими была введена в действие система радиопомех, в головные телефоны ворвался треск и шум и связаться с Диксоном стало невозможно. Фашисты хотели захватить цифры и коды и, работая ими, получить необходимую для прохода в пролив Вилькицкого ледовую информацию.

Наконец, на крейсере прекратили „ломать комедию“ и просемафорили: „Спускайте флаг, сдавайтесь!“ Капитан (он же командир) А. А. Качарава немедленно приказал артиллеристам „Приготовиться к бою!“ „А. Сибиряков“ открыл огонь по врагу первый, но на судне было лишь несколько орудий небольшого калибра, и силы были явно не равны. С дистанции 64 кабельного орудия главного калибра крейсера произвели 27 выстрелов, четыре тяжелых снаряда попали в пароход, несмотря на то, что „А. Сибиряков“ по всем правилам поставил дымовую завесу. Командир линкора „Адмирал Шеер“, капитан I ранга Менсен-Болькен на своем хорошо вооруженном корабле „геройски“ расправлялся с ветераном Арктики, впервые прошедшим за одну навигацию весь Северный морской путь.

Для немцев такая дистанция боя была прямая наводка. Первым попаданием тяжелого снаряда была снесена мачта, и я полез ставить антенну на другую, но фашисты стали обстреливать нас шрапнелью, меня ранило и сбило на палубу. Спас меня боцман — он надел на меня спасательный круг и вытолкнул за борт, когда пароход уже тонул и палуба сравнялась с водой. Вторым тяжелым снарядом был снесен с кормы весь наш артиллерийский расчет, третьим — подожжены на носу бочки с горючим, а четвертый угодил в машину, после чего стало ясно, что пароход обречен.

„А. Сибиряков“ тонул, но пушки его продолжали бить по врагу. Такого моряки фашистского рейдера никак не ожидали, а за последние восемь месяцев в Тихом океане и Северной Атлантике „Адмирал Шеер“ потопил и взял в плен свыше 20 судов и все они сдавались без сопротивления. После того как шлюпку захватили немцы, нас на крейсере загнали в трюм. Здесь я должен сказать, что героический отпор врагу, данный нашими моряками, настоль-

ко потряс немцев, что они выразили свое уважение тем, что выдвали всем шерстяные одеяла, а тяжело раненных выносили на этих одеялах даже подышать воздухом на палубу. Еще такая деталь: никто из нас не выдал капитана А. А. Качараву: у него была устая черная борода, и мы сказали, что это наш профессор. Затем нас в Нарвике сдали в гестапо, и начались наши мытарства по концлагерям».

К этому рассказу следует добавить, что указом Президиума Верховного Совета СССР в 1961 г. группа моряков л/п «А. Сибиряков» за мужество и стойкость, проявленные в бою с фашистским крейсером «Адмирал Шеер», была награждена боевыми орденами.

Через день, 27 августа, рейдер произвел артиллерийский обстрел о-ва Диксон, повредив ряд объектов, но получил отпор береговой батареи (командир Корняков) и артиллерии л/п «Семен Дежнев», отступил после того, как на нем возник пожар от трех прямых попаданий. В десятки раз превосходящий все батареи Диксона по своей огневой мощи, в несколько раз по количеству людей, «Адмирал Шеер», закрывшись дымовой завесой, позорно ретировался.

Так бесславно закончилась операция фашистов под кодовым названием «Вундерланд» («Страна чудес»). При защите Диксона особо отличились сотрудники АНИИ М. М. Сомов, В. В. Фролов, А. Г. Дралкин, К. М. Якубов. Командующий Северным флотом адмирал А. Г. Головкин, анализируя все события, связанные со сражением с крейсером «Адмирал Шеер», сказал: «Преклоняюсь перед мужеством и героизмом полярников — экипажа и персонала научной станции на борту л/п „А. Сибиряков“, экипажей л/п „Семен Дежнев“ и „Революционер“, артиллеристов и портовиков Диксона — все они исполнили свой долг»...

Действительно, благодаря мужеству наших людей планы гитлеровцев были полностью сорваны, и крейсер «Адмирал Шеер» у Диксона не выполнил ни одну из поставленных задач: не удалось потопить суда (через несколько дней л/п «Семен Дежнев» был отремонтирован норильскими металлургами в Дудинке), высадить десант, захватить пленных, получить сведения о ледовой обстановке.

Вообще же, горе-романтикам, сидевшим в фашистском Генштабе и дававшим своим бесславно проваливающимся одна за другой операциям громкие кодовые названия, как например, «Двойной удар», «Царица», «Страна чудес», «Голубой песец», приходилось оплакивать всех своих «песцов», с которых наши герои-полярники «сдирали шкуры».

В конце августа 1942 г. пропал без вести самолет ледовой разведки, очевидно, неожиданно попав под огонь рейдера (о появлении врага наша военная разведка сообщила, к сожалению, с опозданием). На борту самолета погиб гидролог-прогнозист АНИИ И. Г. Овчинников. В конце сентября 1942 г. орудийным огнем

с подводной лодки была разрушена полярная станция о-в Уединения.

В 1943 г. немецкая подводная лодка потопила у восточного побережья Новой Земли лучшее экспедиционное судно Арктического института «Академик Шокальский», при этом 11 человек погибли, в том числе сотрудница АНИИ, гидрохимик Б. Футерман. В сентябре 1943 г. подводные лодки произвели артобстрел полярной станции о-в Правда и залив Благополучия, а на полярной станции мыс Стерлегова с подводной лодки был высажен десант, который захватил в плен четырех полярников. Но были и другие, гораздо более тяжелые потери.

В августе 1944 г. свыше 300 полярников и членов их семей с транспорта «Марина Раскова», торпедированного подводной лодкой недалеко от Диксона, погибли в холодных водах Карского моря в результате зверского нападения фашистов. Оставшихся в живых много дней без пищи и воды носило на плотах шлюпках и кунгасах по бурному морю, пока их не нашли и не спасли летчики полярной авиации. Сотруднице АНИИ А. В. Ковровой, долгое время работавшей в нашем парткоме, чудом удалось спастись с тонущего судна. В этом же районе подводная лодка «Ю-957» потопила г/с «Норд», при этом погибло 20 человек. Однако благодаря стойкости и мужеству полярников Северный морской путь и в условиях беспощадной войны на море, несмотря на перечисленные потери, функционировал нормально.

Кроме обеспечения арктических навигаций, полетов самолетов и боевых действий Северного флота, многие полярники непосредственно участвовали и в боевых операциях флотов и фронтов. В годы войны АНИИ понес большие и невосполнимые потери — ведь только в боях погибло свыше 20 человек. На мемориальной доске памятника, установленного перед зданием института, высечены имена сотрудников, отдавших жизнь в борьбе с фашизмом за свободу и независимость нашей Родины. Каждый год все сотрудники ААНИИ в день Победы собираются у мемориала, чтобы почтить память своих коллег минутой молчания и возложить цветы.

Память о героях, погибших в Заполярье в борьбе с врагом, останется в веках. Моряки чтут память о погибших на боевом посту, и традиция эта передается из поколения в поколение. Участвуя в составе экспедиций института на ледоколах, я неоднократно проходил мимо о-ва Белуха, где затонул «А. Сибиряков», и каждый раз вместе со всем экипажем отдавал дань уважения подвигу наших моряков. Стоя, без головных уборов, в молчании проходят по традиции моряки траверс острова. Все суда каравана непрерывными гудками салютуют в честь погибших. 25 августа с проходящих судов на воду, где в 1942 г. над мачтами «А. Сибирякова» сомкнулись волны, опускаются венки из живых цветов.

В заключение следует отметить главное — фашистам не удалось уничтожить наш Северный флот, ледоколы, сорвать гидрометеорологическое обеспечение арктических навигаций, блокиро-

ать Северный морской путь. В победу над жестоким и сильным врагом в Великой Отечественной войне, 50-летие которой в этом году отмечала наша страна, свой достойный и посильный вкладнесли и полярники-гидрометеорологи института Арктики и Антарктики, которые не только своим самоотверженным трудом по гидрометеорологическому и ледовому обеспечению арктических судо-авиационных операций помогали действующему Военно-морскому флоту и авиации в Арктике, но и непосредственно участвовали в боевых операциях на Севере.

Правительством была учреждена медаль «За оборону советского Заполярья», которой многие сотрудники института были награждены. За самоотверженный труд по обеспечению операций на Северном морском пути в дни Великой Отечественной войны после ее окончания 2159 полярников были награждены орденами и медалями.

К сожалению, приходится констатировать тот факт, что весь ущерб от военных действий в Арктике не сравним с развалом, ликвидация ледовой разведки, закрытие дрейфующих научных станций «Северный полюс», закрытие большого числа полярных станций, использование институтских экспедиционных судов не по прямому назначению), происходящим в настоящее время на трассе Северного морского пути как в море, так и на суше.

Поступила 20.01.95 г.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОРСКИХ ЛЬДОВ АРКТИКИ

Главная особенность полярных районов Земли состоит в постоянном наличии морских льдов, которые активно участвуют в энергообмене океана с атмосферой, и как следствие оказывают непосредственное воздействие на гидрометеорологические процессы различных пространственно-временных масштабов, включая современные изменения климата. Понимание существенной роли морского ледяного покрова в глобальных и региональных крупномасштабных гидрометеорологических процессах стало одним из условий особого внимания исследователей к изучению морских льдов как физико-географической среды, взаимодействующей с океаном и атмосферой. Однако главной причиной необходимости широких исследований морского ледяного покрова является практическая деятельность человека, связанная прежде всего с промышленно-транспортным освоением полярных районов. С момента основания институт приступил к изучению закономерностей ледового режима, выяснению физических механизмов за-благовременности и созданию на этой основе методов прогнозов и расчетов ледовых процессов и явлений.

Установлено, что состояние морского ледяного покрова подвержено большой изменчивости, о чем можно судить по результатам изучения колебаний его основных характеристик, таких как ледовитость, площади ледяных массивов и припайных льдов, сроки ледообразования и взлома припая, толщина льда и др. Приведенные ниже примеры такой изменчивости свидетельствуют о необходимости и сложности решения задач ледовых прогнозов.

По данным В. Ф. Захарова, морские льды занимают в среднем 23,7 млн км², или 6,6 % площади Мирового океана, при этом максимальная площадь наблюдается в октябре (27,74 млн км²) и минимальная — в марте (18,73 млн км²).

Площадь, занятая льдами в северном полушарии, имеет максимум в марте (16,11 млн км²) и минимум в сентябре (7,95 млн км²), а в южном полушарии в марте наблюдается минимальное количество льда (2,62 млн км²), и в сентябре — максимальное (18,82 млн км²).

Более значительным колебаниям подвержена ледовитость крупных географических регионов и отдельных морей. Так, амплитуда сезонных изменений ледовитости в Арктическом бассейне с окраинными морями составляет 21 %, в Северо-Европейском — 28 %, а в морях Северо-Западной Атлантики она достигает 62 %. Ледовитость морей сибирского шельфа, где проходит Северный морской путь, изменяется в более широких пределах. Среднее многолетнее уменьшение ледовитости за период июль — сентябрь составляет для морей: Карского — 57 %, Лаптевых — 51 %, Во-

очно-Сибирского — 33 % и юго-западной части Чукотского моря — 46 %.

Амплитуды колебаний ледовитости арктических морей, по которым можно судить об изменчивости фоновых ледовых условий судоходства на трассе Северного морского пути в июле — сентябре, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Амплитуды площади льдов в морях Сибирского шельфа, %
(по данным В. Ф. Захарова)

Моря	Июль			Август			Сентябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Арктическое	43	59	68	79	82	81	70	60	63
Ледовитых	44	45	64	62	83	79	81	81	83
Восточно-Сибирское	28	36	53	83	87	94	95	88	82
Юго-запад Чукотского моря	73	73	74	67	67	59	60	59	69

Еще в 40-х годах было установлено, что в определенных районах арктических морей скапливаются льды большой сплоченности (7—10 баллов), толщины и торосистости. Эти скопления льдов получили название ледяных массивов. Выделено девять таких массивов, различающихся по своему происхождению и состоянию ледяного покрова и степени воздействия на судоходство. Название ледяных массивов соответствует их географическому положению.

Такие массивы, как Карский северный, Таймырский, Айонский, Чукотский северный являются отрогами океанического ледяного массива и сохраняются в течение всего навигационного периода. Айонский ледяной массив отличается от других массивов повышенной мощностью льдов и пониженной разрушенностью.

Североземельский, Янский и Новосибирский ледяные массивы формируются в период разрушения припая в основном из местных припайных льдов и в большинстве лет к началу сентября эти массивы, как правило, исчезают за счет таяния льдов на месте.

Новоземельский и Врангелевский ледяные массивы формируются в основном из местных дрейфующих годовалых льдов. В годы большой ледовитости Врангелевский и Новоземельский ледяные массивы сохраняются в течение навигационного периода, при малой ледовитости эти массивы, как правило, разрушаются к концу летнего периода. Данные об изменчивости площадей ледяных массивов представлены в табл. 2.

Устойчивое накопление льда в море происходит в осенне-зимний период и начинается с устойчивого ледообразования на свободных от льда пространствах.

Таблица

«Средние многолетние площади ледяных массивов (Л) и их амплитуды (А), %

Массив	Июль _I		Август _I		Сентябрь _I		Сентябрь _{III}	
	Л	А	Л	А	Л	А	Л	А
Новоземельский	57	76	12	41	1	10	0	0
Североземельский	80	66	45	91	16	39	10	36
Карский северный	87	53	59	84	42	96	38	87
Таймырский	80	58	52	76	32	74	26	72
Янский	90	26	32	98	6	38	2	29
Айонский	92	28	74	48	49	57	51	78
Врангелевский	31	62	10	32	5	16	5	24

Раньше всего ледообразование начинается в северных районах морей среди остаточных льдов (конец августа), позже всего — в крайней юго-западной части Карского моря и юго-восточной части Чукотского (первая половина ноября). Как видно из этих средних многолетних данных, ледообразование распространяется на всю акваторию морей в течение 2,5 месяцев. При этом амплитуда устойчивого ледообразования существенно изменяется в пространстве (от 30 до 100 суток). Наибольшая изменчивость отмечается в районах среднего многолетнего положения кромки льда о-ва Вайгач, у побережья Чукотского моря и о-ва Врангеля, наименьшая — в закрытых бухтах и мелководных прибрежных районах.

В соответствии со сроками начала устойчивого ледообразования и скоростью нарастания наступают сроки достижения определенных толщин льда. При этом межгодовые отклонения толщины льда от средних значений в течение всего периода нарастания не превышают 20 см. Максимальные толщины припайного льда обычно наблюдаются во второй половине мая и в зависимости от географического положения морей и гидрометеорологического режима различия в средних многолетних толщинах припая для отдельных районов достигают 100 см. Толщины дрейфующих льдов отличаются значительно большей пространственно-временной изменчивостью, обусловленной непрерывным перемещением льда, разломами ледяных полей, образованием каналов и разводий, которые покрываются молодым льдом. В результате в конце периода накопления льда в море наблюдаются осенние зимние и молодые дрейфующие льды.

В зимний период арктические моря, кроме юго-западной части Баренцева, полностью покрыты дрейфующим льдом сплоченностью 9—10 баллов. В прибрежных мелководных районах устанавливается припай, состоящий в основном из льдов осеннего образования. Морфометрические условия северо-восточной части Карского моря и района Новосибирских островов обуславливают наиболее широкое развитие припая, где он занимает соответ-

венно около 30 и 50 % площади районов. Наименее развит припай в юго-западных частях Карского (14 %) и Чукотского морей (6 %). Многолетняя изменчивость площади припая не превышает 20 % за исключением западной части Восточно-Сибирского моря, где амплитуда площади припая составляет примерно 40 %.

Припай достигает максимального развития в конце весны и начинает разрушаться под воздействием механических и тепловых факторов с началом таяния льда, когда восстановления его целостности уже не происходит. Сроки взлома припая характеризуются большой пространственно-временной изменчивостью. Амплитуда сроков взлома припая изменяется от 20—40 суток в районах широко развитого припая, бухтах и заливах, до 70—130 суток в районах слабо развитого припая (побережье Новой Земли, о.ва Таймыр и Чукотки). Ранние сроки окончательного разрушения припая отмечаются в основном в конце мая — первой половине июня, поздние приходятся на август — сентябрь. В большинстве районов окончательное разрушение припая происходит во второй половине июля.

Результаты исследований изменчивости основных характеристик состояния ледяного покрова и практика судоходства позволяют сделать вывод о том, что в одни годы в арктических морях создаются условия, практически безледокольного плавания судов, а в другие — даже с помощью мощных ледоколов судоходство осуществляется с большими трудностями на всем протяжении или на его отдельных участках. Так, средняя многолетняя продолжительность безледокольного плавания на участке трассы мыс Елюскин — мыс Косистый составляет 33 суток, а на трассе мыс Шелагский — устье реки Колымы — 83 суток. При этом максимальная продолжительность безледокольного плавания по данным действительной ледовой обстановки была возможна на трассе мыс Шелагский — Берингов пролив в течение 119 суток. Ледовые условия, при которых плавание без ледоколов было невозможным, издавались на всех участках трассы Северного морского пути.

Большая изменчивость состояния морских льдов и важная роль ледовых условий в решении промышленно-транспортных задач в Арктике обусловили необходимость изучения закономерностей ледового режима, выяснения физических механизмов заблаговременности (предсказуемости) и создания на этой основе методов ледовых прогнозов и расчетов. К решению этих трех взаимосвязанных проблем институт приступил сразу же после основания и добился к настоящему времени важных научных и практических результатов, получивших международное признание. Первый долгосрочный ледовый прогноз разработал В. Ю. Визе для Баренцева моря. Дальнейшие исследования по указанным направлениям (режим, механизмы заблаговременности и методы прогнозов можно условно разделить на три этапа).

Результаты первого этапа (1923—1944 гг.) изложены в монографии В. Ю. Визе «Основы долгосрочных ледовых прогнозов для

арктических морей» (1944 г.). В этой монографии представлен режим отдельных характеристик ледяного покрова и показана принципиальная возможность их долгосрочного прогнозирования. Основные положения, сформулированные В. Ю. Визе, состоят в следующем. Циркуляция атмосферы, определяющая ее тепловое и динамическое воздействие на ледяной покров, является главным фактором, который прежде всего необходимо учитывать при разработке методов ледовых прогнозов. Поэтому доминирующие процессы воздействия на ледяной покров следует искать в атмосфере, учитывая, что влияние гидросферы, как правило, значительно меньше. Большое значение для ледовых прогнозов могут иметь метеорологические прогнозы, особенно для ледовых явлений, в значительной мере зависящих от синхронных гидрометеорологических процессов (распределение льда, ледообразование и др.).

Принципиальная возможность долгосрочного прогноза ледовых условий в арктических морях базируется на ледовой инерции, присущей ледяному покрову, заложенной в его начальном состоянии, а также на учете гидрометеорологических процессов периода формирования октябрь — май и начала процессов разрушения ледяного покрова май — июнь. В качестве показателей тепловых и динамических процессов используются температуры воздуха зимнего и весенне-летнего периода, разности давления на эффективных створах, отражающих направление и интенсивность воздушных переносов за различные периоды.

Перспективным направлением является использование долгосрочных метеорологических прогнозов, типов атмосферной циркуляции, разработанных Г. Я. Вангенгеймом, а также выявления связей атмосферной циркуляции и состояния ледяного покрова с «внешними факторами» (гелиогеофизические факторы). В конце этого периода приобрели широкую известность работы Н. Н. Зубова, В. В. Шулейкина и других советских океанографов, посвященные отдельным вопросам изучения тепловых и динамических процессов в ледяном покрове и причинам его многолетней изменчивости.

В 1938 г. в ААНИИ был создан отдел ледовых прогнозов, перед которым была поставлена задача разработки и совершенствования методики ледовых прогнозов на основе изучения закономерностей ледового режима. Усилиями многочисленного коллектива отдела ледовых прогнозов основные положения и идеи, выработанные на первом этапе изучения ледяного покрова, были углублены и расширены.

Результаты исследований на втором этапе (1945—1972 гг.) обобщены в монографии «Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей» (З. М. Гудкович, А. А. Кириллов, Е. Г. Ковалев, А. В. Сметанникова, В. А. Спичкин), изданной в 1972 г. В этой монографии были использованы итоги многолетней работы большого коллектива ученых. В изучение ледового режима и разработку методов ледовых прогнозов, кроме авторов

азанной монографии, на различных этапах исследований внесли ределенный вклад В. Ю. Визе, Д. Б. Карелин, С. Д. Лаппо, А. Гордиенко, Н. А. Волков, А. Ф. Трешников, В. М. Иванов, С. Хромцова, Н. С. Уралов, Т. П. Морозова, Т. Н. Санцевич, В. Молькентин, С. И. Петров, Ю. А. Горбунов, И. М. Кузнецов, Л. Соколов, Н. П. Шестериков, Т. И. Москаль, А. Я. Николаева, П. П. Доронин, Ю. В. Николаев, Е. И. Чаплыгин, А. В. Янес, Ф. Захаров, Б. А. Крутских, В. Е. Бородачев, И. Д. Карелин, П. Карклин, А. И. Юлин, А. Г. Егоров и другие.

Установлено, что непосредственными причинами формирования и разрушения ледяного покрова, а следовательно, и межгодовой изменчивости, являются процессы нарастания, таяния и растрескивания льда, которые проявляются по-разному в отдельных местах в зависимости от их географического положения и характера развития самих гидрометеорологических процессов.

Изучение основных причин формирования ледовых условий арктических морях позволило построить физико-статистические численные модели для расчета отдельных элементов ледового режима. Однако эти расчетные модели имеют нулевую заблаговременность и не могут быть использованы для прогноза в чистом виде. Поэтому при разработке методики долгосрочного прогнозирования необходимо преобразовать эти схемы в прогностические. Задача состоит в том, чтобы разделить все гидрометеорологические процессы, учитываемые при прогнозе, на предшествующие — исходные до момента составления прогноза, и последующие — развивающиеся в период между моментом составления прогноза и моментом, на который прогнозируется состояние ледяного покрова или его характеристики.

Принципиальная схема зависимости состояния ледяного покрова на прогнозируемый период от предшествующих и последующих процессов выглядит следующим образом: предшествующие процессы в атмосфере и гидросфере → начальное состояние ледяного покрова → последующие процессы в атмосфере и гидросфере → прогнозируемое состояние ледяного покрова.

Состояние изученности всех звеньев этой схемы в их взаимодействии, количественное выражение этой связи и определяют по существу возможность и заблаговременность прогнозирования состояния ледяного покрова. В результате выполненных исследований установлено, что исходное состояние ледяного покрова целого года элементов ледового режима является существенным фактором для их дальнейшего формирования, поэтому его необходимо учитывать при разработке прогностических схем. В качестве характеристик начального состояния ледяного покрова используется толщина льда, площадь льдов различного возраста, площадь открытая, ледовитость и площади массива.

К начальным условиям относятся также тепловое состояние гидросферы, которое оценивается через теплозапас вод или его различные показатели. В результате проведенных исследований дана оценка роли начального состояния ледового покрова и гидро-

сферы в дальнейшем формировании различных элементов ледового режима. Начальное состояние ледового покрова является результатом действия процессов нарастания, таяния и дрейфа льда, поэтому эти процессы в виде различных показателей также широко используются при построении прогностических схем.

Информативность начального состояния ледяного покрова предшествующих гидрометеорологических процессов зависит от инерции прогнозируемого элемента и заблаговременности прогноза, уменьшаясь с увеличением заблаговременности и увеличиваясь с ее уменьшением. Она является довольно существенной для прогноза толщины льда, ледовитости и площадей массивов, что позволяет составлять прогнозы этих элементов с заблаговременностью до 6 месяцев. Значительно меньше информативность начальных условий в прогностических схемах для распределения льда, сроков взлома припая, сроков наступления осенних ледовых явлений, на что существенное влияние оказывают последующие процессы, которые необходимо учитывать по данным соответствующих прогнозов. Возможность оценки последующих процессов на основе использования долгосрочного метеорологического прогноза оказалась ограниченной, поскольку интенсивность ожидаемых процессов в их количественном выражении не прогнозируется. Поэтому приходится использовать полученные эмпирические закономерности, отражающие связь предшествующих процессов в атмосфере и гидросфере с характером их развития в последующем.

В этом случае в прогностических схемах вместо характеристики последующих атмосферных процессов учитываются показатели их предшествующего состояния. Кроме вышеизложенных процессов, непосредственно влияющих на формирование и разрушение ледяного покрова, в прогностических схемах учитываются и крупномасштабные процессы в атмосфере и гидросфере, так как процессы, происходящие в локальных районах, связаны с крупномасштабными процессами, развивающимися на больших акваториях и далеко за пределами данного района. Здесь используются зависимости между ледовитостью арктических морей и типами атмосферной циркуляции по классификации Г. Я. Вангенгейма, показателями расхода атлантических и тихоокеанских вод, показателем интенсивности водо- и ледообмена между арктическими бассейном и окраинными морями и др.

Кроме отмеченных зависимостей, в прогностических схемах используется и ряд других закономерностей, выявленных в многолетнем ходе самих ледовых явлений (цикличность), а также и связи с различными показателями гелио-геофизических процессов.

В результате многочисленных исследований общую принципиальную физико-статистическую зависимость ледовых условий от факторов, их определяющих, можно представить так:

$$L(t) = f(L_0, A_p, W_p, A_f, Ц, В, Г),$$

где $L(t)$ — состояние ледяного покрова на период времени; L_0 —

ачальное состояние ледяного покрова; A_p , W_p — предшествующие гидрометеорологические процессы; A_f — последующие процессы атмосфере; Ц, В — цикличность и взаимосвязь в колебаниях ледовитости отдельных районов; Г — гелиогеофизические процессы.

Для каждого конкретного прогнозируемого элемента и необходимой заблаговременности это общее уравнение преобразуется за счет исключения из расчетной схемы тех факторов, которые мало влияют на формирование данного элемента.

Полученные прогностические зависимости позволили составлять прогнозы различной заблаговременности по следующим элементам: толщина льда и разрушение припая, ледовитость и площади ледяных массивов, распределение льда, ледообразование и таяние льда, навигационные рекомендации. Оправдываемость этих прогнозов средняя по всем прогнозам и элементам составила за пятилетие 1971—1975 гг. 82 % по величине и 92 % по знаку.

В этот период получили развитие краткосрочные ледовые прогнозы. Следует отметить, что до начала 60-х годов в этой области знаний был существенный пробел. Об этом свидетельствует тот факт, что после появления статьи Д. Б. Карелина и И. Г. Овчинникова «Краткосрочные ледовые прогнозы» (1940 г.) в одной существенной статье по данному вопросу не было опубликовано. Такое положение объясняется прежде всего недостаточностью информации о синоптической изменчивости ледовых условий, что не позволяло решать основную задачу краткосрочных прогнозов непрерывного слежения за изменениями ледовой обстановки в арктических морях, на отдельных участках трассы Северного морского пути и локальных районах. Краткосрочные ледовые прогнозы базировались на эмпирических теплобалансовых формулах расчета и физико-статистических связях (В. А. Спичкин, Ю. В. Тарбеев, Б. А. Крутских, Н. П. Шестериков и др.). В прогнозах распределения льда широкое применение получил метод аналогов, основанный на типизации ледовых условий и расчетах изобарического дрейфа (А. Л. Соколов, Ю. А. Горбунов). Прогноз ледообразования и нарастания льда базировался на районировании морей по однородным гидрологическим условиям теплообмена (Б. А. Крутских, Е. М. Гущенко), а также численной модели Ю. П. Доронина и А. В. Сметанниковой.

На следующем этапе (1973—1994 гг.) основные усилия были направлены на дальнейшее исследование закономерностей ледового режима арктических морей как основы для разработки методики ледовых прогнозов различной заблаговременности. Был выполнен цикл обобщающих работ, охватывающий различные стороны жизни ледяного покрова и гидрометеорологических процессов их определяющих, которые оформлены и защищены в виде докторских диссертаций (З. М. Гудкович, Е. Г. Ковалев, З. Ф. Захаров, Б. А. Крутских, А. Я. Бузуев, И. Л. Аппель, А. Л. Тимохов, А. П. Легеньков, Г. Н. Зубакин).

Кроме этого, подготовлены обобщающие работы, освещающие новые подходы к исследованию ледового режима арктических морей (В. Е. Бородачев, В. А. Спичкин).

Обобщающей работой, посвященной непосредственно методик долгосрочного прогнозирования, является работа Е. Г. Ковалев «Колебания ледовитости арктических морей и объективизация методов ее прогнозирования» (1981 г.). В этой работе с единых методологических позиций рассмотрены особенности формирования ледовитости арктических морей и предложен новый подход к разработке методики долгосрочных прогнозов, основанный на автоматизации поиска информативных предсказателей и построении прогностических схем различной заблаговременности. Концепция такого подхода предложена Ю. В. Николаевым и Е. Г. Ковалевым, а разработка алгоритмов и программы автоматизированной системы осуществлена С. М. Прямыковым.

Этот системный подход в дальнейшем оправдал себя в исследованиях, посвященных разработке методов прогнозов. В 1985—1990 гг. велось исследование причины формирования крупных аномалий различных характеристик состояния ледяного покрова и методов их прогнозирования (А. А. Кириллов, В. А. Спичкин, И. Д. Карелин, Е. Г. Ковалев, В. П. Карклин). Итог всех прогностических разработок завершился созданием пособия по составлению ледовых прогнозов различной заблаговременности (1990 г.).

Для третьего этапа особенно характерно интенсивное развитие математического моделирования ледяного покрова, реализуемое численными методами. По мере совершенствования знаний о процессах, происходящих в ледяном покрове и прилегающих к нему слоях воздуха и воды, начали появляться и совершенствоваться математические модели ледяного покрова, которые с одной стороны, служили инструментом исследования ледового режима, а с другой — стали использоваться в качестве методов расчетов и прогнозов распределения в пространстве и времени комплекса характеристик состояния ледяного покрова.

Обычно математические модели ледяного покрова подразделяют на три основных класса: динамические модели, перед которыми ставится задача воспроизведения перемещения льдов, их сплочения, разрежения, деформации под влиянием ветра (в редких случаях и течений); термодинамические модели, учитывающие только тепловые процессы: таяние и нарастание льда; динамико-термодинамические модели, целью которых является наиболее полное воспроизведение эволюции ледяного покрова, происходящей под влиянием как динамических, так и тепловых процессов.

Динамические и термодинамические модели могут иметь лишь ограниченное применение: первые — в основном для краткосрочных расчетов и прогнозов, поскольку за промежутки времени, превышающие 5 суток, влияние тепловых процессов на перераспределение льда становится заметным; вторые — для замкнутых водо-

моз, неподвижных льдов и в некоторых климатических исследованиях, для которых влиянием динамики льда можно пренебречь. Поэтому те и другие могут рассматриваться в качестве соответствующих блоков динамико-термодинамических моделей.

При их разработке обычно решается широкий комплекс задач, связанных с описанием сил, воздействующих на ледяной покров, моделированием теплового разрушения и нарастания льда и определением изменений характеристик состояния ледяного покрова при его движении и др.

Обзор исследований по этим вопросам и обширная библиография содержатся в монографии «Численное моделирование и прогноз эволюции ледяного покрова арктических морей в период таяния» (И. Л. Аппель, З. М. Гудкович, 1992 г.). Отметим лишь, что определенный вклад в моделирование ледяного покрова и разработку численных методов расчетов и прогнозов внесли Ю. П. Доронин, З. М. Гудкович, Е. Г. Никифоров, И. Л. Аппель, И. Е. Фролов, А. Ю. Прошутинский, С. П. Позднышев, Л. А. Тимохов, Д. Е. Хейсин, С. А. Колесов, А. П. Легеньков, М. Ю. Кулаков и др.

Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования позволили оценить различные параметры, от которых зависит эволюция ледяного покрова. В достаточно развитых моделях учитываются наиболее важные внешние и внутренние процессы: обмен количеством движения ледяного покрова с атмосферой и океаном; поступление коротковолновой радиации, сильно изменяющейся в течение года в зависимости от географической широты и облачности; поглощение радиации снежно-ледяной поверхностью, а также в снежниках и разводьях, зависящее от альбедо; потоки тепла, поступающего ко льду от снежников, разводьев и акватории, свободной от ледяного покрова; длинноволновое излучение и турбулентный теплообмен с атмосферой; потоки тепла через лед, зависящие от толщины льда, снега и плотности последнего; процессы конвекции и турбулентного обмена в море, определяемые его термохалинной структурой; внутреннее взаимодействие в ледяном покрове и влияние на него берегов и неподвижного льда; влияние градиентных течений.

В основе таких моделей лежат балансовые уравнения, основанные на постулатах механики и термодинамики о сохранении массы, импульса и тепла. Система дифференциальных уравнений решается численными методами с учетом начальных и граничных условий. Численные методы позволяют рассчитывать за различные отрезки времени поля скорости дрейфа, характеристики состояния ледяного покрова: сжатие, торошение, разрежение, элементы тензора деформации и связанные с ним явления, а также распределение сплоченности, толщины, разрушенности, раздробленности, торосистости и т. п.

Использование метеорологических прогнозов полей атмосферного давления и температуры воздуха позволяет использовать численные методы ледовых прогнозов для обеспечения различных

отраслей практической деятельности человека в ледовитых морях. Численные методы особенно перспективны в краткосрочных и среднесрочных ледовых прогнозах (заблаговременностью до 1 месяца), дающих основу для составления специализированных прогнозов, используемых для выбора оптимальных трасс, оценки затрат времени на проведение конкретных морских операций.

В конце 70-х годов в работах Ю. А. Горбунова и Б. А. Крутских начал разрабатываться подход к решению задачи комплексных ледово-гидрологических прогнозов на основе изучения изменчивости отдельных ледовых и гидрологических характеристик в масштабе синоптических колебаний.

В работе Б. А. Крутских «Основные закономерности изменчивости режима арктических морей в естественных гидрологических периодах» (1978 г.) на основе статистического анализа большого объема гидрометеорологической и ледовой информации и понятий о естественных гидрологических периодах, элементарных процессах, однородных районах показано, что в арктических морях развиваются единые крупномасштабные гидрометеорологические и ледовые процессы с преобладающей продолжительностью 2—10 суток.

Было выделено семь типов таких единых процессов и, что самое важное, в текущих гидрологических процессах найдены признаки будущего развития единого гидрометеорологического и ледового процесса. Следовательно, открывается возможность непрерывного слежения за сменой крупномасштабных процессов и прогнозирования последовательных изменений всего комплекса ледово-гидрологических условий в синоптическом масштабе их колебаний. Эти возможности реализованы в практике научно-оперативного обеспечения судоходства и в разработке метода комплексного прогноза ледово-гидрологических условий в арктических морях на естественный гидрологический период автор Ю. А. Ванда).

В исследованиях В. А. Спичкина получен ряд выводов, имеющих прогностическое значение. Основное положение состоит в том, что сезонные изменения состояния ледяного покрова определяются тепловыми факторами, при этом ведущими являются радиационные процессы, которые характеризуются большой пространственно-временной изменчивостью их эффективности реализации, зависящей от сроков начала таяния снега и льдов, влагосодержания атмосферы и характера подстилающей поверхности. Показано, что регулирующие факторы эффективности реализации радиационной энергии в ледовых процессах обладают большой консервативностью и определяют интенсивность ледовых процессов на длительное время. Это положение позволило В. А. Спичкину и А. Г. Егорову разработать локально-генетический метод прогноза на основе оценки сочетания аномалий природных предикторов, по которым можно выделить устойчивые типы изменения ледовых условий в однородных районах.

Фактическая и прогностическая информация о состоянии ледяного покрова и его изменчивость по сути является физико-географической и не отвечает в необходимой степени запросам практики, если отсутствует возможность количественной оценки непосредственного воздействия ледовых условий на судоходство или другую деятельность в замерзающих морях. Понимание такого положения привело в начале 60-х годов к постановке крупной научно-прикладной проблемы — изучению ледовых условий плавания с целью создания научных основ методов расчета воздействия параметров ледяного покрова на судоходство. Необходимость решения этой проблемы стимулировалась интенсивным развитием морских перевозок в арктических и замерзающих неарктических морях.

В 1961 г. в ААНИИ был создан отдел изучения ледовых условий плавания. В исследования, разработки и постановку натурных экспериментов по данному направлению внесли определенный вклад П. А. Гордиенко, А. Я. Бузуев, Г. Н. Сергеев, В. Ф. Дубовцев, А. А. Романов, В. И. Смирнов, Н. А. Чуркина, В. И. Решеткин, В. И. Каштелян, А. Я. Рывлин, В. А. Лихоманов, В. Е. Федяков, Н. М. Адамович, А. И. Бровин, Е. И. Макаров и многие другие.

Исследование проводилось на основе комплексного одновременного анализа и учета физико-географических и физических характеристик состояния ледяного покрова, а также данных о ледовых качествах ледоколов и судов с учетом их мощности. Только при таком подходе стало возможным в первом приближении оценить количественно связь судоходства с ледовыми условиями в замерзающих районах Мирового океана. Принципиальный подход и наиболее важные результаты первого этапа исследований в данном направлении были опубликованы в статье «Изучение ледяного покрова моря как среды судоходства» (П. А. Гордиенко, А. Я. Бузуев, Г. Н. Сергеев, 1967 г.). На основе анализа данных натурных испытаний движения судов во льду впервые были установлены количественные зависимости движения судов от параметров состояния дрейфующих льдов и припая. Дана количественная оценка воздействия каждого из этих параметров и в их различном сочетании (толщина, сплоченность, торосистость, разрушенность, сжатие льдов и др.) на скорость движения одиночного ледокола и каравана судов различного состава под проводкой ледокола.

Сложность оценки параметров ледяного покрова, влияющих на его проходимость, состоит в многообразии возможных сочетаний и изменениях их удельного веса в суммарном сопротивлении ледяного покрова движению судна. Это обстоятельство привело к введению понятия о коэффициенте трудности плавания, рассчитываемом как отношение эксплуатационных скоростей при одиночном плавании судна или ледокола во льдах и по чистой воде. Этот единый показатель ледовых условий плавания открывал широкие возможности для объективного решения широкого круга

задач в дальнейших исследованиях и в непосредственном научно-оперативном обеспечении судоходства в арктических морях. В это время впервые была разработана классификация ледяного покрова как среды судоходства, определены границы применения методов расчета сопротивления льда движению судов (А. Я. Бузуев, А. Я. Рывлин, 1968 г.).

Новый этап в развитии судоходства и связанного с ним изучения ледовых условий плавания начался с вводом в строй атомных ледоколов типа «Арктика» (1977 г.). На основе анализа данных научных экспериментов получили развитие методы количественной оценки скоростей движения ледоколов и караванов судов разного состава при любых сочетаниях характеристик ледяного покрова и разработана соответствующая эмпирическая модель расчетов (А. Я. Бузуев, В. Е. Федяков), которая широко применяется в научно-оперативном обеспечении судоходства во льдах до настоящего времени. Выполнен ряд работ по развитию и уточнению особенностей плавания в экстремальных условиях (в многолетних льдах Северного Ледовитого океана, в припае в период его максимального развития, и др.), разработаны принципы районирования Северного морского пути по трудности, безопасности и надежности судоходства, создана универсальная терминология для скоростей движения судов во льдах. Эти и другие результаты стали основой для создания соответствующих разделов (природные условия) «Руководства для плавания по Северному морскому пути» (1992 г.).

Принципы и методика изучения ледяного покрова как среды судоходства нашли успешное применение в исследовании и обосновании возможностей круглогодичной навигации во всех замерзающих неарктических портах страны (П. А. Гордиенко и др.), на внутренних водоемах и реках страны (Тронин В. А., 1968 г.), а также в водах Южного океана (А. А. Романов, 1984 г.).

Уровень знаний сезонных и межгодовых изменений ледовых условий плавания на всех трассах Северного морского пути, включая высокоширотные, позволил приступить в последние годы к разработке методов специализированных ледовых прогнозов для обеспечения судоходства (А. И. Бровин, Н. М. Адамович).

Особое место в исследованиях отдела ледового режима и прогнозов занимает проблема эволюции ледяного покрова Мирового океана в климатическом масштабе его изменчивости. Основной вклад в решение этой важной научной и прикладной проблемы внес В. Ф. Захаров. Начало работ в этом направлении положили исследования В. Ю. Визе по реакции морских арктических льдов на самое крупное климатическое событие XX в. — потепление Арктики. Опираясь на еще довольно немногочисленные фактические данные, он представил развернутую картину преобразований природной среды в северной полярной области в связи с развитием потепления в атмосфере. Заметное место в этой картине занимают морские льды, реакция которых на происходящие изменения оказалась весьма впечатляющей. За полтора десятилетия — с сере-

ины 20-х до конца 30-х годов — площадь этих льдов сократилась примерно на 1 млн км². Улучшилась ледовая обстановка на пути плавания судов, что в немалой степени способствовало успеху освоения Северного морского пути и превращении его в регулярную транспортную магистраль государственного значения. Хронологический рубеж, разделяющий эпоху единичных плаваний от эпохи массового движения судов, приходится на 30-е годы, когда климатическое потепление достигло своей кульминационной фазы.

Анализ климата и ледовых условий в Арктике, выполненный В. Ю. Визе, показал реальность существенных изменений в их состоянии в рамках узких временных интервалов, сравнимых с жизнью одного поколения. Вместе с тем, этот анализ обнаружил заметную пространственно-временную неоднородность потепления в атмосфере и всех сопутствующих ему явлений. В пространстве эта неоднородность выражалась в увеличении размаха колебаний географической широтой, во времени — в усилении колебаний от лета к зиме.

Ближайшей причиной потепления Арктики В. Ю. Визе считал усиление интенсивности атмосферной циркуляции на земном шаре и сдвиг траекторий атлантических циклонов на север. Средняя траектория этих циклонов в малоледовитые годы располагалась примерно на 3° широты севернее, чем в годы большой ледовитости в Гренландском море. На меридианах 50—80° в. д. различия в положении траекторий в осенний период достигали 5—6°, т. е. около 600 км. Следствием такого масштабного сдвига путей циклонов явилось усиление южной тяги воздуха над арктическими морями и уменьшением в них ледовитости.

Касаясь причин колебаний интенсивности самой атмосферной циркуляции, В. Ю. Визе указывает на переменный режим солнечной активности. Рост этой активности сопровождается акцентацией приземного барического поля, обострением его градиентов, т. е. усилением атмосферной циркуляции, а ее снижение — эффектами противоположного знака. Следует однако отметить, что, выдвигая эту гипотезу, он не скрывал фактов, не совместимых с некоторыми ее положениями. Оказалось, в частности, что реакция арктического антициклона на усиление солнечной активности в действительности была прямо противоположной ожидаемой.

Потепление Арктики привлекло к себе внимание широкого круга специалистов, изучающих арктическую природу в самых разных ее проявлениях. В исследовании реакции морских льдов на потепление внесли заметный вклад в те годы также Н. Н. Зубов, Д. Б. Карелин, А. Ф. Лактионов. В 1950—1970 гг. наиболее последовательными сторонниками идей В. Ю. Визе на природу изменений климата и морских льдов были И. В. Максимов, А. А. Гирс, Б. А. Слепцов-Шевлевич.

Окончание эпохи потепления было осознано по-настоящему лишь в 60-е годы, так как явные признаки нового климатического колебания — похолодания появились очевидным образом лишь во

второй половине 50-х годов. Арктические льды отреагировали на это колебание ростом повторяемости лет с тяжелыми ледовыми условиями. Условия мореплавания по Северному морскому пути ухудшились, особенно на его западном участке. В связи с таким развитием событий возникла необходимость в более детальном изучении реакции морских арктических льдов на изменяющиеся климатические условия. Решение задачи облегчалось тем, что наблюдения за состоянием многих элементов природной среды в Арктике, в том числе и морских льдов в послевоенный период приобрели регулярный характер.

Результаты исследования были обобщены в монографии В. Ф. Захарова «Похолодание Арктики и ледяной покров арктических морей» (1976 г.). В ней было показано, что похолодание привело к ряду важных изменений в состоянии ледяного покрова Северного Ледовитого океана и в особенности его морей. Эти изменения выразились в более раннем образовании морских льдов в большинстве пунктов арктического побережья и в открытом море, более раннем становлении припая осенью и более позднем взломе его весной, увеличении толщины льда, замедлении его дрейфа, ослаблении ледообмена окраинных морей с Арктическим бассейном, разрастании ледяной полярной шапки и росте ледовитости арктических морей летом, сдвиге кромки старых льдов в южном направлении, т. е. в ухудшении ледовых условий. В пределах Российской Арктики новая климатическая эпоха оказалась наиболее ярко выраженной в Карском море, где средняя годовая температура понизилась на 2—4° по сравнению с началом 40-х годов, а ледовитость увеличилась к концу 60-х годов почти на 0,4 млн км².

В процессе исследования взаимосвязи ледовых условий в Арктике с термическими условиями в атмосфере, проведенного в последующих работах В. Ф. Захарова, было установлено, что характер причинно-следственных отношений между ними в течение года не остается постоянным. Представление о том, что морские льды лишь «откликаются» на изменения климата, т. е. являются следствием изменения последнего, справедливо только отчасти. Климатически обусловленными в основном можно считать изменения площади морского льда летом, когда решающее значение в разрушении ледяного покрова имеют радиационные и метеорологические факторы. Зимой же наиболее важную роль в межгодовых и многолетних изменениях площади льда в океане играют теплосодержание вод и условия, регулирующие поток океанического тепла к поверхности. В этот период главной причиной климатических изменений в атмосфере являются морские льды, развитие которых зависит от состояния океана, строения его верхнего слоя.

Существует глубокая внутренняя связь между образованием, распространением и устойчивостью льда в глубоком море и строением его верхнего слоя. Связь эта предполагает возможность двух характерных режимов в Арктике — безледного и ледового

Переход от первого режима ко второму происходит в результате перестройки вертикальной структуры водной толщи, сопровождающейся формированием галоклина вблизи поверхности океана. Сильно ограничивая вертикальный теплообмен, галоклин создает необходимые предпосылки для образования льда всюду, где годовые потери тепла океаном превышают его поступление от Солнца, т. е. в областях стока энергии. При этом развитие галоклина в пространстве обуславливает географическое распространение и наиболее существенные особенности конфигурации арктического ледяного покрова. Переход от ледового режима к безледному совершается по мере вырождения галоклина. Адвективное тепло, поступающее в Северный Ледовитый океан в системе Северо-Атлантического течения, приобретает в этом случае способность к ничем не ограниченному энергообмену с атмосферой и в состоянии не только растопить существующий лед, но и предотвратить новое ледообразование. Таким образом, вопрос об устойчивости ледяного покрова в Арктике, это в сущности, вопрос об устойчивости современной вертикальной структуры его водной толщи, наличия или отсутствия галоклина. Так как последний обязан своим происхождением заметным различиям в солености поверхностной и подстилающей водных масс, то пока будут существовать эти различия, будет сохраняться и галоклин.

С другой стороны, изменения площади галоклина во времени, вызванные нарушениями пресноводного баланса Северного Ледовитого океана, должны сопровождаться соответствующими изменениями площади морских льдов. Чтобы льды полностью покрыли зимой Гренландское и Баренцево моря, достаточно распространить на них опресненные арктические воды, так как существующие термические условия в атмосфере не могут служить фактором сдерживающим горизонтальное развитие ледяного покрова. Сокращение размеров галоклина будет сопровождаться уменьшением площади арктических льдов. Учитывая наличие корреляционной связи между развитием морских льдов и термическими условиями в атмосфере, можно предполагать, что ближайшей причиной двух наиболее крупных климатических колебаний в Арктике на протяжении нынешнего столетия были колебания площади морских льдов.

Среди факторов, вызывающих нарушение баланса пресных вод в Северном Ледовитом океане, важнейшим, несомненно, является изменение в системе влагооборота в атмосфере, вызванное отклонением преобладающих траекторий циклонов в связи с динамикой внешней границы морских льдов. Со всей определенностью необходимо подчеркнуть, что надежных фактов, раскрывающих связь влагооборота в атмосфере с состоянием льдов в Арктике, пока крайне недостаточно. Однако порядок передачи климатического сигнала в климатической системе, при котором изменения в океане, вызванные нарушениями его пресноводного баланса, предшествуют изменениям в распространении морских льдов, а последние — изменениям в атмосфере, подводят к признанию

автоколебаний в качестве наиболее вероятной причины развития природного процесса в современный период.

Идея о внутренней динамике климатической системы как главной движущей силы развития природного процесса была использована для объяснения грандиозных ледниково-межледниковых колебаний в плейстоцене («Мировой океан и ледниковые эпохи плейстоцена» В. Ф. Захаров, 1978 г.).

Оценивая достижения в области изучения ледяного покрова Мирового океана, полученные знания закономерностей его изменчивости в процессе непрерывного взаимодействия с океаном и атмосферой, можно наметить основные проблемы, подлежащие решению в научных и прикладных целях.

1. Приступить к созданию единой модели состояния и эволюции природной среды, позволяющей на основе знаний механизмов взаимодействия между океаном, атмосферой и ледяным покровом, а также механизмом заблаговременности в этих средах перейти к разработке комплексного метода прогноза гидрометеорологических и ледовых процессов большой заблаговременности.

2. В целях прогноза климатических изменений состояния ледяного покрова уделить особое внимание также изучению влияния гелио-геофизических процессов и процессов длительного воздействия в атмосфере и океане на развитие последующих аналогичных процессов в полярных районах.

3. Обратить особое внимание на роль динамики вод Северного Ледовитого океана больших временных масштабов в формировании ледового режима арктических морей.

4. На основе развития численных методов, дальнейшего изучения единых гидрометеорологических и ледовых процессов синоптического масштаба, а также локально-генетического подхода к прогнозу устойчивых типов изменения ледовых условий в отдельных районах заполнить наметившийся пробел в краткосрочных и среднесрочных ледовых прогнозах.

5. Продолжить изучение ледового режима в различных пространственно-временных масштабах его изменчивости, уделив особое внимание режиму параметров ледяного покрова, которые оказывают наиболее существенное воздействие на судоходство и промышленное освоение природных ресурсов шельфа арктических морей.

6. В ближайшее время разработать критерии опасных и особо опасных ледовых явлений для судоходства и стационарных гидротехнических объектов.

В данном обзоре были использованы материалы, представленные Е. Г. Ковалевым, В. Ф. Захаровым, З. М. Гудковичем, А. Я. Бузуевым и В. А. Спичкиным.

Поступила 15.02.95 г.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ И СТРОЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Исследования динамики ледяного покрова Северного Ледовитого океана до середины XX в. были направлены на установление схемы генерального движения льдов как проблемы, имеющей общегеографическое, мировоззренческое значение. Первая достоверная мысль о преобладающем движении льдов была высказана М. В. Ломоносовым, предположившим наличие циркуляции вод и льдов, движение в которой направлено преимущественно с востока на запад вокруг центра, вблизи Северного полюса. Он же указал на две основные причины дрейфа льдов — течения и ветры.

С тех пор вплоть до конца XIX в. суждения ученых о характере дрейфа льдов в центральной части Арктики не выходили за рамки умозрительных построений. Дрейф экспедиции Де-Лонга на судне «Жаннетта» (1879—1881 гг.) и последующее обнаружение предметов, принадлежавших ее участникам, у южных берегов Гренландии навели Ф. Нансена на мысль о существовании течения, воспользовавшись которым можно исследовать высокие широты Арктики. Несмотря на скептическое отношение к его проекту многих ученых, экспедиция на судне «Фрам» (1893—1896 гг.) была успешно проведена. Анализ результатов экспедиции позволил Ф. Нансену¹ выявить важные количественные характеристики дрейфа льдов, его зависимость от ветров и течений, что имело огромное значение для дальнейших исследований этой проблемы.

Существенный шаг вперед в понимании общего характера движения ледяного покрова центральной части Арктики был сделан А. В. Колчаком, который проанализировал все имеющиеся к тому времени сведения о дрейфе льда и распределении атмосферного давления и пришел к выводу о существовании круговорота в системе движения паковых льдов вокруг центра, расположенного в области 83—85° с. ш. и 170—180° з. д.

В течение 20—30-х годов различными авторами было опубликовано несколько схем движения льдов в Арктическом бассейне, уточняющих одна другую по мере накопления данных о дрейфе судов и специальных буев. Таковы схемы Ю. М. Шокальского (1924 г.), И. А. Транзе (1928 г.), Л. Мекинга (1928 г.), Э. Смита (1931 г.), Н. Н. Зубова (1933 г.), В. Сандстрема (1935 г.), В. Ю. Визе (1938 г.), Д. Б. Карелина (1938 г.), А. Ф. Лактионова (1939 г.). За исключением Ю. М. Шокальского и Д. Б. Карелина, все перечисленные авторы указывают на более или менее ярко

¹ Ссылки на источники в данной статье приведены в сокращении. Более подробный список литературы до 1980 г. см. в монографии [18].

выраженное антициклоническое движение льдов в Канадском бассейне. Недостатком вышеупомянутых схем является отсутствие количественных данных о скорости дрейфа и отождествление понятий собственно течения и дрейфа льдов.

Очень ценные материалы для изучения дрейфа льдов были собраны во время экспедиции на судне «Мод» (1922—1924 гг.) проанализированные Х. Свердрупом, а также на дрейфующей станции «Северный полюс-1» (1937/38 г.) и в экспедиции на л/п «Г. Седов» (1937—1940 гг.). Эти данные позволили В. В. Шулейкину и другим ученым создать первые математические модели ветрового дрейфа льда, а Н. Н. Зубову и М. М. Сомову [23] — раскрыть зависимость дрейфа льдов от распределения атмосферного давления. Используя эмпирические данные о соотношениях между дрейфом льда, ветром и градиентом атмосферного давления, они сформулировали простые «правила» о дрейфе льдов вдоль изобар со скоростью, пропорциональной барическому градиенту (так называемый «закон изобарического дрейфа»). Эти правила нашли широкое применение в практике ледовых прогнозов и научных исследований, в том числе для построения схем дрейфа льда в Арктическом бассейне [24], которые не учитывали влияния течений и берегов.

В 1940 г. Д. Б. Карелин опубликовал комплексную схему дрейфа льдов, качественно учитывающую воздействие ветра и течений. Согласно этой схеме движение льдов на всей акватории Арктического бассейна направлено в пролив между Гренландией и Шпицбергенем. Дальнейшему развитию этой схемы посвящены работы П. А. Гордиенко и Д. Б. Карелина [20], а также В. Х. Буйницкого [6]. Заслугой последнего является уточнение закономерностей сезонных изменений параметров ветрового дрейфа, пространственных изменений скорости поверхностного течения, вращения и подвижек в ледяном покрове, а также климатических изменений скорости генерального дрейфа льда. Однако, оставаясь сторонниками в основном стоковой природы поверхностных течений Арктического бассейна, эти авторы отрицали наличие устойчивой антициклонической циркуляции вод и льдов в Канадском бассейне.

Господствующее в 40-х годах представление о схеме генерального дрейфа льдов коренным образом изменилось после проведения первых воздушных высокоширотных экспедиций (ВВЭ) 1948, 1949, 1950 гг. Построенные А. Ф. Трешниковым и З. М. Гудковичем по материалам этих экспедиций динамические карты течений показали, что схема движения поверхностных вод и льдов сильно отличается от простого шаблона: движение «по кратчайшим расстояниям» в пролив «Фрам».

Согласно этой схеме [21] в Арктическом бассейне существует Трансарктический поток льдов, направленный в Гренландское море. Слева в него поступают льды из морей сибирского шельфа, а справа к нему примыкает зона антициклонической циркуляции, размеры которой от года к году могут заметно меняться, захваты-

вая часть льдов Трансарктического потока, либо пополняя последний льдами из круговорота.

Позднее [22] были получены оценки скорости дрейфа и поверхностных течений по сезонам для разных районов, определены изменения характеристик ветрового дрейфа в Арктическом бассейне и арктических морях, вычислены величины ледообмена между Арктическим бассейном и окраинными морями, в том числе сезонные и межгодовые изменения выноса льдов в Гренландское море, а также оценено влияние дрейфа льдов в Арктическом бассейне на ледовитость арктических морей. Материалы наблюдений дрейфующих станций, радиоавтоматов, накопленные к середине 70-х годов, позволили получить надежные статистические и вероятностные данные скорости дрейфа льда, их сезонной и межгодовой изменчивости в широком диапазоне временных масштабов от суток до года в разных районах Арктического бассейна. Аппроксимация пространственных изменений составляющих векторов скорости дрейфа полиномиальными функциями позволила получить средние схемы дрейфа льда за трехмесячные, полугодовые и годовые периоды [1], использовать эти схемы для прогнозов и расчетов перемещения находящихся на льду объектов. Были проанализированы также внутrigодовые изменения скорости суммарного дрейфа льда и основных ее составляющих: ветрового дрейфа и поверхностного градиентного течения, оценена роль последних в суммарном дрейфе [8].

С начала 60-х годов большое внимание было уделено натурным исследованиям пространственной неравномерности в полях дрейфа льда, которая характеризовалась значениями дивергенции, деформации и завихренности (ротации). В 1961, 1962 и 1966 гг. в рамках экспедиций «Север» были впервые проведены эксперименты, направленные на изучение этих явлений. Они состояли из синхронных наблюдений в нескольких точках, образующих экспериментальные полигоны. Натурные эксперименты позволили выявить закономерности неравномерного движения ледяного покрова, его зависимость от типа барических полей [7], а позже на основе эмпирических параметров ветрового дрейфа — рассчитать распределение основных характеристик неравномерности дрейфа льда в заданном аналитически деформационном поле атмосферного давления.

Изучению подвижек льда и деформации ледяного покрова в Арктическом бассейне большое внимание уделял А. П. Легеньков. Им использованы для этой цели материалы наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-17» и «Северный полюс-19» за установленными на льдинах вехами с помощью оптических теодолитов, а также наблюдения по программе *AIDJEX* в море Бофорта в 1972 г. и в 1975—1976 гг. Результаты исследований подвижек и деформаций дрейфующего льда обобщены им в работах [25, 26].

Параллельно с исследованиями дрейфа льда в Арктическом бассейне активно проводились работы по изучению особенностей

движения льдов во всех морях российской Арктики. Знания о закономерностях движения льда совершенствовались по мере развития технических средств наблюдений и увеличения объемов исходных данных.

Основным источником информации о дрейфе льдов в арктических морях до 1953 г. были инструментальные и визуальные наблюдения на полярных станциях, дрейфы зажатых во льдах судов, перемещения зон льда различного возраста, определяемые по картам ледовых авиаразведок.

Материалы этих наблюдений использовались для исследования в локальных районах зависимости дрейфа льда от ветра, градиента атмосферного давления, течений, характеристик ледяного покрова (размеры льдин, сплоченность, торосистость и толщина льда) [6, 19, 27]. По мере накопления данных наблюдений эти зависимости уточнялись. Однако попытки практического применения полученных закономерностей приводили часто к неудовлетворительным результатам в силу большого влияния на дрейф местных условий. Кроме того, эти наблюдения не позволяли получить достаточно надежную общую схему дрейфа льда в том или ином море при различных ветровых потоках.

С 1953 по 1975 г. на дрейфующих льдах морей сибирского шельфа и прилегающих районов Арктического бассейна осуществлялась постановка радиовех и дрейфующих автоматических радиометеорологических станций (ДАРМС), координаты которых определялись путем пеленгования береговыми пеленгаторами. Полученная с помощью автоматических станций огромная информация о движении льда была использована для уточнения изобарических коэффициентов и углов отклонения дрейфа льда от изобары, выяснения местных особенностей дрейфа льда в отдельных районах. Она послужила основой для составления атласа дрейфа льда арктических морей, в котором приведены карты-схемы движения льда при восьми направлениях ветра. В целом, применение радиовех и ДАРМС, несмотря на невысокую точность определения их координат, обогатило знания о дрейфе морских льдов в Арктике и оказало существенное влияние на развитие исследований ледового режима арктических морей.

С начала 70-х годов широкое применение для изучения динамики морского ледяного покрова Арктики находят новые методы и технические средства наблюдений. С их помощью было получено огромное количество информации о движении льдов в морях сибирского шельфа и Арктическом бассейне за короткие интервалы времени (от нескольких часов до нескольких суток). В конце 60-х годов и в первой половине 70-х годов для исследования дрейфа льда использовалась повторная аэрофотосъемка ледяного покрова в отдельных районах Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Наблюдения проводились на полигонах площадью несколько тысяч квадратных километров с интервалами несколько часов.

По материалам аэрофотосъемки была выявлена чрезвычайная сложность структуры поля скорости дрейфа льда в морях, особенно в зонах редкого и разреженного льда. Она выражается в чередовании мезомасштабных зон повышенных и пониженных скоростей дрейфа, а также в наличии вихревых возмущений размером в десятки километров с циклоническим и антициклоническим характером движения льда. Установлены особенности движения льда вблизи стамух и получены количественные характеристики их влияния на поле скорости дрейфа льда [17].

Исследовалась относительная подвижность ледяного покрова в арктических морях. Выявлено, что смещение льдин относительно друг друга возрастает по мере увеличения средней скорости движения льда, причем флуктуации дрейфа отдельных льдин становятся при этом все более ориентированными вдоль генерального перемещения льда. С увеличением сплоченности льда движение льдин относительно друг друга замедляется. В разреженном льду смещения льдин вдоль генерального движения льда преобладают над смещениями по нормали к нему. Во льду сплоченностью 9—10 баллов, наоборот, поперечные смещения больше продольных. Льдинам больших размеров свойственна меньшая относительная подвижность. Распределение продольных и поперечных отклонений от вектора средней скорости соответствует нормальному распределению случайных величин.

В 70—80-х годах в морях российской Арктики регулярно выполнялась повторная радиолокационная съемка ледяного покрова с интервалом несколько суток с самолета с помощью радиолокационной станции бокового обзора (РЛС БО). Съемки обычно проводились на полигонах, охватывающих значительную площадь моря. Постепенно уточнялась методика съемки, принципы построения маршрутов, совершенствовалась методика обработки материалов.

Анализ материалов радиолокационных съемок ледяного покрова позволил исследовать влияние берегов и рельефа дна на дрейф льда. Получены количественные характеристики влияния на движение льда островов и проливов, установлены факторы, определяющие размеры зон влияния препятствий [11, 12]. Выявлена сложность структуры поля дрейфа сплоченного льда в арктических морях, обусловленная в значительной мере влиянием суши и рельефа дна. Подтверждено возникновение летом мезомасштабных вихревых возмущений в поле дрейфа редкого и разреженного льда, часто приводящих к образованию ледовых спиралей размером от двух до десятков километров.

Установлено, что продолжительность их существования не превышает нескольких суток. Показано, что причинами образования мезомасштабных вихревых возмущений в поле дрейфа льда являются перестройка системы поверхностных течений в результате изменения ветровых потоков над морем, различие скорости дрейфа льда разной сплоченности, взаимодействие двух противоположно направленных водных потоков, неустойчивость течений,

влияние берега на движение вод и льдов. Исследованы особенности мезомасштабной деформации ледяного покрова. Установлена зависимость величины деформации ледяного покрова от пространственного масштаба. Показаны значительные пространственные изменения характеристик деформации со структурой поля дрейфа льда. Рассмотрено влияние суши на формирование деформации ледяного покрова, получены характеристики скорости деформации в проливах, в районе острова и полуострова, у прямолинейного берега [13].

По материалам радиолокационных съемок и аэрофотосъемок ледяного покрова исследовалась пространственная изменчивость скорости дрейфа льда. Установлено, что с увеличением сплоченности льда она уменьшается, а с увеличением средней скорости движения льда — возрастает. При увеличении продолжительности периода осреднения данных пространственная изменчивость скорости дрейфа льда уменьшается [12].

В 70—80-е годы для изучения дрейфа льда стали использоваться телевизионные снимки искусственных спутников Земли (ИСЗ) типа «Метеор». По материалам съемок ледяного покрова с ИСЗ с интервалом несколько суток исследовались особенности движения льда в Гренландском море, а также короткопериодные изменения ледообмена через пролив «Фрам». Показано, что наряду с преобладающим выносом льдов в Гренландском море может происходить и поступление льдов из Гренландского моря в Арктический бассейн. Повторяемость приноса льдов летом выше, чем зимой. В большинстве случаев продолжительность периода приноса не превышает трех суток.

С 1979 г. в Арктическом бассейне осуществляются постановки на дрейфующих льдах автоматических буев, координаты которых несколько раз в сутки определяются с помощью ИСЗ. Работы по установке буев выполняются в рамках международной программы «Арктические буи». В этих работах в последние годы принимает участие и Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт.

Дрейф льда по данным автоматических буев определяется за различные интервалы времени от 1 до 90 суток. Анализ этой информации дал возможность выявить сложность структуры суточных полей дрейфа льда в Арктическом бассейне [14]. Ее характерными элементами являются крупномасштабные (протяженность в сотни километров) зоны повышенных и пониженных скоростей движения льда, крупномасштабные циклонические и антициклонические циркуляции, формирующиеся под воздействием атмосферных вихрей (циклонов и антициклонов) и дрейфоразделов. Установлены характеристики (продолжительность «жизни», размеры, скорость перемещения и др.) структурных элементов. Обнаружены их сезонные изменения [16].

При увеличении периода осреднения данных структура поля скорости дрейфа в Арктическом бассейне становится менее сложной. Циклонические циркуляции отмечаются в основном в летний

ериод при осреднении за месяц и менее. Антициклоническая циркуляция преобладает в зимний и весенний периоды и становится устойчивой при осреднении данных за три месяца.

Крупномасштабные зоны повышенной скорости дрейфа льда при суточном интервале осреднения данных могут наблюдаться любой части Арктического бассейна. С увеличением интервала осреднения они все более сосредоточиваются в районе моря Бофорта и вдоль стрежня Трансарктического потока, особенно в зоне отходов к проливу «Фрам». При анализе полей результирующего дрейфа льда в Арктическом бассейне за месячные промежутки времени выявлена связь размеров антициклонической циркуляции и положения ее центра с интенсивностью движения льдов

Трансарктическом ледовом потоке [29]. В результате рассчитанных по ежесуточным данным автоматических буюв статистических характеристик дрейфа льда произведено районирование Арктического бассейна. Показаны внутригодовые различия статистических характеристик, которые связаны с изменениями состояния ледяного покрова.

Данные о дрейфе автоматических буюв были использованы для исследования крупномасштабных деформаций ледяного покрова Арктического бассейна. Расчёты характеристик деформации подтверждены анализом данных о фактическом проявлении деформаций в ледяном покрове.

Установлена зависимость между плотностью и ориентацией аналов в ледяном покрове, определяемых по снимкам ИСЗ, и характеристиками крупномасштабных деформаций льда. Изучение течения ледяного покрова Северного Ледовитого океана интенсивно ведется с начала 70-х годов. Основные результаты исследований заключаются в следующем.

— Сделана попытка систематизации накопления многочисленных эмпирических данных с целью выработки физических представлений о формировании структуры морских льдов [3].

— В Арктическом бассейне выделены наиболее характерные для каждого сезона формы пространственной структуры ледяного покрова: полигональная — зимой, сеточная — весной, пятнистая — летом, ветвистая — осенью.

— На основе отождествления ледяного покрова с двухфазной системой, в которой лед рассматривается совместно с поверхностным слоем воды, получена совокупность уравнений, описывающая изменение основных характеристик структуры ледяного покрова (сплоченность, толщина, раздробленность) под действием механических и термических факторов.

— По данным натурных исследований установлена автоматичность дробления ледяного покрова [4, 27]. Это позволило на всех стадиях процесса дробления льда выразить распределение льдин по размерам единой универсальной функцией [28].

— Выявлена идентичность соотношений между геометрическими характеристиками льдин в различных арктических морях.

— Обобщение данных натурных исследований позволило разработать основы теории дробления морских льдов.

— Составлена классификация трещин в ледяном покрове в основу которой положены генетические и морфологические признаки [3].

— Установлена связь систем разрывов в ледяном покрове с пространственной неравномерностью дрейфа льда, обусловленной полем ветра и влиянием берегов [15].

— Предложен набор характеристик для статистического описания разрывов в ледяном покрове [5].

— Обнаружено наличие большой пространственной и временной изменчивости этих характеристик.

Исследования динамики и строения ледяного покрова способствовали развитию методики ледовых прогнозов различной заблаговременности, созданию математических моделей ледяного покрова Северного Ледовитого океана.

Поступила 9.02.95 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. — Л.: Изд-во ВМФ СССР 1980. — 189 с.

2. Бородачев В. Е. Генетико-морфологическая классификация трещин в ледяном покрове//Тр. ААНИИ. — 1981. — Т. 388, с. 79—84.

3. Бородачев В. Е., Тимохов Л. А. О строении ледяного покрова Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 364. — С. 52—63.

4. Бородачев В. Е., Лосев С. М., Тимохов Л. А. Природа и теория дробления морских льдов//Тез. докл. на II Всесоюзном съезде океанологов вып. 3, т. 1. — Севастополь. Изд. МГИ, 1982. — С. 65—66.

5. Бресткин С. В., Горбунов Ю. А., Лосев С. М. Анализ нарушений сплошности морского ледяного покрова в зимний период по материала радиолокационных съемок с самолета//Тр. ААНИИ. — 1988. Т. 401. — С. 94—100.

6. Буйницкий В. Х. Формирование и дрейф ледяного покрова в Арктическом бассейне//Тр. дрейфующей экспедиции Главсевморпути на ледокольно-пароходе «Г. Седов», 1937—1940. Т. IV. — М.—Л.: Изд-во Главсевморпут 1951. — С. 74—179.

7. Бушуев А. В. и др. Результаты экспедиционных исследований дрейфа и динамики ледяного покрова Арктического бассейна весной 1961 г./Тр. ААНИИ. — 1967. — Т. 257. — С. 26—45.

8. Воробьев В. Н., Гудкович З. М. О внутригодовой изменчивости в дрейфе льда в течениях Арктического бассейна//Тр. ААНИИ. — 1976. — Т. 319. — С. 23—32.

9. Горбунов Ю. А. и др. О ледообмене через пролив Фрама в 1979—1980 гг./Тр. ААНИИ. — 1985. — Т. 391. — С. 101—109.

10. Горбунов Ю. А., Лосев С. М. Влияние островов на движение льда./Тр. ААНИИ. — 1978. — Т. 354. — С. 38—43.

11. Горбунов Ю. А., Лосев С. М. Движение льда в проливах//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 341. — С. 18—23.

12. Горбунов Ю. А., Лосев С. М. К оценке пространственной изменчивости дрейфа льда в арктических морях летом//Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 364. — С. 5—18.

13. Горбунов Ю. А., Лосев С. М. Некоторые данные о среднем масштабе деформации ледяного покрова арктических морей//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 343. — С. 75—91.

14. Горбунов Ю. А., Лосев С. М. Особенности структуры поля дрейфа льда в Арктическом бассейне//Мат-лы гляциол. исслед. Хроника. Обсуждения. — 1982. — Вып. 45. — С. 51—56.
15. Горбунов Ю. А., Карелин И. Д., Лосев С. М. К вопросу причинных нарушений сплошности морского ледяного покрова в зимний период//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1986. — Вып. 62. — С. 110—116.
16. Горбунов Ю. А., Лосев С. М., Кулаков И. Ю. Крупномасштабные вихревые движения в ледяном покрове Арктического бассейна//Тр. АНИИ. — 1985. — Т. 400. — С. 7—32.
17. Горбунов Ю. А., Лосев С. М., Тимохов Л. А. Дрейф льда при наличии стамух//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 338. — С. 79—94.
18. Горбунов Ю. А., Карелин И. Д., Кузнецов И. М., Лосев С. М., Соколов А. Л. Основы физико-статистических методов ледовых прогнозов и расчетов для арктических морей заблаговременностью до 30 суток. — Гидрометеиздат, 1983. — С. 288.
19. Гордиенко П. А. Некоторые характеристики дрейфа льда в реальных условиях//Проблемы Арктики. — 1941. — № 6. — С. 5—12.
20. Гордиенко П. А., Карелин Д. Е. Проблемы перемещения и распределения льдов в Арктическом бассейне//Проблемы Арктики. — 1945. — № 3. — С. 5—35.
21. Гудкович З. М. Дрейф льдов в центральной части Арктического бассейна//Тр. ААНИИ. — 1957. — Т. 87. — С. 106.
22. Гудкович З. М., Николаева А. Я. Дрейф льдов в Арктическом бассейне и его связь с ледовитостью советских арктических морей//Тр. АНИИ. — 1963. — Т. 104. — С. 212.
23. Зубов Н. Н., Сомов М. М. Дрейф льда центральной части Полярного бассейна//Проблемы Арктики. — 1940. — № 2. — С. 51—68.
24. Зубов Н. Н. Льды Арктики. — М.: Изд-во Главсевморпути, 1944. — 10 с.
25. Легеньков А. П. Деформации дрейфующего льда в Северном Ледовитом океане. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — С. 103.
26. Легеньков А. П. Подвижки и приливные деформации дрейфующего льда. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — С. 104.
27. Лосев С. М. Дробление льда в юго-восточной части моря Лаптевых. ЮЛЭКС — Север-76», ч. II. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — С. 82—91.
28. Лосев С. М. О площадных характеристиках ледяного покрова//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1972. — Вып. 39. — С. 47—54.
29. Лосев С. М., Горбунов Ю. А., Кулаков И. Ю. Некоторые особенности движения льдов в Арктическом бассейне по данным автоматических ледов. радиолокаторов в реальных гидрометеорологических условиях//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1986. — Вып. 62. — С. 77—88.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА ЮЖНОГО ОКЕАНА

В начальный период российских исследований южной полярной области, завершившийся изданием в 1966—1969 гг. двухтомного «Атласа Антарктики», была заложена фундаментальная основа знаний о ледяном покрове Южного океана. Решающую роль при этом сыграл удачный состав участников первых экспедиций. Высокий научный интеллект и приобретенное в Арктике наблюдательское мастерство в сочетании с энтузиазмом первооткрывателей дали поразительные результаты. По фрагментарным наблюдениям, не сравнимым по информативности с современными данными, были сделаны принципиально верные обобщающие выводы.

Так, в известных монографиях А. Ф. Трешникова [49] В. Х. Буйницкого [4] однозначно указывалось на скачкообразный характер развития антарктического пояса дрейфующих льдов, в котором проявляется тепляющее воздействие океана, сдерживающее поначалу осенне-зимнее ледообразование и убыстряющее процесс таяния льда в теплый период. Отмечалась также согласованность границ максимального распространения ледового пояса и айсбергов с положением зоны антарктической конвергенции. Устанавливался выносной характер результирующего дрейфа льда в Южном океане, обуславливающего относительно малочисленность многолетнего льда и его сосредоточенность в основном в трех массивах — Атлантическом, Тихоокеанском и Балтийском. Подчеркивалась также высокая степень сопряженности субполярных океанических круговоротов и атмосферных климатических циклонов. При этом определяющий вклад в генеральный дрейф льда относился на счет системы постоянных поверхностных течений.

Распространение припая рассматривалось в тесной связи с изрезанностью побережья и подводной топографией, в первую очередь, с развитостью шельфа, ограниченного 500-метровой изобатой. Впоследствии подтвердилось и предварительное суждение о повышенном развитии полыней в Антарктике, наблюдаемых почти повсеместно. Несмотря на расхождения названных авторов по методике наблюдений за айсбергами, единодушно признавалась их значимость в формировании особенностей ледово-гидрологического режима Южного океана.

Слоистость антарктического льда из-за многообразия типов ледообразования указывалась в качестве определяющего фактора его ослабленной прочности. Кроме того, уже в первых экспедициях обращалось внимание на широко распространенное в Антарктике внутриводное ледообразование, связанное с длительными

переохлаждением морской воды. Сочетание особенностей строения ледяного покрова с его заселенностью (загрязненностью) микроскопическими диатомовыми водорослями и активным разлитием в весенне-летний период внутреннего термического разрушения, несмотря на высокую заснеженность, рассматривалась как одна из главных причин быстрого вытаивания ежегодно основной массы морских льдов в Южном океане.

Этот далеко не исчерпывающий перечень первоначальных реальных знаний был существенно пополнен в основном за счет специальных судовых и станционных наблюдений, активно проводившихся в отдельных прибрежных районах до начала 70-х годов. Наиболее важные результаты связаны с исследованиями строения, физико-механических свойств антарктического ледяного покрова [17] и его изучения как среды судоходства [35].

На основе выявленных текстурно-структурных особенностей И. В. Черепановым и А. М. Козловским [17, 52 и др.] была разработана подробная генетическая типизация льда Южного океана, к сожалению, до сих пор практически не известная за рубежом. В рамках этих исследований было получено достаточно полное представление о процессах формирования и разрушения припая, включая его площадные оценки по Восточной Антарктиде. В частности, для становления и взлома припая отмечалось решающее значение динамических факторов, особенно волн зыби [51], разрушительный потенциал которых возрастает в период сизигии [8]. Особая роль в процессе таяния антарктического ледяного покрова отводилась его внутреннему термическому разрушению, которое обнаруживается даже при значительной (до 1 м) высоте снега на льду [50]. В качестве наиболее яркого проявления внутреннего таяния указывалось [17] образование антарктической разновидности снежниц в форме водной прослойки в верхней части ледяного покрова при одновременном размягчении его нижележащих слоев.

С повышенной заснеженностью связывалось также возникновение еще одной разновидности снежниц — скоплений воды под снегом, получивших самостоятельное название «мореницы» [48]. В холодный период, наоборот, инфильтрация морской воды из-за таяния льда под тяжестью снега рассматривалась как причина повсеместно распространенного в Антарктике снежно-водного ледообразования, приводящего к интенсивному нарастанию ледяного покрова сверху [17]. Подтвержден был также значительный вклад в суммарное нарастание льда внутриводного ледообразования, которое в отдельных прибрежных районах, по расчетам В. Г. Леденева [29], сравнимо с естественным приростом ледяного покрова. Переохлаждение морской воды как главная причина внутриводного ледообразования [23] в исследованиях С. С. Чиковского [53 и др.] непосредственно связывалось с интенсивностью развития антарктических стационарных полыней в холодный период. Площадь последних зимой оценивалась И. И. Ескимым [9] от 10 до 150 тыс. км².

В научно-прикладном пособии А. А. Романова [35] были впервые обобщены региональные данные о морфологии антарктических льдов, их ветровом дрейфе и зонах вергенции, размерах распределении айсбергов, наблюдения за которыми с судов российской антарктической экспедиции осуществляются и до настоящего времени по уникальной методике В. И. Шильников [54 и др.]. В частности, выяснилось большое разнообразие возрастных видов льда, образующих циркумполярный пояс. Средние значения толщины ледяного покрова к началу таяния оценивались от 45 до 145 см, преобладающая высота снега — от 30 до 50 см торосистость — от 1 до 2 баллов.

Качественный скачок в знаниях о ледовом режиме Южного океана связан с использованием с конца 60-х годов спутниковой информации. Прием телевизионных и инфракрасных изображений ИСЗ «Метеор» и «NOAA» начался на станциях Молодежной с 1971 г., Ленинградской (закрытой в 1991 г.) с 1972 г., Беллинсгаузен с 1980 г. По результатам дешифрирования этих снимков с 1980 г. в АМЦ Молодежная регулярно составлялись еженедельные ледовые обзоры по всей Антарктике. В Объединенном ледовом центре NAVY/NOAA США с 1973 г. широкое развитие получила технология составления еженедельных ледовых обзоров по микроволновым спутниковым данным [55]. В последние годы стали осваиваться радиолокационные изображения ИСЗ, которые исключительно информативны для определения возрастных характеристик ледяного покрова, изучения его дрейфа и морфологии припайно-ледникового побережья. Спутниковый мониторинг позволил впервые составить целостное представление о морской части южной криосферы, ее сезонной и межгодовой изменчивости на достаточно строгой, количественной основе.

В среднем, по оценкам А. А. Романова [36 и др.], антарктический ледовый пояс достигает максимальных размеров (19,3 млн км²) в сентябре, минимальных (3,2 млн км²) — в феврале. Площадь его таким образом уменьшается от зимы к лету в 6 раз. Причем наибольшее сокращение на 10 млн км² происходит всего за два месяца — со второй половины ноября до середины января. Основной вклад в суммарное сокращение ледовитости вносят два района: восточная половина Атлантического сектора между 20° з. д. — 20° в. д. и море Росса [34]. Здесь же отмечаются максимальные межгодовые отклонения площади распространения льда от средних значений, которые составляют соответственно 30 и 25 %. Однако статистически значимого тренда изменения ледовитости Южного океана в целом за имеющийся период спутниковых наблюдений не обнаруживается [37, 61].

Главным итогом исследований в 80-е годы стало выявление А. А. Романовым [33, 34 и др.] крупномасштабных закономерностей пространственно-временной изменчивости морских антарктических льдов и определяющих их факторов. Отмечавшийся ранее скачкообразный характер развития ледяного покрова из-за тепляющего воздействия океана обуславливает четко выраженный

симметрию в годовом ходе всех без исключения показателей его состояния: площади распространения, сплоченности, приведенной толщины и объема. Если увеличение значений этих характеристик астигируется на семь месяцев, то уменьшение происходит в течение пяти месяцев. Причем как для Южного океана в целом, так и большинства отдельных его районов обнаруживается сезонная смена знака ледовых аномалий.

Иначе говоря, чем больше льда образуется в холодный период, тем больше его вытаскивает к концу лета. И наоборот, пониженная интенсивность процессов осенне-зимнего ледообразования меняется летом повышенной остаточной ледовитостью. Взаимно компенсационный характер сезонных изменений обуславливает межгодовом плане преобладание квазидвухлетней периодичности колебаний ледовитости Южного океана. Последняя особенно присуща Атлантическому сектору, где обнаруживалась и прежде изменчивости ледовых условий у Южных Оркнейских островов [11]. Эта закономерность в региональном отношении наиболее ярко проявляется в ежегодно наблюдаемой оппозиции Атлантического и Тихоокеанского массивов.

В качестве ведущих физико-географических факторов формирования ледового режима Южного океана были выделены крупномасштабная адвекция (перенос) льда и аккумулирующая способность деятельного слоя моря, в самом общем виде включающая и степень доступности тепла глубинных вод, которая регламентируется развитостью пикноклина. Систему адвекции составляют три звена: западная прибрежная (ЗПА), северная выносная (ВНА) и восточная океаническая адвекция (ВОА). На основе расчетов дрейфа льда по данным судовых наблюдений за ветром был сделан вывод об обновлении большей части морского льда и айсбергов Южного океана в среднем за два года, благодаря результирующему выносному характеру адвекции.

Совокупность вышеперечисленных научных результатов позволила к настоящему времени сформулировать рабочую гипотезу эволюции антарктического ледяного покрова [35, 45, 60 и др.]. Колебания ледовитости Южного океана представляются проявлением полициклических автоколебаний с преобладающей квазидвухлетней периодичностью в саморегулируемой системе универсально взаимодействующих сред южной полярной области. Ведущей периодической внешней силой для Антарктики, как и для общепланетарной климатической системы, служит лучистая энергия. Ледяной покров выступает естественным «колебательным контуром» системы.

Механизм положительной обратной связи заключается в развитости главного пикноклина, а точнее — галоклина, регламентирующего поступление к поверхности глубинного океанического тепла. Задействованию его способствует неустойчивость южнополярного галоклина из-за ограниченных источников распреснения. При этом решающий вклад в формирование стратификации деятельного слоя антарктической зоны Южного океана вносят се-

зонные изменения самого морского льда. Как опресняющий фактор он на 1—3 порядка превышает среднегодовые объемы пресных вод отличного происхождения: лед и айсберги (в водноэквиваленте) — 25,1 и 2,2—2,5 тыс. км³ [36], осадки и сброс метелевого снега — примерно 5 тыс. км³ и 18 км³ соответственно [27] воды подледникового таяния — 60 км³ [30], жидкий сток с поверхности побережья — 15 км³ [16].

Тем не менее, ежегодный объем пресноводного стока в Южный океан за счет таяния льдов и айсбергов уступает материковому стоку в Северный Ледовитый океан более, чем в 10 раз. Вследствие этого толщина деятельного слоя вод в Антарктике в 4—6 раз превышает толщину слоя поверхностных арктических вод, а экранирующий эффект нижележащего главного пикноклина, наоборот, в 3 раза слабее, чем в Арктике. Таким образом в процессе формирования халинной структуры верхнего слоя антарктической области Южного океана в период весенне-летнего таяния ледяного покрова закладывается алгоритм его будущего осенне-зимнего развития и т. д.

Одним из генераторов, своеобразным камертоном, собственными колебаниями южнополярной климатической системы является общепонятная циркумполярной совокупностью стационарных полынь внутриантарктическая энергоактивная зона с центрами действия в круговоротах Уэдделла и Росса [19]. История развития представлений о полыньях в Антарктике по крайности высказывавшихся суждений, ставших теперь очевидными заблуждениями преувеличениями, чрезвычайно схожа с эволюцией взглядов на стационарные полыньи в Северном Ледовитом океане. С одной стороны, некоторыми исследователями категорически отрицалась возможность существования в полярных условиях обширных устойчивых пространств чистой воды среди льда. Одновременно широкое распространение получила диаметрально противоположная точка зрения о наличии в высоких широтах огромных незамерзающих акваторий, к достижению которых были направлены усилия многих полярных первопроходцев [28]. В гипертрофированном антарктическом варианте эта идея воплотилась в предположение о сплошной «кольцевой» полынье внутри ледового пояса, приуроченной, по современной терминологии, к зоне антарктической дивергенции.

Представление о циркумполярной полынье, несколько видоизменившись, сохранялось вплоть до 70-х годов. Так, под ней подразумевалась уже полынья вблизи побережья Антарктиды и не сплошное водное кольцо, а зона постоянного образования мелкого льда зимой [49], разорванная перемычками более старых льдов [10]. Существенные обобщения многочисленных разрозненных сведений о полыньях по мере их накопления были сделаны В. Н. Купецким [28], В. В. Клепиковым [14], А. Ф. Трешниковым [49], Л. И. Ескиным [10], В. Х. Буйницким [4], В. В. Евсеевым [7], Ж. А. Дмитрашом [6].

Только с появлением регулярной спутниковой информации понятие циркумполярной полыньи сменяется более реалистическим — наличием о 23 прибрежных районах преимущественного существования стационарных полыней в Антарктике [36]. Впервые оценки их сезонной и межгодовой изменчивости были получены А. А. Романовым [38]. Аналогичные зарубежные обобщения спутниковых данных [61] давали лишь ориентировочное представление о характере подобных изменений, причем только по единичным, наиболее крупным стационарным полыньям. Наконец, в результате обработки многолетних спутниковых данных было выявлено [19] в общей сложности 122 самостоятельных полыньи, 10 из которых являются стационарными, т. е. существуют в навигационный период с сентября по май со средней вероятностью не ниже 50 %.

Цепочка стационарных полыней, окаймляющая большую часть припайно-ледникового побережья Антарктиды, начинает формироваться в сентябре ($0,05 \text{ млн км}^2$). Максимальное суммарное развитие полыньи достигают в январе, занимая в среднем 1 млн км^2 , что составляет около 24 % от площади распространения ледяного покрова [36]. Сокращение их вдвое в феврале связано в основном с соединением с открытым океаном гигантской полыньи моря Росса. В последующие осенние месяцы размеры полыней уменьшаются сравнительно медленно и приближаются к сентябрьскому уровню в мае. К началу зимы происходит исчезновение основного числа стационарных полыней, вновь образующихся только в сентябре. Превалирует их переход в логически связанную, но существенно отличающуюся от полыней по теплому и динамическому режиму стадию зоны тонких льдов. Суммарная площадь 13 стационарных полыней, сохраняющихся в июне — августе, составляет около 20 тыс. км^2 .

Интегральным динамическим фактором и первопричиной стационарного полыеобразования в Антарктике выступает ЗПА. Вместе с тем решающее значение в разрастании полыней принадлежит тепловым факторам, которые инициируются комплексом благоприятно складывающихся динамических условий. В общем виде ЗПА включает как генеральный квазитранзитный перелом и отжимной дрейф льда под западными берегами неровностей береговой черты, так и динамику припайно-ледникового побережья.

Развитие припая в годовом цикле приводит к кардинальному изменению состояния полыней, связанному с их переходами из стадии заприпайных в прибрежные и обратно [19, 21]. В результате от весны к лету происходит изменение генеральной направленности развития полыней с широтной на меридиональную с обратной сменой осенью. Максимальная протяженность стационарных полыней наблюдается в ноябре-декабре, когда они распространены вдоль около 65 % припайно-ледникового побережья. Динамика ледникового покрова постоянно видоизменяет конфигурацию береговой черты и сопровождается нарушениями стерео-

типа развития припая. Подобные морские перигляциальные эффекты сказываются на показателях развитости, характере сезонной изменчивости и даже численности полыней [18, 20, 24].

Значительные межгодовые различия в развитии полыней, размеримые по величине со средними значениями их площади связаны главным образом с колебаниями интенсивности ЗПА. Изменения всех звеньев крупномасштабной адвекции льда определяются в основном характером атмосферной циркуляции, которая, в свою очередь, зависит от колебаний ледовитости. Ослабление циклонической активности в годы с преобладанием меридиональных макропроцессов сопровождается одновременным повышенным распространением ледяного покрова [39], полыне [19, 21] и наоборот.

Разработанная генетическая типизация антарктических стационарных полыней [19, 22, 24], которая построена на принципах группировки по сезонной ритмике развития, включает три основных типа и два подтипа полыней, подразделяющихся в общей сложности на 16 разновидностей. Наиболее распространенные тепловые и динамические полыни развиваются асинхронно с летним максимумом у первого и минимумом у второго типа полыней. Таким образом, полученная строгая количественная оценка общеизвестного факта многочисленности полыней в Антарктике позволяет заключить, что первоначальное представление о единой циркумполярной полыне не было беспочвенным. Более того, если допустить возникновение абстрактной ситуации одновременного достижения полынями различных типов своего максимального распространения, они, действительно, образовали бы сплошное водное кольцо вокруг материка.

Центральное место среди антарктических полыней занимают полыни крупномасштабных круговоротов Уэдделла и Росса. Приоритет в выявлении полыни Уэдделла принадлежит В. В. Клепикову [14], который указывал на возможность ее частотного появления в начале декабря и вытянутость вдоль линии 66° ю. ш., 20° з. д. — 61° ю. ш., 10° в. д. По ориентации и местоположению она собственно соответствовала обнаруженному норвежскими китобоями в 30-е годы внутри ледового пояса в районе Гринвического меридиана обширному водному пространству, которое принималось Х. Хансеном за участок «кольцевой антарктической полыни» [49]. Наличие во второй половине ноября 1968 г. гигантской полыни открытого моря площадью 120—130 тыс. км² с центром на 66° ю. ш. 10° в. д. отмечалось и В. Х. Буйницким [4]. Повышенный интерес к полыне Уэдделла возник после ее обнаружения по данным микроволновых измерений американской ИСЗ «Нимбус-5» на протяжении трех зимних периодов 1974—1976 гг. [55]. Впечатляли также размеры (100—300 тыс. км²) удивительное постоянство формы полыни, вытянутой в зональном направлении. Центр ее находился примерно на 67° ю. ш. 0° в 1974 г.; 67° ю. ш., 15° з. д. в 1975 г.; 68° ю. ш., 20° з. д. в 1976 г.

В наиболее законченном и логически взаимоувязанном виде полынный гидротермодинамический механизм образования польны Уэдделла был сформулирован в исследованиях Э. И. Сауханяна и Н. В. Багрянцева [2, 3]. Главными факторами, которые создают потенциальную возможность ее развития являются, с-первых, ветвь теплых циркумполярных глубинных вод (ЦГВ), входящая между 20—30° в. д. от основного потока АЦТ в направлении на юго-запад и именуемая Теплым противотечением эдделла (ТПУ), а во-вторых, поднятие Мод, вызывающее возмущение натекающего на него ТПУ в виде теплых топографических вихрей размером 150—200 км с результирующей циклонической завихренностью.

Кроме того, подобные вихри, но несколько меньших масштабов (50—70 км) могут генерироваться из-за бароклинной неустойчивости на открытой границе субполярного круговорота с ТПУ АЦТ, например, в районе «Садвичева залива» [56]. Проникая в внутреннюю область круговорота Уэдделла, они обеспечивают привнесение вод циркумполярного происхождения с избыточным теплом, которые обнаруживаются на океанографических разрезах в виде так называемых теплых структур (ТС) [3]. Предполагается, что часть притока тепла к поверхности обеспечивается активным механическим вовлечением глубинных вод в поверхностный слой и диффузионным обменом. Однако решающее значение имеет режим перемещающейся по пространству в рамках ихря ячейки глубинной конвекции с масштабом менее 20 км, «имени» [58]. По ориентировочным оценкам [3] вызванный им вертикальный поток тепла порядка 300 Вт/м² в состоянии предотвратить процесс ледообразования.

Польныя Уэдделла, наблюдавшаяся в холодный период года, представляется [2] проявлением аномального развития гидрометеорологических процессов различного масштаба. Обязательным условием ее образования выступает, по-видимому, сочетание усиления потока АЦТ как связующего начала всей циркуляционной системы Южного океана [47] и, наоборот, ослабление циклонической деятельности в месте расположения польны [31].

Однако присутствие польны Уэдделла зимой 1974—1976 гг. уже в случае оптимального варианта ее осенне-зимнего формирования путем охвата области чистой воды образующимся по периферии ледяным покровом все же достаточно проблематично из-за препятственности ветровой адвекции льда со стороны. Не исключено, что подобное обнаружение польны в чистом виде связано с первоначальным несовершенством технологии интерпретации спутниковых микроволновых измерений, не в полной мере учитывавшей особенности антарктического ледяного покрова.

Так, наблюдениями в международной экспедиции «W W G S-89» нэс «Академик Федоров» зафиксирован глубокий метаморфизм льда, который он претерпевает при рециркуляции в районе поднятия Мод [46]. Прогрев и распространение ледяного покрова области ТС с центром около 66° ю. ш. 2° з. д. сменяется по вы-

ходе за ее пределы выхолаживанием и осолонением. В итоге чрезвычайно высокая соленость поверхностного снежно-ледяного слоя (до 20‰ и более) может обусловить значение радиояркостной температуры в микроволновом диапазоне, адекватное сигналу от чистой воды.

Вместе с тем существование феномена ледового режима донного сектора 20° з. д. — 20° в. д. не вызывает сомнений. Для

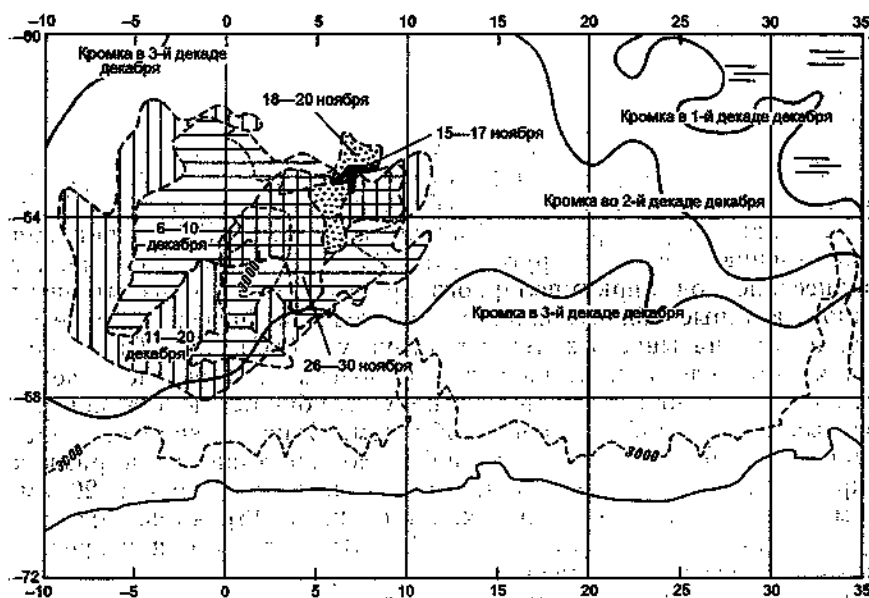


Рис. 1. Пример развития полыньи Уэдделла в 1991 г.

него характерен комплекс ежегодно повторяющихся изменений ледовой обстановки, которые, как правило, и отождествляют с полыньей Уэдделла¹. Обычно во второй половине октября — начале ноября в окрестностях поднятия Мод возникают обширные зоны разрежения льда до 7—9 баллов. Прогрессирующее уменьшение сплоченности нередко сопровождается оформлением в среднем во второй половине ноября — начале декабря одной крупной или нескольких близко расположенных небольших полынь (рис. 1).

Не позднее начала января быстро разрастающаяся полынья соединяется преимущественно на северо-востоке с открытым океаном. В дальнейшем происходит объединение залива во льду, рез продвинувшегося на запад за счет бывшей полыньи или зоны разрежения, с системой в основном слившихся полынь юго-восточного побережья моря Уэдделла. В совокупности это приводит

¹ Следует отметить, что некоторыми авторами [57], полыньей Уэдделла именуется только большая зимняя полынья 1974—1976 гг., впоследствии не наблюдавшаяся.

почти полному разрушению в январе языка Атлантического ледяного массива вблизи 60-й параллели и сокращению его самого февраля до минимальных размеров.

Беспрецедентная в замерзающих бассейнах Мирового океана льдыня в море Росса, занимающая в январе в среднем 50 тыс. км², представляет уникальный симбиоз полыней прибрежной и открытого моря. Последняя не оформляется в виде самостоятельного образования в его центральной части, где с ноября являются обширные зоны разреженного и редкого льда, иногда и неустойчивые пространства чистой воды [4]. Потенциальная полынья как бы вбирается стремительно разрастающейся за счет этого прибарьерной полыней, которая увеличивается с октября по ноябрь с 15 до 50 тыс. км². Наиболее впечатляюще выглядит ее разрастание в декабре до 300 тыс. км² последующее увеличение в январе почти вдвое, которое приводит к ежегодному соединению полыни не позднее февраля с открытым океаном.

Аналогия с полыней Уэдделла заключается в аномальной интенсифицированности процессов местного вытаивания ледяного покрова за счет активного участия тепла глубинных вод. Действительно, здесь также имеются основные предпосылки для реализации механизма его эффективной передачи к поверхности: оступление слабо модифицированных ЦГВ из зоны АЦТ в системе крупномасштабного циклонического круговорота [15] и южная подводная топография с подводной возвышенностью еннелл.

Заключая основные итоги режимных исследований в 80-е годы, следует отметить получение площадных оценок припайного льда в масштабе всей Антарктики [5, 24]. Припай является самым консервативным элементом антарктического ледяного покрова. Он проявляется не только в ежегодном достижении им определенных и тех же предельных размеров, но и в повторении в процессе развития характерных очертаний мелководной области шельфовой зоны, что связано с сидящими на грунте айсбергами. Наибольшее распространение припай приходится на весну и составляет в среднем около 500 тыс. км² (октябрь). К лету он постепенно сокращается до 300 тыс. км² (январь) и достигает минимума (200 тыс. км²) обычно в марте.

Максимально возможная площадь припайного льда по многолетним спутниковым данным составляет 792 тыс. км². Это практически в точности совпадает с соответствующей оценкой Л. Х. Буйницкого [4], равной 800 тыс. км² и основанной на предположении, что распространение припая ограничено шельфовой зоной. Минимальное значение или площадь многолетнего припая составляет 95 тыс. км², из которых 68 тыс. км² приходится на побережье Западной Антарктиды. Причем, около 2/3 многолетнего припая представлено участками потенциальных шельфовых седников. Межгодовая изменчивость развития антарктического припая сводится в основном к растянутости сроков достижения им

экстремальных значений площади в среднем до трех месяцев — с сентября по ноябрь, минимальных — с февраля по апрель. В отдельных районах, динамически активных, амплитуда сроков развития припая достигает пяти месяцев [20].

Качественная формализация выявленных закономерностей пространственно-временной изменчивости антарктического ледяного покрова и основных его элементов в их внутренней взаимосвязи с океанологическими и атмосферными процессами была выполнена в виде феноменологической схемы квазидвухлетней цикличности колебаний ледовитости Южного океана [41, 44, 60]. Основным содержанием этой схемы является описание процесса формирования пространственно неоднородной структуры южнополярного галоклина. Различная степень экранирования им глубинной океанического тепла в сочетании с системой циркуляции вод определяют тождественную морфологическую неоднородность и в целом ареал «зримого поверхностного отпечатка галоклина» — ледяного покрова.

Межгодовые колебания структуры галоклина с учетом результатов исследований В. Ф. Захарова [12, 13 и др.] представляют универсальным механизмом развития ледяного покрова как в северной, так и южной полярной области. Принципиальные различия между ними [45] обуславливают повышенную частоту реализации данного механизма в Антарктике в рамках автоколебательного квазидвухлетнего цикла. Автоколебательный характер функционирования южной полярной климатической системы обеспечивает ее высокую устойчивость к внешним возмущениям. Отсутствие статистически значимого тренда ледовитости Южного океана за имеющийся период наблюдений, сбалансированность площади отколовшихся за последние 25 лет айсбергов-гигантов крупных разросшихся участков шельфовых и выводных ледников [24, 26] и ряд других ледовых показателей подтверждают вывод В. Г. Аверьянова [1] о масс-энергетическом равновесии современного состояния южной криосферы.

В итоге можно констатировать создание в ААНИИ к настоящему времени достаточно полной и аргументированной системы знаний о ледовом режиме Южного океана, составляющих научную основу для долгосрочного прогнозирования [41, 43]. Разработка методов прогнозов ледовых условий в целях специализированного обеспечения мореплавания в антарктических водах [25] становится одной из конечных целей современных отечественных исследований [42]. Главным сдерживающим обстоятельством является чрезмерная общность генеральной схемы дрейфа (адвекции) антарктического льда [34, 36] и относительность представления о его морфологической структуре, которая отличается высокой мозаичностью [41, 42]. В связи с этим основными задачами ледовых исследований в Южном океане на ближайшую перспективу следует считать:

— региональную детализацию генеральной схемы адвекции льда;

— восстановление реальной морфологической структуры ледяного покрова вместо используемого его климатического приближения в виде однородной пластины толщиной 1,0—1,5 м;

— реконструирование режима формирования основных зон льда различного возраста, слагающих ледовый пояс.

Приоритетным видом экспедиционных исследований при этом является раздел физической океанографии, исходя из концептуального положения об определяющей роли океана в развитии антарктического морского льда, и имеющий важное самостоятельное значение.

Комплекс ледовых наблюдений, состоящий из спутниковых, судовых (визуальных) и инструментальных, выполняется как сопутствующий. Однако на этапе анализа и систематизирования олученных данных выигрышно помещать «во главу угла» именно лед в силу его естественной связующей функции как продукта, специфического регулятора термодинамического взаимодействия океана и атмосферы и эффективного индикатора их состояния. Кроме того, это позволило бы в чисто режимном плане реконструировать основные черты циркуляции и структуры вод в труднодоступных районах Южного океана, не освещенных океанографическими наблюдениями, тогда как спутниковый мониторинг морской части южной криосферы является реальностью и становится все более информативным. Наиболее перспективные географические объекты, к которым относятся ключевые районы Антарктики — моря Уэдделла и Росса, абсолютно совпадают с океанографическими интересами широкомасштабных международных проектов *AnZone*, *WOCE*) по изучению соответствующих субполярных круговоротов. Представляется целесообразным дополнить их региональными натурными экспериментами в местах существования наиболее типичных стационарных полыней, например, в заливах Лашеева и Прюдс.

Первым шагом на пути реализации перспективной программы естественных исследований ледового режима Южного океана явился российско-американский проект «Уэдделл-1» по организации в 1992 г. впервые в истории изучения Антарктики научного лагеря на дрейфующем льду в западной части моря Уэдделла. Комплекс ледовых наблюдений включал как непосредственные измерения на льдине *ISW-1*, направленные в основном на изучение режима формирования старого льда, который составляет ядро Атлантического массива, так и судовые и спутниковые наблюдения, выполнявшиеся на нэс «Академик Федоров» и станции Беллинсгаузен. Этот комплекс наблюдений был логическим продолжением ледовых исследований ААНИИ в международной экспедиции «*WWSGS-89*» в центральной части круговорота Уэдделла [6] и преследовал цель решения сформулированных выше задач для всей его акватории.

Основу для построения схемы адвекции льда в круговороте Уэдделла (рис. 2) составили измерения дрейфа массового числа гигантских полей сморози и айсбергов, выполненные по снимкам

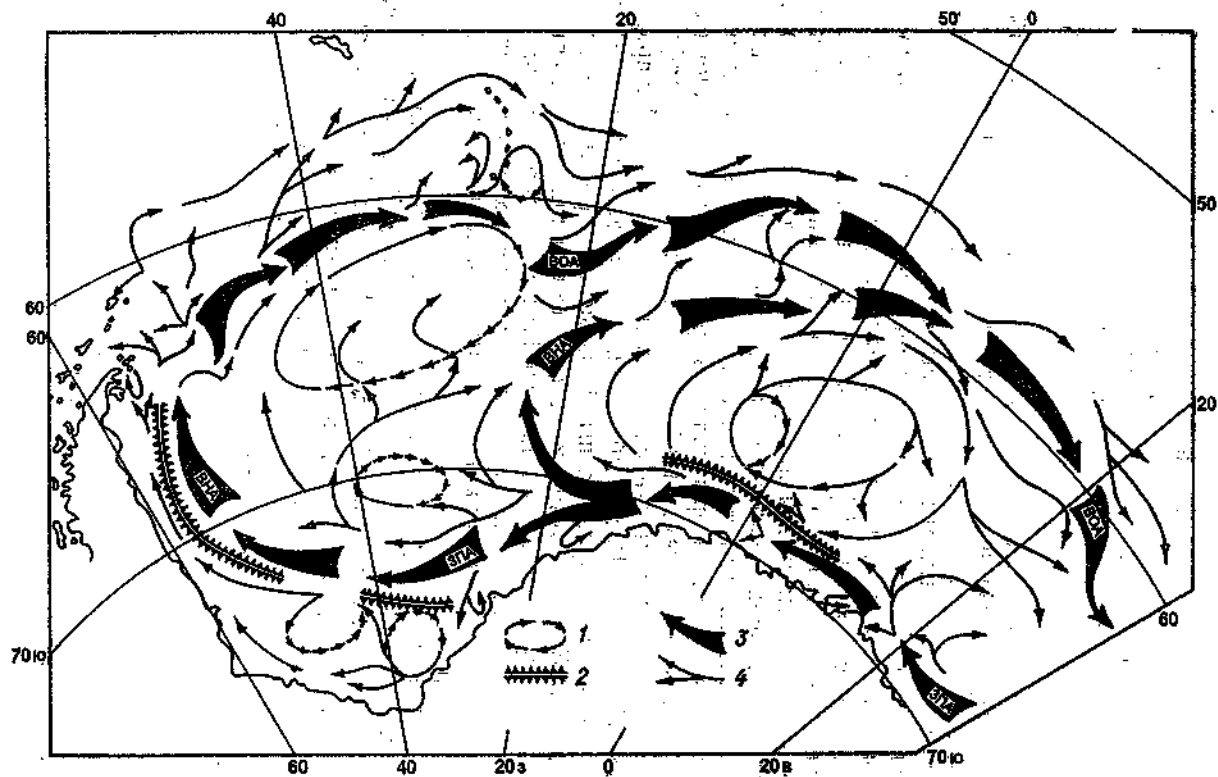


Рис. 2. Схема адвекции льда в круговороте Уэдделла:

1 — гипотетические циркуляции; 2 — дрейфоразделы; 3 — основные звенья адвекции; 4 — производные звенья адвекции.

путников «Метеор», которые принимались на нэс «Академик Федоров» («WWS-89») в сентябре — ноябре 1989 г., на *r/v* «Polarstern» («ANT IX/3») в январе — феврале 1991 г. [59], на нэс Академик Федоров» и станции Беллинсгаузен (ISW-1) в ноябре 1991 г. — июне 1992 г. Кроме того, для комбинированного анализа привлекались данные наблюдений этих экспедиций за сплоченностью айсбергов, являющихся эффективными циркуляционными массами, большая часть которых приурочена к стержням поясов. Дополнительными индикаторами для получения целостной картины адвекции льда служили характер его распределения (сплоченность, конфигурация границ различных зон и т. п.) и морфология, которая отличается в зонах основных переносов равнительной однородностью, либо логической преемственностью.

В схеме выделяются следующие три основных звена адвекции.

— ЗПА, обуславливающая квазитранзитный перенос льда, расположена в системе Прибрежного антарктического течения югу от 68° — $68,5^{\circ}$ ю. ш. В долготном секторе 10° з. д. — 10° в. д., где результирующая скорость дрейфа льда достигает в среднем 29 узла (табл. 1), ЗПА отделяется от области полыньи Уэдделла четко выраженным дрейфоразделом вблизи 68° ю. ш. Менее выраженный дрейфораздел обнаруживается к югу от стержня ЗПА около $74,5^{\circ}$ ю. ш. между 30° — 40° з. д.

Таблица 1

Средний результирующий дрейф льда в круговороте Уэдделла по данным наблюдений в период ISW-1

Звено адвекции	Район		Дрейф льда	
	широта ю., град.	долгота, град.	направление, град.	скорость, узлы
западная прибрежная адвекция	$67,5^{\circ}$ — $70,0^{\circ}$	10° — 25° в.	275	0,25
	$67,5^{\circ}$ — $70,0^{\circ}$	10° з. — 10° в.	261	0,29
	$70,0^{\circ}$ — $72,5^{\circ}$	40° — 10° з.	298	0,15
область полыньи Уэдделла	$65,0^{\circ}$ — $67,5^{\circ}$	10° з. — 20° в.	266	0,22
	$62,5^{\circ}$ — $65,0^{\circ}$	0° — 10° в.	156	0,14
восточная адвекция	$65,0^{\circ}$ — $70,0^{\circ}$	40° — 10° з.	321	0,20
	$72,5^{\circ}$ — $77,5^{\circ}$	60° — 30° з.	322	0,08
	$65,0^{\circ}$ — $72,5^{\circ}$	60° — 40° з.	7	0,13
восточная океаническая адвекция	$60,0^{\circ}$ — $65,0^{\circ}$	60° — 30° з.	39	0,13
	$60,0^{\circ}$ — $65,0^{\circ}$	30° з. — 5° в.	30	0,21
	$58,0^{\circ}$ — $60,0^{\circ}$	25° з. — 0°	60	0,26

— ВНА сосредоточена в районе 25° з. д. и в зоне Западного ограниченного течения между 50° — 55° з. д., где средние результирующие скорости составляют соответственно 0,20 и 0,13 узла. Первая ветвь ВНА ответственна за ежегодно наблюдаемый тип осеннего распространения кромки льда в круговороте

Уэдделла с юго-запада на северо-восток. Между стрежнем второй ветви и шельфовой зоной Антарктического полуострова располагается гигантский квазистационарный дрейфораздел, простирающийся примерно от $73,5^\circ$ ю. ш. 50° з. д. через 70° ю. ш. 57° з. д. до 65° ю. ш. $54,5^\circ$ з. д.

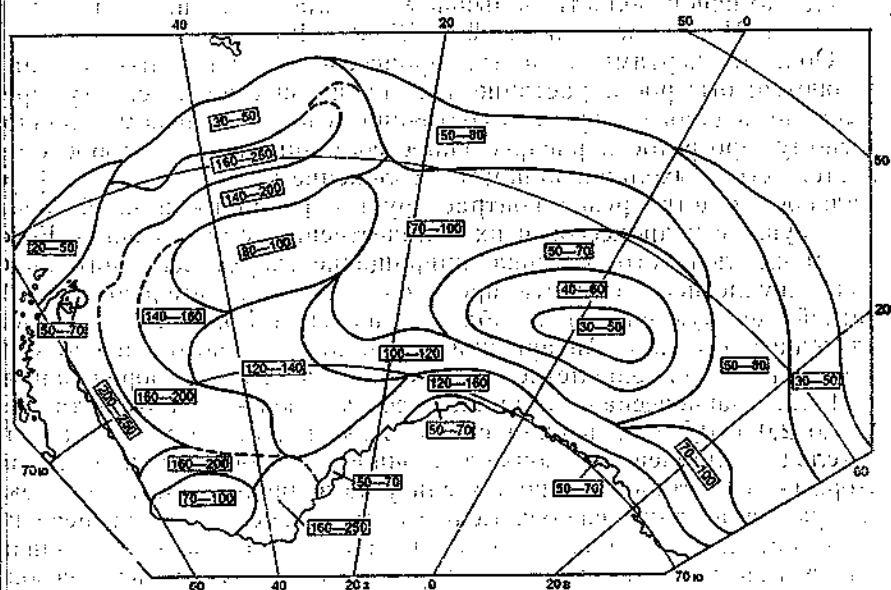
— ВОА приурочена в основном к широтной зоне $60\text{--}63^\circ$ ю. ш. за исключением долготного сектора 10° з. д. — 10° в. д., где северный стрежень ВОА опускается до 58° ю. ш., а результирующая скорость дрейфа льда достигают 0,26 узла. Это звено адвекции обеспечивает окончательное оформление ледового пояса к концу холодного периода за счет распространения в генеральном восточном направлении толстого льда, поставляемого ВНА, и тонкого молодого льда, образующегося в прикромочной зоне. Наряду с феноменом полыньи Уэдделла, таяние льда в процессе его транспортировки ВОА, ответственно за взрывной характер весеннего очищения восточной половины круговорота Уэдделла.

Кроме того, выделяются производные ветви адвекции, в том числе, образующие ряд гипотетических циркуляций во внутренних областях круговорота: к западу от поднятия Мод, на 70-й параллели между $30\text{--}40^\circ$ з. д., во впадинах напротив ледников Фильхнера и Ронне, в зоне $60\text{--}66,5^\circ$ ю. ш. между $25\text{--}45^\circ$ з. д. Последняя, западная, циркуляционная ячейка оконтуривается на меридианах 20 и 50° з. д. меандрами ВОА оротографического происхождения, к которым ежегодно приурочены крупные зоны разрежения ледового пояса.

На морфологической схеме (рис. 3) отчетливо выражена гигантская «сфера действия» полыньи Уэдделла. Реализующие здесь механизмы интенсивного подтока океанического тепла обуславливают ежегодное существование внутри ледового пояса между $62\text{--}67^\circ$ ю. ш. и 10° з. д. — 10° в. д. обширной зоны преобладания льда толщиной не более 0,5 м [46]. Этот лед тождествен льду прикромочной зоны и обречен с наступлением весны на первоочередное и быстрое вытаивание. Процесс разрушения льда сопровождается оформлением обычно во второй половине ноября-начале декабря полыньи Уэдделла в чистом виде. Стремительное разрастание полыньи завершается не позднее начала января ее соединением с открытым океаном. В результате практически в течение одного месяца происходит фантастически быстрое очищение огромной акватории между 20° з. д. — 20° в. д. Только в прибрежной зоне сохраняется «река» толстого однолетнего льда, которая к концу февраля в основном полностью исчезает за счет постоянного вытаивания в процессе смещения в системе ЗПА и разрыва изнутри прибрежными полыньями. В последние годы из-за оседания на грунт подводной возвышенности Беркнер двух гигантских айсбергов отколовшегося зимой 1986 г. суперъязыка шельфового ледника Фильхнера к югу от 75° ю. ш. между $30\text{--}45^\circ$ з. д. сохраняется локальный массив старого льда.

Таким образом, в результате вышеперечисленных событий в январе происходит оформление собственно Атлантического мас-

два. Классическим типом его конфигурации является язык ста-
ых льдов, выносимых из «тела» массива от северной оконечно-
ти Антарктического полуострова в направлении Южных Санд-
ичевых островов. Этот язык в последующем становится все бо-
ее ярко выраженным из-за полного вытаивания расположенной
югу зоны относительно ровного и тонкого льда толщиной 80—
90 см, приуроченной к области западной циркуляционной
чейки. Ядро Атлантического массива составляет старый, пре-
мущественно двухлетний лед. Не позднее, чем в начале треть-
го года существования, этот лед вовлекается в ВOA, в системе



ного покрова 0,5—1,0 м, так и внутриводным ледообразованием в результате переохлаждения морской воды при распреснении стоком с материка вод подледникового таяния [23].

Ледяной покров в круговороте Уэдделла подвержен глубоким метаморфизму как сезонному, так и региональному. Данный процесс затрагивает не только морфологию и структуру льда, но все его физические свойства [32]. Это демонстрирует сравнение данных измерений на льдине *ISW-1*, характерных для консервативной зоны ядра Атлантического массива, с результатами аналогичных наблюдений, выполненных в принципиально иной, высокодинамичной области полыньи Уэдделла в районе к западу от поднятия Мод в экспедиции «*WWGS-89*» [46].

Общими чертами ледовых процессов в указанных районах являются: быстрое нарастание льда преимущественно сверху, пребывание ледяного покрова в состоянии, в целом близком к равновесному, прогретое и распресненное состояние льда, которое сменяется его выхолаживанием и осолонением. Это внешнее, формальное сходство резко контрастирует с различиями по физической сущности процессов и их количественному выражению. Если в районе ледяного массива приращение сверху основного вида льда двухлетнего возраста происходит за счет замерзания слоистой структуры, то в области полыньи Уэдделла — за счет классического для Антарктики инфильтрационного снежно-водного нарастания однолетнего тонкого льда зимнего образования.

Если равновесная толщина, составляющая соответственно около 2,0 и 0,5 м, в первом случае является результатом исключительно ослабленного конжеляционного ледообразования, то во втором — следствием стаивания снизу на величину, примерно адекватную нарастанию сверху. Если смена прогретого и распресненного состояния льда его выхолаживанием и осолонением вблизи Антарктического полуострова обусловлена тривиальными сезонными факторами, то в районе к западу от поднятия Мод — региональной неординарностью океанологических структур и процессов, которые отображаются в местном ледяном покрове с дискретностью синоптического масштаба при его гипотетической рециркуляции в данном районе.

Таким образом, результатами комплексных наблюдений экспедиции «Уэдделл-1» убедительно подтверждается основополагающее концептуальное суждение об определяющей роли океана, его циркуляции и термохалинной структуры, в формировании ареала морфологии и теплофизических свойств антарктического ледяного покрова.

Поступила 30.03.94 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов В. Г. Гляциоклиматология Антарктиды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — 198 с.

2. Багрянцев Н. В., Саруханян Э. И. Полюнья Уэдделла как источник гидрофизических процессов в круговороте Уэдделла//Докл. АН СССР. — 1984. — Т. 276. — № 5. — С. 1238—1242.
3. Багрянцев Н. В., Саруханян Э. И. Особенности термохалинной стратификации вод Южного океана при наличии ледяного покрова по данным экспедиции «Уэдделл—ПОЛЭКС-81»//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1986. — № 108. — С. 19—27.
4. Буйницкий В. Х. Морские льды и айсберги Антарктики. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. — 254 с.
5. Григорьев Ю. А., Коротков А. И., Романов А. А., Спичин В. А. Обеспечение безопасности работ на антарктическом припайе//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1990. — № 114. — С. 44—51.
6. Дмитриш Ж. А. Антарктические полюнья по данным спутниковых наблюдений//Учен. зап. ЛГУ. — 1975. — № 379. — С. 168—179.
7. Евсеев В. В. Стационарные полюнья Антарктики по спутниковым данным//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1975. — № 91. — С. 20—27.
8. Ескин Л. И. Ледовые условия в навигационный период в водах Восточной Антарктики//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1973. — Т. 59. — С. 61—76.
9. Ескин Л. И. Морские льды Южного океана//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1968. — Вып. 31. — С. 24—30.
10. Ескин Л. И. Полюнья. Атлас Антарктики, т. II. — Л.: Гидрометеоздат, 1969. — С. 454—455.
11. Ескин Л. И., Слепцов-Шевлевич Б. А. Двухлетние циклические колебания ледовых условий в районе Южных Сандвичевых островов//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1967. — № 60. — С. 47—50.
12. Захаров В. Ф. Льды Арктики и современные природные процессы. — Л.: Гидрометеоздат, 1981. — 136 с.
13. Захаров В. Ф. Могут ли морские льды вызвать изменения климата//Полярные новости. — 1992. — № 1. — С. 23—25.
14. Клепиков В. В. Гидрология моря Уэдделла//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1963. — Т. 17. — С. 45—93.
15. Клепиков В. В., Григорьев Ю. А. Циркуляция водных масс моря Росса//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1966. — № 56. — С. 37—41.
16. Клоков В. Д. Таяние и жидкий сток с поверхности ледникового покрова Антарктиды. — Л.: Гидрометеоздат, 1979. — 127 с.
17. Козловский А. М., Назинцев Ю. Л., Федотов В. И., Череганов Н. В. Припай Восточной Антарктиды//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1977. — Т. 63. — 130 с.
18. Коротков А. И. Влияние конфигурации побережья на ледовый режим окраинных антарктических морей//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1990. — Т. 89. — С. 108—118.
19. Коротков А. И. Закономерности пространственно-временной изменчивости антарктических стационарных полюней//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1990. — № 114. — С. 25—32.
20. Коротков А. И. Закономерности формирования ледовых условий в прибрежной зоне района станции Русской//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1989. — № 112. — С. 16—29.
21. Коротков А. И. Изменчивость ледовых условий в заливе Алашеева//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1990. — Т. 86. — С. 117—133.
22. Коротков А. И. Классификация антарктических стационарных полюней по сезонной ритмике развития/Физическая океанология и проблемы биологической продуктивности. — Санкт-Петербург: Изд-во СПб Гос. ун-та 1992. — С. 72—87.
23. Коротков А. И. О механизме образования внутриводного льда в Антарктике//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1990. — Т. 86. — С. 105—116.
24. Коротков А. И., Романов А. А. Динамика ледовых условий прибрежной зоны Антарктики//Мат-лы гляциол. исслед. — 1990. — Вып. 68. — С. 126—133.
25. Коротков А. И., Романов А. А. Изменения ледникового побережья залива Прюдс//Мат-лы гляциол. исслед. — 1992. — Вып. 75. — С. 163.
26. Коротков А. И., Романов А. А. Специализированное ледовое

обеспечение антарктического мореплавания/Физическая океанология и проблем биологической продуктивности. — Санкт-Петербург: Изд-во СПб Гос. ун-та, 1992. — С. 69—72.

27. Котляков В. М., Шарова В. Я. Количество осадков в Антарктике/Атлас Антарктики, т. II. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — С. 328—332.

28. Купецкий В. Н. Стационарные полыньи в замерзающих морях (причины и распространение)//Вестник ЛГУ. — 1958. — № 12. — С. 172—184.

29. Леденев В. Г. Охлаждение прибрежных антарктических вод в районах заприпайных и приледниковых полыней//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1964. — Вып. 17. — С. 46—53.

30. Лосев К. С. Антарктический ледниковый покров. — М.: Наука, 1982. — 156 с.

31. Лысаков Э. П., Свешников А. М. О влиянии атмосферной циркуляции на формирование полыньи Уэдделла//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1986. — № 108. — С. 52—56.

32. Назинцев Ю. Л., Федотов В. И. О термическом метаморфизме морских льдов Антарктики//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1984. — № 105. — С. 23—29.

33. Романов А. А. Закономерности пространственно-временной изменчивости ледовитости Южного океана/Тез. докл. III съезда советских океанологов. Сер. Полярная и региональная океанология. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 226—228.

34. Романов А. А. Закономерности пространственно-временной изменчивости морских антарктических льдов и условия судоходства//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1990. — № 114. — С. 62—70.

35. Романов А. А. Ледовые условия плавания в водах Антарктики (Научное обоснование и рекомендации)//Тр. ААНИИ. — 1976. — Т. 335. — 159 с.

36. Романов А. А. Лды Южного океана и условия судоходства. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 88 с.

37. Романов А. А. Морской лед и айсберги в Южном океане/Мат-лы гляциол. исслед. — 1985, вып. 52, с. 62—66.

38. Романов А. А. О сезонной и межгодовой изменчивости основных элементов ледового режима Южного океана//Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 363. — С. 100—108.

39. Романов А. А. Особенности ледового режима Южного океана и их связь с атмосферной циркуляцией//Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 363. — С. 40—46.

40. Романов А. А. Основные закономерности развития ледовых процессов Южного океана//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1986. — Вып. 62. — С. 28—35.

41. Романов А. А., Коротков А. И. Научные основы долгосрочного прогнозирования ледовых условий в Южном океане/Физическая океанология и проблемы биологической продуктивности. — Санкт-Петербург: Изд-во СПб Гос. ун-та, 1992. — С. 61—68.

42. Романов А. А., Коротков А. И. Об исследованиях морских антарктических льдов//Мат-лы гляциол. исслед. — 1992. — Вып. 75. — С. 82—85.

43. Романов А. А., Коротков А. И. Состояние и перспективы долгосрочного прогнозирования ледовых условий в Южном океане/III Всесоюзное совещание «Сырьевые ресурсы Южного океана и проблемы их рационального использования». — М.: Изд. ВНИИЭРХ, 1990. — С. 132—135.

44. Романов А. А., Коротков А. И. Феноменологическая схема квазидвухлетней цикличности колебаний ледовитости Южного океана//Информ. бюл. Рос. антаркт. экспед. — 1993. — № 117. — С. 44—48.

45. Романов А. А., Коротков А. И. Формирование и изменчивость морских антарктических льдов как составной части полярной климатической системы//Информ. бюл. Рос. антаркт. экспед. — 1993. — № 117. — С. 48—54.

46. Романов А. А., Коротков А. И., Чурун В. Н. Основные результаты ледовых наблюдений в экспедиции «WWS-89» на нэс «Академик Федоров»//Информ. бюл. Рос. антаркт. экспед. — 1993. — № 117. — С. 54—58.

47. Саруханян Э. И. Структура и изменчивость Антарктического циркумполярного течения. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 118 с.

48. Спичкин В. А. О скоплении морской воды на антарктическом припайе//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1966. — № 59. — С. 73—75.

49. Трещников А. Ф. Особенности ледового режима Южного Ледовитого океана//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1963. — Т. 21. — 273 с.

50. Федотов В. И. Радиационное разрушение припайных антарктических льдов//Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 300. — С. 128—136.

51. Черепанов Н. В., Козловский А. М. Многолетний припай в районе станции Ленинградской//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1973. — № 85. — С. 54—57.

52. Черепанов Н. В., Козловский А. М. Типизация морских антарктических льдов по условиям их образования//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1973. — Вып. 42. — С. 49—58.

53. Чиковский С. С. О переохлаждении морских вод в природных и лабораторных условиях//Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 300. — С. 137—152.

54. Шильников В. И. Методика наблюдений за айсбергами//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1959. — № 6. — С. 11—14.

55. Antarctic sea-ice, 1973—1976: satellite passive-microwave observations/I. J. Zwally, J. C. Comiso, C. L. Parkinson, W. J. Campbell, F. D. Carsey, P. Gloersen. — Washington: D. C.: NASA, SP-459, 1983. — 206 p.

56. Bagriantsev N. V., Gordon A. L., Huber B. A. Weddell gyre: temperature maximum stratum//J. Geophys. Res. — 1989. — Vol. 94. — N. C6. — 8331—8334.

57. Comiso J. C., Gordon A. L. Recurring polynyas over the Cosmonaut sea and the Maud rise//J. Geophys. Res. — 1987. — Vol. 92. — N C3. — P. 2819—833.

58. Gordon A. L. Deep antarctic convection of Maud rise//J. Phys. Oceanogr. — 1978. — Vol. 8. — P. 600—612.

59. Lukin V., Provorkin A. Ice observations in the eastern Weddell and Lazarev seas, January—March, 1991//Reports on Polar research. — 1992. — 100. — P. 107—124.

60. Romanov A. A., Korotkov A. I. The role of sea ice in the system of interaction media in the Southern polar region. Glaciers—Ocean—Atmosphere interactions (Proceedings of the International symposium held at St Petersburg, September, 1990)//IAHS Publ. — 1991. — N 208. — P. 471—477.

61. Sea ice climatic Atlas, Vol. 1, Antarctic. — Asheville, 1985. — 132 p.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МОРСКИМИ ЛЬДАМИ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛЕДОВО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ледовая обстановка, т. е. состояние и характеристики ледяного покрова на арктических, антарктических, а в зимнее время и на замерзающих морях умеренных широт практически полностью определяют условия мореплавания, рыболовства и добычи полезных ископаемых на этих акваториях. Поэтому изучению ледяного покрова морей в полярных областях всегда уделялось большое внимание.

До появления авиации источником сведений о ледовом режиме арктических морей были суда экспедиций различных стран и зверобойные шхуны и купеческие суда, совершавшие в течение двух-трех летних месяцев редкие плавания в прибрежной зоне арктических морей. В программы ежегодных океанографических экспедиций ААНИИ также входило наблюдение за положением кромки льдов, а сами экспедиции до конца 60-х годов назывались «ледовый патруль».

В результате морских арктических экспедиций, наиболее значительными из которых были Великая Северная экспедиция (1733—1743 гг.), Северо-восточная Географическая и Астрономическая экспедиция Иосифа Биллингса (1785—1795 гг.), исследования Восточно-Сибирского моря Ф. П. Врангелем (1820—1824 гг.), американская экспедиция под руководством Д. В. Де-Лонга (1879—1881 гг.), экспедиция Ф. Нансена на судне «Фрам» (1893—1896 гг.). В результате гидрографической экспедиции по Северному Ледовитому океану на л/к «Таймыр» и «Вайгач» (1910—1915 гг.) на значительном протяжении были нанесены на карту берега и острова, получены общие представления о метеорологическом и ледовом режиме Северного Ледовитого океана, развеян миф о существовании в районе полюса открытого от льдов моря.

Однако наблюдения в отдельных точках, выполнявшиеся крайне нерегулярно, не давали возможности получения целостной картины распределения и динамики льдов в отдельных морях и в Северном Ледовитом океане. Такая возможность появилась только после начала изучения Арктики с воздуха.

Первые наблюдения морских льдов с борта летательного аппарата были выполнены в 1897 г. Соломоном Андрэ при попытке достичь Северный полюс на воздушном шаре. Попутная ледовая разведка на самолете была выполнена впервые в августе 1914 г. военным летчиком Я. Нагурским при поисках экспедиции Г. Седова. В 1913 г. начальник экспедиции на л/к «Таймыр» и «Вайгач» Б. А. Вилькицкий предложил и обосновал возможность использования самолета специально для ледовой разведки, однако осуществлена эта идея была только в начале 20-х годов.

Первые Карские экспедиции показали абсолютную необходимость знания ледовой обстановки для успешного плавания, и в августе 1924 г. летчик Б. Г. Чухновский по заданию Карской экспедиции совершил девять полетов специально для ледовой разведки.

С 1924 г. ледовая авиаразведка в Арктике стала выполняться ежегодно — сначала только в Карском, затем в Белом и Чукотском морях, а с 1936 г. она распространилась на всю трассу Северного морского пути и стала проводиться более систематически. Наблюдения выполнялись первоначально экипажами самолетов — летчиками и штурманами с привлечением гидрологов полярных станций. В становлении ледовой разведки и ее развитии в последующие годы нельзя не отметить роль таких асов полярной авиации, как Б. Г. Чухновский, М. С. Бабушкин, М. В. Водопьянов, С. Молоков, В. М. Махоткин, М. П. Козлов, М. Н. Каминский, И. И. Черевичный, И. П. Мазурук, М. А. Титлов, В. И. Задков, С. Котов, Б. С. Осипов, В. М. Перов; штурманов В. П. Падалко, Н. Морозова, А. П. Штепенко, В. И. Аккуратова, Н. М. Жукова, В. Жадринского, П. М. Банюшевича, Н. П. Зубова.

По мере роста морских арктических операций и накопления опыта использования данных ледовых разведок для проводки судов во льдах повышались требования к качеству ледовой информации. Оказалось, что для выбора оптимального пути движения капитан судна должен знать не только наличие ледяного покрова и положение его кромки, но и иметь информацию о сплошности льдов, их возрасте, размерах полей, торосистости, разрушенности и других характеристиках. Поэтому в состав экипажей самолетов ледовой разведки введены бортнаблюдатели-океанологи, что существенно повысило качество наблюдений.

В 1938 г. перед отделом ледовых прогнозов АНИИ была поставлена задача разработки методики наблюдений и картографирования ледовой обстановки с самолетов и способов передачи информации потребителям. Уже к 1942 г. в результате совместной работы летчиков, штурманов и гидрологов АНИИ был внедрен принцип выделения зон одинаковой сплошности или возраста льдов, разработаны шкалы для характеристик ледяного покрова и таблицы условных обозначений. Специалистами института и сотрудниками полярной авиации было подготовлено и в 1946 г. издано первое полное пособие по ледовой разведке [25], сыгравшее громадную роль в совершенствовании организационной структуры ледовой разведки, повышении ее качества и унификации наблюдений.

Совершенствование методов визуальной ледовой разведки продолжалось и в последующие годы усилиями Д. Б. Карелина, Т. Субботина, Н. А. Волкова, И. Т. Овчинникова, М. М. Сомова, Ю. М. Барташевича, П. А. Гордиенко, А. П. Шумского, В. И. Реткиной, К. Н. Михайлова, В. И. Шильникова, В. М. Булавкина, М. Лосева, Р. А. Борисова, В. С. Ложилова, А. В. Бушуева,

В. Е. Бородачева, В. А. Харитонова, К. М. Кумачева и многих других [6, 7, 32, 34, 35].

Применение авиации для ледовых наблюдений открыло новую эру в изучении полярных областей. Регулярная информация о распределении льдов позволила сменить экспедиционные плавания в Арктике регулярным судоходством по всей трассе Северного морского пути, вскрыть важнейшие закономерности формирования, строения и разрушения ледяного покрова и в результате существенно улучшить оправдываемость долгосрочных и краткосрочных ледовых прогнозов.

При визуальных ледовых наблюдениях с малых высот (50–500 м) наблюдатель по характеру поверхности, состоянию снежного покрова, типу наслоений и торосистых образований и другим косвенным признакам определяет все основные характеристики ледяного покрова. Однако свойственная визуальным наблюдениям недостаточная точность определения характеристик привязки к местности, субъективность оценок и ограниченные возможности обзора уже давно вполне обоснованно вызвали необходимость инструментализации авиационных ледовых наблюдений.

ААНИИ, являющийся головным учреждением нашей страны в области изучения ледяного покрова морей, на протяжении своей истории осуществлял ведущую роль как в совершенствовании методов визуальных ледовых наблюдений, так и в разработке, испытании и внедрении новых перспективных средств дистанционного зондирования.

До конца 50-х годов практически единственным дистанционным средством изучения природных ресурсов была аэрофотосъемка. Для иллюстраций описаний ледяного покрова или фиксации моментов проводки судов, воздушное фотографирование преимущественно малоформатными камерами выполнялось уже в 20–30-е годы как в нашей стране, так и за рубежом. Однако целенаправленная съемка, имеющая своей задачей изучение льдов в конкретном районе, была впервые выполнена только в 1941 г. И. И. Черевичным и В. И. Аккуратовым во время полета самолета «СССР Н-169» в район полюса относительной недоступности.

После окончания Великой Отечественной войны в ААНИИ был создан отдел аэрофотосъемки, которым руководил до 1948 г. В. И. Авгевич, внесший большой вклад в разработку методов ледовых аэрофотосъемок и создание в институте соответствующей материальной базы. Он предложил составление оперативных ледовых карт по аналогии с топографическими картами малообжитых районов с использованием канадского метода перспективной аэрофотосъемки [1]. Однако большое количество снимков, которое получалось при этом, и сложность их фотограмметрической обработки привели к тому, что этот метод не получил применения для картографирования льдов.

Настойчивые попытки применения аэрофотосъемки для непосредственной проводки судов продолжались до середины 60-х годов. По существовавшим в то время воззрениям, для этого не

бходимо было решить две проблемы: разработать метод ускоренной фотохимической обработки аэрофильмов на борту самолета использовать аэрофотоаппараты с миксимально возможным за- ватом.

Первая задача сравнительно успешно была решена коллекти- ом сотрудников ГОИ им. Вавилова, разработавшим под руко- одством В. А. Вейденбаха так называемый «одноступенный про- есс» [11]. Бортовой макет проявочной машины был изготовлен экспериментально-производственных мастерских (ЭПМ) АНИИ. Большой вклад в разработку метода ускоренной обра- отки внесли сотрудники ААНИИ А. И. Гaudис и В. И. Суворов, оторые погибли в 1959 г. в авиационной катастрофе при произ- одственных испытаниях аппаратуры.

В процессе решения второй проблемы в ААНИИ были испы- аны все существовавшие в то время аэрофотоаппараты (топо- рафические, кадровые перспективные, щелевые, панорамные). ыло установлено, что некоторые из них могут использоваться ля решения отдельных частных задач, но полностью поставлен- ым требованиям не удовлетворяет ни один.

В 1960 г. А. В. Бушуевым была разработана принципиальная хема кругового планово-перспективного аэрофотоаппарата, каж- ый снимок которого охватывал всю видимую площадь [4], в 1963 г. ЭПМ ААНИИ был изготовлен его бортовой макет, оторый успешно применялся в ряде экспедиций ААНИИ [2]. днако отсутствие в то время средств фотограмметрической об- аботки на борту самолета и большое время, затрачиваемое на ютохимическую обработку, которая выполнялась после съемки сего фильма, привели к тому, что и этот аэрофотоаппарат не был недрен в оперативную практику.

Таким образом, аэрофотосъемка как средство непосредствен- ой проводки судов не оправдала возлагавшихся на нее на- ежд. Использование аэрофотосъемки для режимных и научных сследований было гораздо успешнее. С начала 50-х — конца 0-х годов ежегодно выполнялись маршрутные съемки в апрель- ых обзорных разведках, на полигонах в районе дрейфующих ганций «Северный полюс» и по программам различных экспеди- ий («Север», «ПОЛЭКС» и др.). В результате анализа и обоб- ения материалов этих съемок значительно изменились пред- авления о роли торошения в формировании ледяного покрова, ыл выявлен блочный характер распределения многолетних льдов, аскрыты многие закономерности динамики и деформации льдов [9, 12, 26, 27, 33].

С 1953 г. самолеты ледовой разведки стали оборудоваться авигационными панорамными радиолокационными станциями (РЛС). Учитывая их всепогодность, И. Д. Демин, Т. Т. Семиков, . С. Лошилов, И. П. Романов в 1953—1955 гг. испытывали эти ЛС в качестве средства наблюдения за льдами. В результате ыполненных экспериментов совместно с летчиками и штурма- ами полярной авиации было подготовлено методическое по-

сobie [30]. Однако из-за низкой разрешающей способности эти РЛС, неравноконтрастности изображения больших радиотене при полете на малых высотах оказалось, что по получаемой информации можно только картографировать положение кромок льдов за пределами визуальной видимости, и поэтому навигационные панорамные РЛС при выполнении ледовых разведок используются в основном только по своему прямому назначению.

В начале 60-х годов появились радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО), имеющие по сравнению с панорамными РЛС на порядок более высокую разрешающую способность. Летом и осенью 1965 г. при помощи экспериментальной РЛС БО были выполнены первые ледовые разведки, показавшие большую перспективность нового средства. В 1968 г. НПО «Ленинец» по руководством В. М. Глушкова специально для ледовой разведки была разработана и изготовлена РЛС БО «Торос», которая сразу же вошла в практику ледовых наблюдений, выполняемых как для проводки судов, так и для научных исследований [31].

Для успешного использования данных радиолокационных съемок необходимо было в первую очередь разработать методы их координирования и выявить дешифровочные признаки морских льдов на снимках РЛС БО. Такие работы выполнялись с момента ввода в эксплуатацию РЛС БО «Торос» сотрудниками созданного к тому времени в составе отдела ледовых прогнозов Лаборатории инструментальных ледовых наблюдений В. С. Ложиловым, А. В. Бушуевым, В. И. Шильниковым, К. М. Кумачевым, И. Г. Себребренниковым. Обширные материалы по информационным свойствам радиолокационных снимков и дешифровочным признакам различных типов льдов были получены, в частности, в результате выполнения синхронной радиолокационной и аэрофотографической съемки, выполненной с двух самолетов в апреле 1973 г. В. И. Шильниковым и К. М. Кумачевым.

Возможность выполнения радиолокационных съемок вне зависимости от освещенности и метеоусловий позволила перейти к круглогодичным ледовым разведкам как для обеспечения зимних морских операций в Карском море, так и для повышения качества долгосрочных ледовых прогнозов, для чего на самолетах оборудованных РЛС БО, стали выполняться декабрьские и майские обзорные ледовые разведки. В процессе эксплуатации РЛС БО «Торос» был выявлен ряд недостатков (отсутствие компенсации угла сноса, радиометрической коррекции, линии трансляции, неравномасштабность изображения по строке сканирования и др.) и сформулированы предложения по их устранению.

В 1977 г. НПО «Ленинец» была закончена разработка и изготовлена усовершенствованная модификация РЛС БО «Нить». У этой станции были устранены отмеченные недостатки, в состав ее включен блок автоматической фотохимической обработки пленки, позволяющий при выполнении оперативных ледовых разведок использовать не изображение на экранах оперативных ин-

дикаторов, а сами радиолокационные снимки. Но, пожалуй, самым главным преимуществом новой станции стало дополнение бортового комплекса линией трансляции радиолокационных изображений в реальном масштабе времени на ледоколы, оборудованные специальными приемными станциями.

Ледовые наблюдения с помощью РЛС БО стали выполняться не только сотрудниками лаборатории ААНИИ, но и гидрологами территориальных управлений Гидрометслужбы, а анализ радиолокационных снимков и выбор по ним пути следования — и гидрологами ледоколов. Поэтому было подготовлено и издано соответствующее методическое пособие, в которое были включены разработанные к тому времени аналитический метод координирования радиолокационных съемок, метод составления фотокарт и оперативной обработки информации, уточненные и дополненные дешифровочные признаки [23].

В 1968—1972 гг. в Рижском Краснознаменном институте инженеров Гражданской авиации (РКИИГА) под руководством И. И. Финкельштейна был разработан способ измерения толщины морского льда при помощи последовательности видеоимпульсов и создан бортовой макет радиолокационного видеоимпульсного измерителя толщины морского льда (РВИТЛ) [36].

Начиная с 1973 г. до конца 80-х годов, РКИИГА и ААНИИ ежегодно производили испытания различных модификаций бортовых макетов приборов, опытные и опытно-производственные съемки. В результате проведенных экспериментов была разработана методика использования РВИТЛ при выполнении ледовых разведок, определены точностные и эксплуатационные характеристики прибора [8, 35, 37]. Временем начала спутниковых ледовых наблюдений за рубежом можно считать 1960 г., когда в США был запущен спутник «Тайрос-1», имевший в составе бортовой аппаратуры телевизионные камеры для наблюдения в основном за облачностью. Спутники этой серии запускались вплоть до 1965 г., когда они были заменены более совершенными системами «ЭССА», «Нимбус», «НОАА». Уже в 1961 г. появились первые публикации с описанием поступающей со спутников информации, в том числе указания на возможность использования спутниковых снимков для наблюдения за морскими льдами.

В 1966 г. был запущен отечественный спутник «Космос-122», и с этого времени начинается планомерное использование ИСЗ для ледовых наблюдений в Советском Союзе. Телевизионные (ТВ) снимки ИСЗ сначала принимались только в Москве и пересылались в ААНИИ по почте, что существенно сказывалось на оперативности. Однако уже в 1967—1969 гг. была создана сеть автономных пунктов приема информации (АППИ), в том числе в ААНИИ и во всех арктических территориальных управлениях. В ААНИИ станция приема была разработана сотрудниками отдела физики льда и океана, а изготовлена в ЭПМ ААНИИ. После этого информация стала поступать в реальном масштабе времени и все более широко использоваться в оперативной практике.

Своеобразие ледяного покрова как объекта дистанционного зондирования, повышенные требования к точности географической привязки, регулярности и оперативности обусловили необходимость разработки оригинальных методов дешифрирования, географической привязки и использования спутниковой ледовой информации. Кроме того, видеoinформация каждой новой серии метеорологических спутников имела, как правило, различные геометрические свойства, полосы обзора, разрешение и спектральные диапазоны. Поэтому разработка этих методов ведется в лаборатории все эти годы вплоть до настоящего времени.

На основании подспутниковых полигонных наблюдений и синхронных аэрофотографических и радиолокационных съемок были подобраны тестовые эталонные снимки различных типов льдов. Был разработан оптико-механический метод географической привязки с использованием модернизированных в ЭПМ ААНИИ приемных фототелеграфных аппаратов и универсальных топографических проекторов, разработан алгоритм аналитической географической привязки, использующий орбитальные данные и опорные точки местности, который был программно реализован в 1976 г. Ю. Д. Быченковым на прототипе персональных ЭВМ «Искра-125» [24]. В последующие годы, по мере появления новой вычислительной техники и новых спутников, разрабатывались и внедрялись в практику программы для ЭВМ СМ-4, ЕС-1046, персональных компьютеров.

Для оперативного обеспечения всех АППИ, выполняющих ледовые наблюдения, методические пособия обычно рассылались по мере их подготовки в виде ксерокопий. Сравнительно полное пособие, обобщающее все выполненные к тому времени исследования и не потерявшие своего значения до настоящего времени было издано в 1978 г. [24].

В значительной мере благодаря такому оперативному обеспечению методическими пособиями, спутниковая информация сразу же в конце 60-х годов, стала широко использоваться как средство дополнения авиационных ледовых разведок, а затем постепенно ИСЗ превратились в одно из основных средств ледовых наблюдений.

Метеорологические спутники, начиная с «НОАА-2» (1972 г.) стали выполнять съемку не только в видимом, но и в ИК диапазоне. После этого, особенно после усовершенствования ИК радиометров и повышения в 1978 г. их разрешающей способности на местности при работе в режиме непосредственной передачи до 4×4 км (ИСЗ «Тайрос-Н», «НОАА-5» и «НОАА-6»), спутниковые ледовые наблюдения стали круглогодичными, что еще более повысило их роль в обеспечении морских операций и при проведении научных исследований.

Включение в состав бортовой аппаратуры сканирующих ИК радиометров исключило зависимость от освещенности. Однако маскирующее влияние облачности и для ИК канала полностью сохраняется. Поэтому, учитывая, что обычно более 9/10 площади

полярных регионов закрыто облачностью, информация в видимом ИК диапазонах по какому-нибудь району может быть получена в среднем 1 раз в три — пять суток, а в неблагоприятные периоды (конец лета — начало зимы) перерывы между наблюдениями могут достигать месяца и более.

В конце 70-х годов КБ «Южное» была начата разработка космического аппарата «Океан», предназначенного специально для океанографических, в том числе ледовых, наблюдений. ААНИИ с начала разработки входил в кооперацию исполнителей в части определения состава и оптимальных характеристик бортовой аппаратуры, разработки методов и технологии обработки ледовой информации, методического руководства сетью АППИ (Лаборатория аэрокосмических ледовых наблюдений) и разработки автоматических ледовых станций (Отдел разработки и исследований гидрометстанций). Разработка и изготовление этого спутника были закончены в 1982 г., а в сентябре 1983 г. осуществлен успешный запуск ИСЗ «Космос-1500».

Бортовой информационный комплекс спутника включал комплект радиофизической аппаратуры в составе:

- РЛС БО ($\lambda = 3,2$ см, ширина полосы обзора 450 км, разрешение $1,5 \times 2$ км);
- сканирующий СВЧ радиометр РМ 08 ($\lambda = 0,8$ см, ширина полосы обзора 550 км, разрешение 15 км);
- блок обработки сигналов;
- радиотелевизионный комплекс в составе многозональных сканирующих устройств малого (МСУ-М) и среднего разрешения (МСУ-С).

В состав бортовой аппаратуры также входила система сбора и передачи данных (приземные температура и атмосферное давление) от разработанных ААНИИ автоматических ледовых станций с определением их координат.

Система передачи информации со спутника обеспечивала как сброс всей информации, запомненной за виток, на основные центры (Москва, Новосибирск, Хабаровск), так и передачу в режиме НП информации радиофизического комплекса и МСУ-М на АППИ. При этом предусматривалась возможность формирования «совмещенного кадра» (РЛС БО, РМ-08, один из каналов МСУ-М).

Уже к моменту запуска ИСЗ «Океан» ААНИИ было подготовлено и разослано на АППИ предварительное методическое пособие, что позволило сразу же начать практическое использование информации для обеспечения судоходства. Так, в начале ноября 1983 г. информация ИСЗ «Океан» эффективно использовалась при выводе из вынужденного дрейфа группы судов в проливе Лонга, где в то время сложилась крайне тяжелая ледовая обстановка. В дальнейшем на основании подспутниковых калибровочных наблюдений, которые проводились с первых дней работы спутника, были разработаны и в 1985 г. изданы методические указания по приему, обработке и использованию получаемой информации [29],

которые успешно использовались широкой сетью арктических, антарктических и судовых АППИ.

Информационные свойства РЛС БО и РМ-08 и независимость их информации от освещенности и метеоусловий существенно расширили возможности спутниковых, ледовых наблюдений в частях определяемых характеристик ледяного покрова и повысили регулярность сбора информации. В результате спутники этого типа «Океан-01» стали одним из основных средств наблюдений за ледовой обстановкой в морях и океанах. К сожалению, ограниченный срок активного функционирования (6 месяцев) и нерегулярность запусков приводили к значительным перерывам в наблюдениях, а после распада союзных структур возможность использования спутников «Океан» стала вообще проблематичной и в настоящее время планируется разработка российских спутников с комплексом радиофизической аппаратуры.

В последние годы на отечественных и зарубежных спутниках («Алмаз», «ERS-1») стали устанавливаться радиолокационные станции с синтезированной апертурой (РСА), по своим тактико-техническим характеристикам аналогичные самолетным РЛС БО и РСА (разрешение 25—30 м, полоса обзора 80—100 км). Анализ экспериментальных съемок и материалов подспутниковых экспериментов, выполненный В. С. Лошиловым и В. Ю. Александровым подтвердил информационные свойства этих РСА и их сходство с самолетными РЛС. Однако узкая полоса обзора в сочетании с жесткой привязкой к трассе спутника, как правило, не позволяет выполнить съемку заданного района в нужное время, что ограничивает возможности оперативного использования этой информации. Поэтому в разработанных ААНИИ технических предложениях на перспективные космические средства ледовых наблюдений предусматривается разработка спутниковой РСА с двумя режимами работы: обзорным (полоса обзора 400—500 км, разрешение 200—300 м) и досмотровым (полоса обзора 100 км, разрешение 20—30 м).

Таким образом, к концу 70-х — началу 80-х годов были разработаны и внедрены в практику наблюдений за состоянием природной среды, в том числе ледяного покрова морей, искусственные спутники Земли с комплексами бортовой аппаратуры, включающими сканирующие радиометры видимого, ИК и СВЧ диапазонов РЛС БО; самолеты, оснащенные РЛС БО, трассовыми и сканирующими ИК и СВЧ радиометрами, радиолокационными измерителями толщины морского льда и современным навигационным оборудованием.

В результате выполненного анализа состава наблюдений, точности определения характеристик ледяного покрова дистанционными средствами и технических характеристик носителей было установлено, что при использовании комплекса дистанционных средств точность определения подавляющего большинства характеристик увеличивается по сравнению с визуальными наблюдениями примерно в 2 раза, появляется возможность регулярных

наблюдений за дрейфом льда и деформациями ледяного покрова. При этом обеспечивается возможность регулярных круглогодичных наблюдений вне зависимости от освещенности и метеословий.

Все это в сочетании с разработанными к тому времени методами обработки и использования информации позволило осуществить переход от визуальных авиационных ледовых разведок к аэрокосмическим дистанционным наблюдениям [5]. Если в начальный период внедрения инструментальных методов ледовых наблюдений получаемые с их помощью данные использовались для дополнения карт визуальных ледовых разведок, к концу этого периода, наоборот, дистанционные методы стали основными, а визуальные наблюдения — дополнительными. К настоящему времени (начало 90-х годов) визуальные наблюдения выполняются только с вертолетов, базирующихся на ледоколах.

Необходимо отметить, что почти все дистанционные средства и соответствующие методы являются косвенными, позволяющими получить информацию не непосредственно о ледовых характеристиках, а об определяемых этими характеристиками альbedo, коэффициенте отраженного рассеяния, радиационной температуре и других радиофизических параметрах ледяных полей и образований. Эти параметры сравнительно просто могут быть рассчитаны, если известны характеристики ледяного покрова и гидрометеорологические условия наблюдений. При определении характеристик ледяного покрова по зарегистрированным сигналам, многофакторность их формирования приводит в большинстве случаев к неопределенности при решении этой обратной задачи дистанционного зондирования.

Поэтому для определения дистанционными средствами какой-либо характеристики ледяного покрова необходимо выбрать такой часток спектра электромагнитных волн, интенсивность собственного или отраженного излучения, в котором, с одной стороны, хорошо бы коррелировалась с градациями данной характеристики, с другой — мало или совсем не зависела бы от других характеристик и побочных факторов таких, как температура, ветер, влажность. В результате при использовании каждого датчика получается информация не о всех, а только об отдельных характеристиках, а необходимые для практики характеристики ледяного покрова с требующимся пространственным и временным разрешением могут быть определены только при условии использования комплекса дистанционных средств, работающих в различных участках спектра электромагнитных волн и размещенных на различных носителях.

Исследования информационных свойств и технических характеристик аэрокосмических средств дистанционного зондирования, выявление прямых и косвенных дешифровочных признаков морских льдов в различные сезоны для разработки методов дешифрирования и интерпретации данных неразрывно связаны и должны производиться совместно с исследованиями самого ледя-

ного покрова — изучением процессов его образования, деформации и разрушения, макро-, мезо- и микрорельефа поверхности, солёности и температурного режима, электрических параметров и т. д.

Изучение ледяного покрова как географического объекта велось на протяжении всех лет существования института В. Ю. Визе М. М. Сомовым, М. Е. Острекиным, В. Х. Буйницким, И. С. Пещанским, И. Г. Петровым, Н. В. Черепановым, В. В. Богородским, Ю. Л. Назинцевым, Г. А. Лебедевым, В. П. Гаврило, В. Н. Смирновым и многими другими сотрудниками института.

Сопровождение с начала 50-х годов контактных ледоисследовательских работ, выполнявшихся в точках или на ограниченных площадках и профилях, аэрофотографическими, радиолакационными и другими дистанционными съёмками позволяло, одновременно с калибровкой дистанционных средств, статистически оценить распределение изучаемых ледовых образований на прилегающих акваториях и переходить к описанию всего ледяного покрова.

С другой стороны, при проведении наблюдений на специальных калибровочных полигонах всегда получалась информация о режимных и статистических характеристиках ледяного покрова, которая пополняла общую базу знаний о морских льдах. Таким образом, ледяной покров исследовался одновременно и как природный ландшафт, и как объект дистанционного зондирования.

В результате этих работ были сравнительно хорошо изучены процессы образования, нарастания, деформации, таяния, снегонакопления, морфометрия верхней поверхности морских льдов, прочностные, теплофизические и электрические характеристики различных льдов. Однако оставались совершенно не изученными процессы, происходящие на нижней поверхности ледяных полей, рельеф, строение подводной части ледяных образований.

В 1956 г. В. С. Ложилов выполнил первые подледные съёмки с помощью двух малогабаритных фототеодолитов, помещённых в водонепроницаемый бокс [28]. Однако из-за недостаточной подледной освещённости и сложности дальнейшей стереофотограмметрической обработки снимков дальнейшего развития этот эксперимент не получил, и планомерные исследования подводной части ледяных образований были начаты только после создания в лаборатории группы подводных исследований.

Подводные наблюдения и исследования с использованием водолазной техники проводились в ААНИИ с 1969 г. группой под руководством В. Д. Грищенко в самых различных полярных экспедициях: на дрейфующих станциях «Северный полюс» (№№ 18, 19, 22, 23, 29, 31), на точках в Северном Ледовитом океане при посадках самолетов и вертолетов на морские льды (в том числе на Северном географическом полюсе), с линейных ледоколов «Отто Шмидт», на припайных арктических льдах, в районе южно-полярных станций Молодежная, Мирный, Оазис Бангера и на первой антарктической дрейфующей русско-американской станции в море Уэдделла [28, 29].

Технические характеристики водолазного снаряжения и физиологические ограничения допускают погружения на глубину до 10—50 м. В пределах этого интервала глубин находится подводная часть всех видов морских льдов, за исключением килевых галей глубоко сидящих айсбергов и кромки шельфовых ледников большой толщины.

Нахождение водолаза-исследователя *«in situ»* позволяет наблюдать изучаемые объекты и явления с наибольшей детальностью и полнотой. При подводных наблюдениях широко применялись фото-, кино- и видеосъемки, что было особо необходимо при регистрации сложных форм рельефа нижней поверхности морских льдов, зачастую не поддающихся формализованному описанию.

В результате цикла названных наблюдений, носивших в основном ледово-океанологическую направленность, получены новые данные о макро- и микрорельефе подводной части морских льдов различных видов и его сезонной и межгодовой изменчивости, также о связи между параметрами надводного и подводного рельефа [14, 16]. Также выявлены закономерности таяния и настаивания морских льдов под водой при совокупном воздействии различных термодинамических факторов [15], исследованы особенности морфологии торосов на морских льдах в условиях открытого океана и на мелководье [14]. Получены интересные данные, расширяющие представление о тонкой термохалинной и динамической структуре приледного слоя моря [3, 22].

Кроме того, для обеспечения безопасности и эффективности подводных научно-исследовательских работ в условиях экстремально низких температур воздуха и воды, наличия сплошных ослепляющих льдов, отсутствия естественной освещенности и удаленности от береговых баз потребовалось решение ряда организационно-технических задач. К основным результатам деятельности группы подводных исследований ААНИИ в этой области можно отнести следующие:

- на основе натурных испытаний даны заключения о пригодности различных типов подводных дыхательных аппаратов (акванавтов) для применения в полярных водах [20];
- обобщен богатый опыт организации и технологии проведения водолазных спусков под лед в различных условиях, ориентирования водолаза подо льдом, его защиты от переохлаждения, действий в чрезвычайных условиях [19];
- отработана методика проведения подледных ледово-океанологических наблюдений [19];
- изобретен подводный дом оригинальной пневматической конструкции, устанавливаемый под нижней поверхностью морских льдов и служащий в качестве убежища водолаза и места наблюдения за льдом и приледным слоем моря [21];
- испытан в натурных условиях дрейфующей станции («Уэд-елл-1») подводный телеуправляемый необитаемый аппарат зерхмалого класса «Дельта» (разработка Николаевского кораб-

лестроительного института) и даны рекомендации о его доработке и методике использования в полярных водах.

Обязательность использования для полной характеристики ледяного покрова большого числа измерительных комплексов и дистанционных датчиков, информация которых дополняется данными контактных измерений и используется для последующего анализа, включающего расчеты и прогнозы, приводит к необходимости объединения всех средств наблюдения и центров обработки различного уровня в единую систему.

К середине 70-х годов стало очевидным, что оперативное получение ледовой и гидрометеорологической информации по всей Арктике, ее оптимальное комплексирование, использование современных технологий автоматизированной обработки и анализа с учетом постоянно меняющихся требований различных пользователей осуществимо лишь на основе системного подхода при решении названных задач [10].

Разработанная в ААНИИ концепция автоматизированной ледово-информационной системы для Арктики (АЛИСА) предусматривала объединение и согласованное функционирование в интересах пользователей всех основных подсистем: получения сбора информации; обработки, анализа, расчетов и прогнозов а также передачи и распространения. По структуре, функциям, составу технических средств, характеру зоны обслуживания, особенностям информационного процесса система АЛИСА относится к классу сложных, открытых, пространственно распределенных автоматизированных измерительно-информационных систем.

С декабря 1989 г. первая очередь системы АЛИСА и в том числе созданный в ААНИИ Центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ) функционируют в режиме промышленной эксплуатации [5]. За прошедшее время система АЛИСА претерпела ряд изменений, носящих как позитивный, так и негативный характер.

В последние годы усилиями стран — участниц Международной программы арктических буев (МПАБ) в бассейне Северного Ледовитого океана на постоянной основе поддерживается функционирование сети арктических буев, число которых достигает 30 и более. Метеоданные этих буев, поступающие в ЦЛГМИ по линиям автоматической оперативной связи, способствуют построению более достоверного приземного барического поля в Арктике. Фактические векторы дрейфа буев используются при составлении комплексных ледовых карт, а также в ледовых расчетах и прогнозах. ААНИИ, являющийся оператором МПАБ, в последние годы участвует в расстановке арктических буев (с ледоколов в совместных российско-американских воздушных экспедициях). Одновременно ведутся работы по созданию арктических буев отечественной конструкции, от которых будет обеспечиваться сбор информации космической системой «Курс», аналогичной системой «Аргос», обслуживающей буи зарубежного производства.

На АППИ ЦЛГМИ внедрена технология оцифровки и машинной обработки спутниковой информации, принимаемой по каналу 137 МГц от различных ИСЗ («Метеор», «Океан», «НОАА»), заканчивается монтаж станции приема спутниковой информации среднего разрешения по каналу 1,7 ГГц, что позволит резко повысить информативность данных ИСЗ «НОАА».

Устаревшая вычислительная техника ЦЛГМИ (ЭВМ ЕС-1046, КТС ДИСК фирмы «Роботрон») заменена парком современных персональных компьютеров. Ядром вычислительного центра, объединенного в настоящее время в одно подразделение с узлом связи, являются три рабочие станции, одна из которых является графической. Приобретено сетевое оборудование для создания институтской локальной вычислительной сети, имеется проект ее создания, ведутся подготовительные работы по ее монтажу.

Возможности все более широко используемых в международной и отечественной практике геоинформационных систем в полной мере соответствуют решению задач системы АЛИСА в части поддержания многочисленных баз данных на картографической основе, обеспечения расчетов гидрометеполей и обеспечения других работ географического содержания. В настоящее время в ААНИИ приобретена и внедряется современная ГИС *ARC/INFO*.

Затруднения с получением гидрометеорологических данных по Арктике связаны в настоящее время с вынужденным закрытием большого числа (к весне 1994 г. было закрыто до 25 %) полярных станций. В связи с этим в ААНИИ ведется разработка автоматической гидрометеорологической станции на базе ледового буя, но с расширенным набором датчиков для установки на арктических островах и побережье.

Прекращение выполнения инструментальных ледовых разведок в Северном Ледовитом океане и арктических морях на самолетах ИЛ-24 с РЛС БО «Нить» (в связи с резко возросшей стоимостью аренды воздушных судов и отсутствием средств у Росгидромета) крайне негативно сказалось на функционировании ЦЛГМИ и других территориальных центров обработки ледовой информации, так как разработанная технология составления комплексных ледовых карт предусматривала совместное использование спутниковой и более детальной авиационной информации. Кроме того, в некоторых моделях расчета динамических характеристик морских льдов использовалась в качестве исходной информация инструментальных авиаразведок. Прогнозировать восстановление проведения ледовых авиаразведок в прежних объемах не представляется обоснованным, поэтому все задачи регулярного картирования морских льдов в Северном Ледовитом океане следует в будущем связывать с возможностями космических средств ледовых наблюдений.

Программа совершенствования системы АЛИСА предусматривает внедрение новых технических средств сбора и обработки информации, создание и поддержание оперативных и режимных банков гидрометеорологических данных, перевод системы на геоин-

формационные технологии. Целью этих работ является повышение оперативности, достоверности и качества предоставляемой потребителям гидрометеорологической информации.

В заключение следует еще раз отметить взаимозависимость между условно выделенными в настоящей статье исследованиями ледяного покрова и морских льдов и развитием системы оперативного и климатического мониторинга. Более глубокие знания о свойствах морских льдов способствуют более достоверной интерпретации данных мониторинговой системы. С другой стороны, все более совершенствующаяся система наблюдений сама становится инструментом изучения льда и ледяного покрова.

Поступила 5.12.94 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авгеевич В. И. Применение аэрофотосъемки для изучения ледового режима. — М. — Л.: Изд. Главсевморпути, 1951. — 119 с.
2. Антонов В. С., Бушуев А. В., Налимов Ю. В. Обнаружение глубоководных борозд через бары арктических рек//Тр. ААНИИ. — 1970. Т. 390. — С. 83—91.
3. Беляков Л. Н., Грищенко В. Д. Течения, вызываемые дрейфом ледяных полей. Вертикальная структура и динамика приледного слоя океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — С. 91—97.
4. Бушуев А. В. Круговой плано-перспективный аэрофотоаппарат/Авт. свид. № 134980//Бюллетень изобретений. — 1961. — № 1. — С. 123—125.
5. Бушуев А. В. Развитие и совершенствование системы и методов ледовых наблюдений//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1991. — Вып. 66. — С. 170—183.
6. Бушуев А. В., Лошилов В. С. Точность авианаблюдений и картирования морских льдов//Тр. ААНИИ. — 1967. — Т. 257. — С. 84—92.
7. Бушуев А. В., Волков Н. А., Лошилов В. С. Атлас ледовых образований. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 139 с.
8. Бушуев А. В., Лазарев Э. И., Финкельштейн М. И. Некоторые результаты использования радиолокационного видеоимпульсного измерителя толщины морского льда для ледовой разведки//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 343. — С. 114—121.
9. Бушуев А. В., Волков Н. А., Гудкович З. М., Лошилов В. С. Результаты экспедиционных исследований дрейфа и динамики ледяного покрова Арктического бассейна весной 1961 г.//Тр. ААНИИ. — 1967. — Т. 257. — С. 25—44.
10. Бушуев А. В., Волков Н. А., Гудкович З. М., Новиков Ю. Р., Прокофьев В. А. Автоматизированная ледово-информационная система для Арктики (АЛИСА)//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 343. — С. 6—16.
11. Вейденбах В. А. Процесс диффузного переноса фотографического изображения//Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии АН СССР. — 1958. — Т. 3. — № 4. — С. 306—310.
12. Горбунов Ю. А., Лосев С. М. К оценке пространственной изменчивости дрейфа льда в арктических морях летом//Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 364. — С. 5—13.
13. Грищенко В. Д. Морфометрические характеристики гряд торосов на льдах Арктического бассейна//Тр. ААНИИ. — 1988. — Т. 401. — С. 46—55.
14. Грищенко В. Д. Морфология поверхностей льдов Арктического бассейна/Биология Центрального Арктического бассейна. — М.: Наука, 1980. — С. 33—55.

15. Грищенко В. Д. Некоторые особенности таяния и нарастания подводной части льдов в Арктическом бассейне//Тр. ААНИИ. — 1981. — Т. 372. — С. 123—128.
16. Грищенко В. Д. О микрорельефе нижней поверхности морских дрейфующих льдов//Тр. ААНИИ. — 1976. — Т. 320. — С. 208—213.
17. Грищенко В. Д. Опыт исследования подводной части дрейфующих льдов//Тр. ААНИИ. — 1973. — Т. 307. — С. 164—168.
18. Грищенко В. Д. Опыт проведения подледных наблюдений с борта нил «Отто Шмидт»//Тр. ААНИИ. — 1985. — Т. 400. — С. 124—128.
19. Грищенко В. Д. Руководство по организации и методике проведения подводных научно-исследовательских работ в Арктике. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 79 с.
20. Грищенко В. Д. Эксплуатация аквалангов при низких температурах//Спортсмен-подводник. — 1980. — Вып. 61. — С. 33—36.
21. Грищенко В. Д., Кадачигов Г. А. Подводный дом. Авт. свид. № 974675 по заявке № 3288185/27—11 от 08.05.81 г.
22. Грищенко В. Д., Кочетов С. В. Микроструктура вертикального распределения температуры и солености в приледном слое/Вертикальная структура и динамика подледного слоя океана. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — С. 61—69.
23. Исследование ледяного покрова с помощью радиолокационных станций бокового обзора (РЛС БО). Методическое пособие/А. В. Бушуев, Ю. Д. Быенков, В. С. Лошилов, А. Д. Масанов. — Л.: Гидрометеоздат, 1983. — 120 с.
24. Исследование распределения и динамики морских льдов по телевизионным снимкам ИСЗ «Метеор». Временная инструкция/А. В. Бушуев, Ю. Д. Быенков. — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — 132 с.
25. Ледовая авиационная разведка/Д. Б. Карелин, Н. А. Волков, В. В. Жадзинский, П. А. Гордиенко. — М.: Водный транспорт, 1946. — 135 с.
26. Лосев С. М., Горбунов Ю. А. К методике определения дрейфа льдов по данным аэрофотосъемки//Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 364. — С. 133—144.
27. Лосев С. М., Горбунов Ю. А. Об исследовании некоторых морфометрических характеристик ледяного покрова в арктических морях в летний период//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 343. — С. 92—103.
28. Лошилов В. С. Метод подводной стереосъемки в океанографических исследованиях//Проблемы Арктики. — 1957. — Вып. 2. — С. 205—218.
29. Методические указания по вопросам приема, обработки и использования спутниковой ледовой информации. Определение характеристик ледяного покрова по радиолокационным снимкам ИСЗ «Космос-1500». Вып. 1. — Л.: Репрогр. ААНИИ, 1985. — 75 с.
30. Наставление по применению самолетных радиолокационных станций в ледовой авиаразведке/И. Д. Демин, В. И. Аккуратов, А. А. Горбачев. — Полярная авиация ГУСМП. — М.: 1958. — 65 с.
31. Новое средство получения ледовой информации/В. М. Глушков, С. Е. Конгоров, В. С. Лошилов, С. С. Никольский, К. Н. Чубаков, М. И. Шевелев//Морской флот. — 1970. — № 9. — С. 37—38.
32. Номенклатура морских льдов, условные обозначения для ледовых карт/А. В. Бушуев, Н. А. Волков. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 87 с.
33. Оценка площади воды на льду по материалам аэрофотосъемки/А. Я. Бушуев, Ю. А. Горбунов, З. М. Гудкович, С. М. Лосев. «ПОЛЭКС — Север-76» (научные результаты). — Л.: Гидрометеоздат, 1978. — С. 92—106.
34. Руководство по производству ледовой авиаразведки. — Л.: Гидрометеоздат, 1981. — 240 с.
35. Условные обозначения для ледовых карт/А. В. Бушуев, Н. А. Волков, К. М. Кумачев. — Л.: Репрогр. ААНИИ, 1971. — 30 с.
36. Финкельштейн М. И., Глушнев В. Г. Устройство для измерения толщины морского льда. — Авт. свид. № 353204//Бюллетень изобретений. — 1972. — № 29. — С. 111—112.
37. Финкельштейн М. И., Лазарев Э. И. Радиолокационный видеоимпульсный измеритель толщины морского льда как новое перспективное средство ледовой разведки//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 343. — С. 104—113.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДА, СНЕГА И ВОДНЫХ МАСС ПОЛЯРНЫХ РАЙОНОВ

Одним из важных факторов, определивших прогресс в развитии наук о Земле, и в частности, ее полярных регионов, явился переход от географического описания явлений и объектов природы к их физико-техническим исследованиям на основе достижений радиопизики, электроники, радиотехники, гидроакустики и сейсмоакустики.

Применительно к решению основных проблем изучения таких сложных геофизических объектов, какими являются ледяной покров и океан, этому развитию в немалой степени способствовали и исследования, выполненные в отделе Физики льда и океана ААНИИ за почти 40-летний период своей работы. Последние были связаны с изучением широкого круга физических свойств снежно-ледяных образований, акустики и оптики льда и океана; разработкой и использованием новых методов и технических средств активного и пассивного дистанционного зондирования ледяных покровов; использованием лазерной техники применительно к изучению движения глетчеров и динамики морского ледяного покрова; разработкой методов контроля состояния окружающей среды и активной борьбы со льдами.

Условно эти исследования можно разделить на три взаимосвязанные между собой направления:

- изучение физических характеристик льда, снега и водных масс;
- разработка технических средств и методов изучения геофизических объектов;
- дешифрирование информации о характеристиках исследуемых объектов.

Указанные направления исследований определились как задачами развития фундаментальной науки, так и требованиями промышленного освоения шельфовой зоны арктических морей, круглогодичной навигации на трассах Северного морского пути, различными инженерными работами на припайных и дрейфующих льдах.

Пространственно-временная изменчивость строения и физикомеханических характеристик морского ледяного покрова. К проблемным вопросам исследований физики морского льда следует отнести вопросы формирования кристаллического строения ледяного покрова под влиянием гидрометеорологических факторов. На основе материалов натурных и лабораторных исследований, выполненных в последние годы Н. В. Черепановым, В. И. Федотовым и их сотрудниками, выявлена роль основных гидрометеорологических элементов в формировании различных генетических типов льда, установлен характер взаимосвязи и процессов, определяю-

щих пространственную неоднородность и сезонную изменчивость строения ледяного покрова [83, 84]. В частности, показано, что арктические и антарктические льды значительно различаются по условиям формирования и разрушения, по своему строению и физическим свойствам. В условиях Арктики преобладающим является конгелационное ледообразование (около 60 % всех льдов), а в условиях Антарктики — инфильтрационное (около 70 % всех льдов).

Эти и другие работы отдела данного направления исследований явились основой для разработки современной структурно-генетической классификации льдов природных водоемов, позволяющих подойти к районированию ледяного покрова на морских акваториях по преобладающему типу льдов, их кристаллической структуре и прочностным характеристикам и, в конечном счете, выполнить паспортизацию льдов.

Другой не менее важной задачей, получившей свое разрешение в настоящее время, является изучение сезонной изменчивости строения ледяного покрова и его механических характеристик. Результаты обобщений (по опубликованным данным) и расчетов физико-механических характеристик для основных возрастных стадий морского льда (от $h = 10$ см до $h = 300$ см) и различных сезонов наблюдений представлены в работе [57]. Полученные данные свидетельствуют о необходимости учета пространственно-временной изменчивости строения и физических свойств льда в решении целого ряда научных и практических задач ледоведения и ледотехники. В частности, при составлении СНИПов для проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений на шельфе замерзающих акваторий, при осуществлении транспортных и погрузочно-разгрузочных работ на припаях, при плавлении во льдах и т. п.

На решение этих задач направлен и разработанный под руководством В. П. Гаврило метод расчета характеристик прочности, пружности и несущей способности морского ледяного покрова заданной (или измеренной дистанционно) толщины по априорно известным (или измеренным на момент расчета) температуре воздуха, температуре и солёности приледного слоя воды, температуре верхней поверхности ледяного покрова и толщине снежного покрова [56]. Рассчитываемая информация является прогностической в зависимости от характера используемых гидрометданных (средних многолетних или измеряемых в определенный момент времени), может быть либо режимно-климатической, либо оперативной. В первом случае она может использоваться на этапе планирования в виде карт и справочных пособий, во втором — в виде оперативных сводок (суточных, декадных, месячных).

Принципиальное значение для разработки поляризационных методов диагностики состояния ледяного покрова и понимания изменчивости механических характеристик льда, при сходных условиях его существования, имеют выполненные Н. В. Черепановым и М. В. Страховым исследования пространственной упоря-

доченности в строении ледяного покрова [77, 83]. Эти работы показали, что ледяной покров арктических морей на площадях до нескольких тысяч квадратных километров имеет четко выраженную пространственную упорядоченность в оптической ориентировке кристаллов льда, связанную с влиянием поверхностных течений водных масс на рост кристаллов в процессе формирования ледяного покрова и обуславливающих значительную пространственную анизотропию его механических и электрофизических свойств [87].

В плане совершенствования методов изучения упругих и прочностных характеристик ледяного покрова существенное развитие в работах отдела получили динамические методы, основанные на связи скорости распространения и затухании акустических колебаний, распространяющихся в ледяном покрове, с его физическими характеристиками. Эти исследования, начатые в ААНИИ работами В. В. Богородского [4], были с успехом продолжены В. П. Гаврило, А. В. Гусевым, В. А. Никитиным [9, 50, 52]. Они позволили установить связь между механическими и акустическими характеристиками льда в процессе его деформирования и для точного разрушения и обосновать применение акустико-эмиссионного метода для качественной оценки наличия напряжений, превышающих предел длительной ползучести, в образцах льда и ледяных массивах, испытывающих воздействие динамических или статических нагрузок.

В последние годы при проведении наших исследований деформационных характеристик ледяного покрова все большее значение придавалось их получению инструментальными методами определяющими непосредственно силы сжатия, а также поиск прогностических элементов и признаков начинающегося сжатия основанных на исследовании физико-механических процессов в ледяном покрове при воздействии на него ветра, изменений температуры и атмосферного давления, подледных течений, поверхностных и внутренних волн. Эти исследования, выполненные в разные годы В. В. Богородским, В. П. Гаврило, В. Н. Смирновым, А. И. Шушлебиным, нашли свое отражение в работах [32, 34, 50, 75, 76, 82]. Они свидетельствуют, что при торошении ледяных полей в окружающую среду излучаются разнообразные волны (продольные, поперечные, изгибные, гравитационные, изгибно-гравитационные, гидроакустические и др.). Проведенные исследования позволили усовершенствовать инструментальный метод определения ледовых нагрузок и разработать метод диагностики процессов сжатия морских льдов с передачей данных через ИСЗ.

Акустические методы исследования ледяного покрова и динамики его движения. Как уже отмечалось выше, характеристики акустического поля в океане, покрытом льдом, в определенных условиях несут в себе информацию о процессах в ледяном покрове и на его границах и могут служить индикатором изменения его напряженного состояния под воздействием атмосферных процессов и неравномерности дрейфа льда. Большой объем теоретических

экспериментальных исследований, выполненных В. П. Гаврило, А. В. Гусевым, Г. А. Лебедевым, А. П. Поляковым, И. К. Поповым, позволил развить ряд новых направлений изучения акустики льда и океана и разработать на их основе новые методы изучения ледовых образований, динамических и термических процессов в ледяном покрове, его дрейфе и изменении толщины во времени.

Этому способствовали исследования физики звукообразования при деформировании и разрушении льда [31, 53], при трении льда о лед [30], взаимодействии со льдом метелевых потоков [64, 65, 90] и термическом растрескивании поверхности ледяного покрова [44].

В качестве иллюстрации возможностей использования акустических методов для дистанционного исследования состояния ледяного покрова сошлемся на опыт осуществления контроля за процессом вскрытия рек в период ледохода по методике, разработанной в отделе физики льда и океана [7] и основанный на анализе спектрально-энергетической структуры подледных шумов, характерных для различных фаз разрушения ледяных покровов.

Дальнейшее развитие указанного «пассивного» акустического метода исследования крупномасштабных деформаций ледяного покрова нашло свое воплощение в разработанном в середине 60-х годов и экспериментально проверенном в Арктическом бассейне радиогидроакустическом методе, позволяющем количественно оценивать мезомасштабные (в радиусе нескольких десятков километров) характеристики сжатий и разряжений ледяного покрова с использованием акустических сигналов звукового диапазона частот [33]. Возможность уверенного приема таких сигналов на больших расстояниях обоснована теоретически и подтверждена экспериментами.

В связи с исследованиями акустических сигналов, возникающих при деформациях ледяного покрова под воздействием гидрометеорологических факторов, весьма актуальной стала задача определения короткопериодной изменчивости скорости дрейфа ледяного покрова. До недавнего времени эти данные получались в основном путем последовательных астрономических или спутниковых определений местоположения дрейфующей льдины с дискретностью менее 1—3 ч, что не обеспечивало получение требуемых текущих изменений во времени векторов скорости движения исследуемых ледяных полей. Практическое решение этой задачи также возможно с использованием различных акустических методов, разработанных в отделе. Один из них, описанный в работе [63], основан на использовании информации об изменении фазы акустического сигнала, распространяющегося в водной среде от излучателя к разнесенным на фиксированные расстояния приемникам. Расчеты показывают, что при реализации такой системы возможно измерение скоростей дрейфа, начиная с 1 см/с с погрешностью определения направления вектора скорости не более 2°.

Другой акустический метод, который может быть использован для измерения абсолютной скорости перемещения ледяного покро-

ва относительно дна, основан на хорошо известном в физике эффекте Доплера и описан в работе [59].

Говоря о возможностях акустических методов для исследования состояния ледяного покрова, разработанных в отделе физики льда и океана, нельзя не отметить метод изучения скорости нарастания (или таяния) ледяного покрова, позволяющий дистанционно получать информацию об указанных процессах одновременно на больших акваториях или участках замерзающих рек [7]. Метод предусматривает использование принципа работы эхолота, излучатель которого направлен вверх к нижней поверхности льда и жестко закреплен на штанге, вмороженной в лед. При этом контроль расстояния до нижней поверхности ледяного покрова может осуществляться с точностью до десятых долей миллиметра со сколь угодно малой дискретностью измерений во времени. Полученные при этом данные могут быть переданы по радиоканалу на пункт сбора и анализа информации.

Следует отметить, что этот метод, впервые внедренный нашими исследователями в практику наблюдений за процессами метаморфизма ледяного покрова в Арктических условиях, был позднее с успехом применен гляциологами Института географии АН СССР в Антарктиде для исследований нижней поверхности шельфового ледника Росса. В целом достаточно подробное описание упомянутых выше акустических методов исследования ледяного покрова представлено в работе [48].

Исследования электрических свойств пресноводного и морского льда. Для решения ряда важнейших практических задач ледоведения принципиальное значение имеют данные об электрических свойствах льда. Это в первую очередь относится к исследованиям ледяного покрова дистанционными радиофизическими методами активными и пассивными; изучению распространения радиоволн в полярных районах, а также в системе атмосфера — лед — вода; изучению льда как диэлектрического материала в интересах фундаментальных отраслей науки таких, как молекулярная физика и физика диэлектриков.

Началом углубленных исследований электрических свойств льда в нашей стране можно считать середину 50-х годов, когда В. В. Богородским и В. Н. Рудаковым были заложены теоретические и методические основы радиолокации ледяных покровов [18].

Начиная с 60-х годов в связи с бурным развитием радиоэлектроники и возросшими потребностями в знаниях свойств подстилающих поверхностей, исследования электрических параметров льда приобрели большой размах и стали носить целенаправленный характер. Среди исследователей этого направления работ, развиваемых в отделе физики льда и океана, необходимо выделить Г. П. Хохлова, В. В. Пасынкова, Г. В. Трепова, В. П. Трипольникова. Именно их исследования, благодаря широкой постановке экспериментов в лабораториях, на дрейфующих станциях и научно-исследовательских судах, позволили получить и обобщить

сновные электрические характеристики шельфовых и материковых Антарктических ледников, а также морского льда арктических морей и центрального Арктического бассейна [23, 26, 36, 39, 73, 1, 91]. К ним относятся диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь, коэффициенты поглощения и отражения льда различного строения. Учитывая, что в диапазоне частот, представляющих практический интерес (от 100 Гц до 75 ГГц), проводимость морского льда и его диэлектрическая проницаемость изменяется сотни тысяч раз, исследования электрических характеристик льда вырастают в существенную научно-техническую проблему как с точки зрения разработки разнообразных технических средств измерений, так и методик исследований, используемых для различных частотных диапазонов.

В результате указанных работ выявлены зависимости электрических параметров от частоты, температуры, физико-химических свойств льда, его возраста и структуры. Разработана модель морского льда как трехкомпонентной анизотропной среды, взаимодействующей с электромагнитным излучением, и построены теоретические зависимости ослабления сигналов в пластине льда для различных длин волн и температуры среды. При этом учет поляризации зондирующего излучения позволил оценить анизотропию электрических параметров морского льда, обусловливаемую структурной упорядоченностью роста кристаллов льда в процессе ледообразования.

Получены региональные различия электрических характеристик льда и проведены расчеты их сезонной изменчивости на основе задания температурно-солёностных зависимостей. Результаты этих исследований нашли свое практическое применение для интерпретации данных радиолокационного зондирования и радиотехнических съёмок различных ледяных покровов, в частности, для дешифрирования снимков лоатора бокового обзора, получаемых с помощью спутника «Космос-1500». При этом антарктические исследования, выполненные для всех существующих зон ледообразования, позволили оценить толщины излучающих слоев ледяных покровов применительно к СВЧ радиометрии и выявить существенную пространственную неоднородность электрических свойств верхних слоев шельфовых ледников, связанную с разнообразием структуры и строения льда и объясняющих наличие контрастных пятен в изображениях ледяного покрова в СВЧ диапазоне, получаемых с использованием аппаратуры, установленной на ИСЗ.

Радиолокационные исследования геофизических сред. Теоретические основы возможностей изучения толщины ледников и рельефа подледной поверхности с использованием метода радиолокационного зондирования впервые были представлены в работе В. Богородского и В. Н. Рудакова в 1960 г. [18]. Метод был новован на свойстве электромагнитных волн метрового диапазона распространяться в леднике и отражаться от его границ и неоднородностей в нем. Прошло всего 4 года, и блестящее подтверждение

этой теории было получено в районе Антарктической станции Мирный, когда молодые исследователи В. А. Тюльпин и И. И. Пронин впервые выполнили радиолокационное зондирование ледникового купола [40]. Этот эксперимент положил начало широкому использованию радиолокационного метода для изучения ледяных щитов, горных ледников, ледяных покровов рек, озер и арктических морей.

В последующие годы усилиями Б. А. Федорова, Г. В. Трепова, В. И. Боярского, А. Н. Шереметьева была разработана аппаратура и продолжены исследования особенностей распространения поглощения электромагнитных волн в ледниках, их диэлектрической проницаемости и электропроводности, эффективной температуры ледников и поляризации радиосигналов, распространяющихся в них [5, 25].

В 1968—1969 гг. были начаты радиолокационные измерения глетчеров архипелага Северной Земли [24, 80].

С санно-гусеничных поездов и самолетов было выполнено радиолокационное картографирование ледников Антарктиды Арктики на площади около 2 млн км², при этом общая протяженность маршрутов съемки составила около 70 тыс. км.

Радиозондирование позволило осуществить интроскопию ледников: определить их слоистость, обнаружить трещины, скрытые снежными мостами в верхней части ледника, в его толще и у коренного ложа; измерить эффективную температуру массы ледника и его толщину [78]. Эти направления радиогляциологии позволили разработать метод и алгоритм расчета запаса воды в ледниках [29], что является одной из важнейших задач современной гидрологии.

В 1976 г. была разработана методика полевых измерений скорости движения ледника по смещению радиолокационного изображения ложа ледника относительно поверхности, позволяющая за два измерения с интервалом от 2 до 20 суток получать скорость движения ледника с точностью около 10 % [43].

Очень интересным фактом, связанным с радиолокационным исследованием ледников, явилось обнаружение тензорных свойств ледников, приводящих к деполяризации электромагнитных волн, распространяющихся в них [41]. Эти исследования чрезвычайно важны и представляют потенциальную возможность для изучения характеристик ледников, так как деполяризация волн может быть связана с нарушением геометрии слоев, с неоднородностью свойств по глубине или их пространственной анизотропией, а также механическими напряжениями во льду.

Расширение наших знаний о физических свойствах льда и граничащих с ним сред, а также систематическое совершенствование технических средств обусловили обнаружение в Антарктиде мощным ледяным покровом больших пространств незамерзшей воды, которые были названы подледными или подледниковыми озерами. В частности, А. Н. Шереметьевым подобное озеро было

обнаружено в центре Антарктиды на глубине 3560 м, причем площадь озера приблизительно равна 30 км², а глубина 500 м [27, 43].

Как дальнейшее развитие радиолокационных средств зондирования можно рассматривать разработку и использование для радионитроскопии снежно-фирновых покровов Антарктиды наносонидных радаров, обеспечивающих пространственное разрешение исследуемых объектов не хуже 10 см. Эти исследования, выполненные в рамках Советских антарктических экспедиций 1982—1987 гг. на трассе протяженностью 960 км от обсерватории Мирный до станции Комсомольской, позволили произвести выделение жегодных слоев снегонакопления (с 1978 г. по 1986 г.) [47], что открывает перспективы решения задач мониторинга снежного покрова Антарктиды как одной из составляющих, определяющих глобальные изменения климата Земли.

В перспективе эти исследования могут быть направлены на изучение толщины снежного покрова других районов, что чрезвычайно важно для оперативной оценки потенциального влагозапаса, о многом обуславливающего развитие сельского хозяйства обширных районов Земли. Правда, для решения этих практических задач требуется выполнить комплекс исследований характеристик отражения и рассеяния радиосигналов различными подстилающими и поверхностями (почва, трава, каменистые поверхности и т. п.). Теоретические и экспериментальные исследования по распространению электромагнитных волн в ледниках, методические приемы и технология радиолокационных измерений толщин шельфовых и вывальных ледников обеспечили успешное развитие нового направления — радиозондирования морских льдов и других альнопоглощающих слоистых сред, таких как вечная мерзлота, орф, пески и др. [3, 19, 20, 22, 42].

Исследования в ААНИИ, направленные на осуществление радиолокационного зондирования морских льдов с целью определения их толщины, были начаты в начале 70-х годов с изучения электрических характеристик льда и исследования электромагнитных контрастов на границе лед — вода [21, 23]. Эти работы показали сильную зависимость скорости распространения и удельного ослабления электромагнитной волны от содержания жидкой азы в морском льду. При этом, в силу большого затухания радиолокационных сигналов в морском льду как слое сильно поглощающего неоднородного диэлектрика для зондирования льда толщиной 3 м требуется такой же энергетический потенциал РЛС, как для измерения толщин пресноводных ледников до 1,5 км.

Учитывая большое разнообразие структурно-генетических типов морских льдов и их морфометрических характеристик в зависимости от условий формирования и существования, задача дистанционного определения их толщины пока еще не решена на уровне «промышленного» применения, как это имеет место в радиозондировании антарктических ледников, хотя исследованием этого вопроса и разработкой технических средств зондирования помимо ААНИИ занимались и другие организации страны.

В частности, по результатам этих исследований первый промышленный образец самолетного лоатора был разработан Рижским институтом инженеров гражданской авиации. Однако данный лоатор, хорошо зарекомендовавший себя при съемке пресноводных водоемов, не обеспечивал требуемых точностных характеристик при изучении морских льдов различных возрастных градаций.

С целью увеличения разрешающей способности указанного лоатора и автоматизации радиолокационной съемки в отделе физики льда и океана совместно со Львовским политехническим институтом (ЛПИ) было разработано и испытано бортовое вычислительное устройство, позволяющее оптимизировать обработку сигналов непосредственно в процессе съемки, а также предложен новый вариант лоатора [14]. Но эти работы, законченные в 1988 г., не получили своего дальнейшего развития, хотя теоретическое обоснование и экспериментальная проверка метода были выполнены.

Говоря о технических средствах и методиках радиолокационного профилирования различных геофизических сред, разработанных в отделе в последние годы, необходимо упомянуть фазовый двухканальный радиолокационный измеритель толщины пресноводного льда рек и озер; айсберг — радар для исследования морфометрических характеристик айсбергов; георадар для зондирования мерзлых грунтов, определения мощности торфяных отложений, поиска подземных озер в пустынях и т. д. [19, 20].

Среди средств широкомасштабного изучения состояния ледяного покрова с ИСЗ все более прочное место в последние 10—15 лет занимают радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО) с реальной или синтезированной апертурой. Макет такого лоатора высокого разрешения разработан в отделе физики льда и океана и должен в ближайшее время пройти полевые испытания. Лоатор 3-сантиметрового диапазона обеспечивает полосу обзора на каждый борт порядка 15 км при средней высоте полета 1,5—2 км и имеет разрешение в ближней зоне 10—15 м (в дальней зоне 80—100 м). Несомненным достоинством данного лоатора является возможность построения изображений на мониторе ПЭВМ в реальном масштабе времени. Макет имеет встроенный калибратор для обеспечения сквозной калибровки приемного тракта и предусматривает возможность географической привязки изображений путем использования информации от спутниковой навигационной системы. Учитывая важность получения абсолютных значений УЭПР с использованием данного макета, в отделе разработана также методика и оборудование для его внешней калибровки в интервале углов скольжения от 10. до 40...

Использование лазеров для изучения динамики ледников и ледяных покровов морей. Изучение закономерностей движения ледников и ледяных покровов представляет важнейшую задачу геофизики и гляциологии. Ее решение необходимо не только для изучения их внутреннего состояния, взаимодействия с граничащими средами и сооружениями, но и при изучении накопления или ра

хода массы ледников, выбора оптимальных трасс и скоростей движения судов в дрейфующих льдах, изучения процессов разломов ледяных дрейфующих полей и шельфовых ледников.

Некоторые аспекты этих исследований были изложены выше: радиогидроакустический метод исследования динамики морских льдов и радиолокационный метод определения скорости движения ледника. Наряду с ними была разработана методика измерения скорости движения выводных ледников Антарктиды с использованием оптических квантовых генераторов и метода лазерной интерферометрии. Последний основан на эффекте Доплера, при котором по изменению частоты биений когерентного сигнала можно определить составляющую скорости движения отражателя, жестко связанного с поверхностью ледника [2].

Подобная методика интерферометрических измерений была с успехом использована и для оценки напряженно-деформированного состояния морского ледяного покрова при прохождении по нему волн сжатия и растяжения, связанных с термическими или динамическими процессами. Возможность применения такой системы для решения подобных задач впервые была рассмотрена в работе [32] и использована при исследованиях, выполненных на дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-23» в 1977 г. с помощью лазерного СВЧ светодальномера [55]. Эти эксперименты показали принципиальную возможность и перспективность использования светодальномерных лазерных систем для дистанционной диагностики состояния ледяного покрова, например, вблизи буровых платформ и терминалов, устанавливаемых на арктическом шельфе.

Применение инфракрасной техники для дистанционного определения состояния водно-ледовой поверхности полярных районов. Температура поверхности снежно-ледяного покрова Северного Ледовитого океана является важнейшей характеристикой процессов взаимодействия океана и атмосферы, так как именно она позволяет количественно оценивать потоки тепла и влаги на границе раздела. Эффективным дистанционным методом, позволяющим оценивать тепловые процессы, происходящие в водно-снежно-ледяных покровах полярных акваторий, является метод инфракрасной (ИК) радиометрии, базирующийся на приеме собственного теплового излучения исследуемого объекта.

Существенный вклад в решение этих задач внесли своими работами сотрудники отдела Е. А. Мартынова, А. И. Парамонов, В. А. Спицын, В. Н. Тарашкевич [12, 13, 15, 16, 66]. Выполненные ими исследования особенностей формирования собственного теплового излучения снежно-ледяного покрова арктических морей в инфракрасной области спектра применительно к решению важной практической задачи дистанционного определения возрастных градиентов льда показали возможность использования данных аэрогермосъемок для определения толщин льда до 1 м. Были определены оптимальные условия выполнения дистанционных измерений, оценено влияние процессов взаимодействия атмосферы и оке-

ана, физических параметров снежно-ледяного покрова. Результаты этих исследований использованы при составлении технического задания на разработку дистанционного измерителя толщины льда и позволили дать практические рекомендации по использованию ИК радиометров для дистанционного определения толщины морских льдов и по интерпретации результатов авиатермосъемки ледяных покровов.

Проведенные разработки способствовали организации регулярной авиационной термосъемки поверхности морей Арктики уже начиная с 1973 г. Протяженность трасс термозондирования только за период 1973—1976 гг. составила 300 000 км. Их данные используются штабами морских операций в прогнозировании сроков замерзания и таяния льда, необходимых для оптимизации условий плавания по Северному морскому пути. Кроме того, полученные материалы представляют большую научную ценность, так как позволяют проследить изменчивость тепловых процессов во времени и пространстве, исследовать аномалии тепловой структуры поверхности океана.

С целью интерпретации данных аэрокосмических измерений в ИК диапазоне для ледовой разведки нами была предложена методика [15], позволяющая сравнительно просто получать основные характеристики ледяного покрова полярных морей по данным наблюдений с метеорологических ИСЗ в окне прозрачности атмосферы 10—12 мкм и может применяться на всех судах и станциях, оснащенных соответствующей аппаратурой приема.

Основное содержание разработки новых подходов к автоматизированному дешифрированию данных дистанционного зондирования, развиваемых в последнее время, направлено на использование структурно-лингвистического подхода, основанного на формализации качественных смысловых знаний с помощью математического аппарата теории нечетких множеств. Дальнейшее развитие работ этого направления позволит разработать экспертную систему для дешифрирования информации, поступающей с существующих и перспективных ИСЗ.

Следует отметить результаты исследований методом ИК радиометрии поля температуры поверхностных водных масс, свободных от льда. В арктических морях это связано с оценкой состояния и изменчивости теплозапаса морской воды и возможностями прогнозирования периодов их замерзания. Оперативная аэротермосъемка поверхности арктических морей позволяет проследить за мелкомасштабными и среднемасштабными процессами энергетического обмена в океане и атмосфере, протекающими за различные промежутки времени. Большой объем информации о распределении тепла в морях и океанах дают площадные аэротермосъемки. В частности, результаты такой съемки, выполненной в 1974 г. в Чукотском море, позволили обнаружить аномальные пятна на поверхности, отличающиеся по цвету и температуре от окружающих водных масс и достигающие в поперечнике нескольких десятков километров. Энергетические характеристики таких

областей могут заинтересовать океанологов и биологов в связи с обособленностью в них растительного и животного мира. В заключение отметим, что ИК термометрирование водной поверхности океана позволяет получать информацию о локальном распределении и изменении микро- и макротечений [72].

Рассматривая возможности применения инфракрасной техники для дистанционного определения состояния водных поверхностей, необходимо упомянуть разработанные в отделе совместно с проблемной лабораторией радиационной электроники и вакуумной техники Ленинградского Электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина) методы обнаружения нефтяных загрязнений вод с использованием ИК радиометров (пассивный метод) и ИК лазеров (активный метод) [11].

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности использования указанных дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений вод, позволяющих проводить оперативно съемки больших акваторий. Последнее особенно важно, так как защита водных бассейнов от поступления в них нефтепродуктов и ликвидация последствий нефтяных загрязнений стала сейчас насущной для всех районов мира.

Определение физических и геометрических характеристик ледяных покровов с использованием СВЧ радиометрических методов. Одним из направлений развития радиофизических методов дистанционного зондирования ледяных покровов является пассивная радиополяриметрия, в основе которой лежит возможность регистрировать собственное радиотепловое излучение исследуемых поверхностей высокочувствительными радиометрическими приемниками. Диапазон используемых в радиополяриметрии длин волн соответствует СВЧ диапазону. Относительно слабое поглощение радиоволн этого диапазона в атмосфере позволяет использовать радиополяриметрические методы практически независимо от погодных условий.

Развитие СВЧ радиометрии в ААНИИ происходило по двум направлениям: изучению электрических свойств льда в сантиметровом диапазоне длин волн, осуществляемых Г. П. Хохловым [39, 73, 81], и исследованию вопросов физики собственного радиотеплового излучения ледниковых покровов и морских льдов, развиваемых работами В. В. Богородского, А. Н. Даровских и В. А. Спицына [10, 37, 38, 46, 60].

Первые эксперименты с помощью радиометрических средств СВЧ диапазона показали, что достаточно просто решаются задачи определения границ и сплошности льдов, а для некоторых разновидностей морских льдов находятся и зависимости радиояркости от температур от толщины льда. В частности, было обнаружено различие в коэффициентах излучения однолетних и многолетних дрейфующих льдов. В результате выполненных в 1977—1983 гг. в различных районах полигонных съемок, получены эмпирические распределения и доверительные интервалы радиояркости температур морского льда различных возрастных градаций для ве-

сенного и осеннего периодов в диапазоне длин волн 1,6 и 3,2 см. Проведенные исследования позволили также оценить влияние заснеженности льда на его излучательные характеристики. Было показано [37], что для реальных значений дисперсии толщины снега в пределах диаграммы направленности приемной антенны излучательные характеристики на длинах волн 0,8—3,2 см близки к средним значениям и не зависят при отрицательных температурах воздуха от толщины снега.

В настоящее время в основе СВЧ радиометрических методов исследования морских льдов лежат спектральные и поляризационные измерения их радиояркостной температуры. Эффективность использования многочастотных измерений для дистанционной диагностики многолетнего, двухлетнего и однолетнего толстого морского льда в весенний период оценена путем реализации на ЭВМ байесовского классификатора при одновременном измерении радиояркостных температур на длинах волн 1,6 и 3,2 см [60]. Полученные при этом результаты показали, что дисперсия радиояркостной температуры многолетнего льда в 2—3 раза выше, чем однолетнего, а повторяемость спектрограмм при определении пространственных спектров обследуемых ледяных полей свидетельствует о неслучайном характере выделяемых гармонических составляющих. Это свидетельствует о возможности разработки новых нетрадиционных методов дистанционной диагностики ледяных покровов. Существенное расширение возможностей решения задачи классификации зондируемых ледяных покровов может быть получено, когда измерения радиояркостной температуры на нескольких длинах волн дополняются измерениями, выполненными на различных поляризациях [89].

Выполненные к настоящему времени и продолжающиеся исследования пассивной радиополяриметрии морских льдов в перспективе помогут решению целого ряда обратных задач. В частности, с помощью радиополяриметрического анализа собственного микроволнового излучения морских льдов можно определить диэлектрическую проницаемость и проводимость льда (электрические характеристики); термодинамическую температуру, показатель преломления и коэффициент затухания (физические характеристики); относительный объем жидкой фазы и соленость (химические характеристики). Кроме того, измерения на различных поляризациях радиояркостную температуру морских льдов, находящихся в деформированном состоянии, дают возможность получения информации о характере изменения механических напряжений в ледяном покрове.

Прикладные исследования льда. Весьма важными для решения задач судоходства в арктических районах являются исследования отдела физики льда и океана, направленные на изучение механизмов контактного переохлаждения и активного шугообразования на локальных участках в акваториях со сложной термохалинной структурой. Решение этой задачи имеет принципиальное значение для объяснения механизмов образования «ледовой по-

душки» у корпуса судна, движущегося во льдах, и разработки рекомендаций и технических решений по борьбе с этим явлением.

Кроме того, изучение процессов переохлаждения и образование внутриводного льда имеет большое научное значение, так как они играют значительную роль в формировании структуры ледяного покрова как в Арктике, так и в Антарктике. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты ледовой съемки Карского моря весной 1969 г., указывающие, что в отдельных районах содержание внутриводного льда в однолетнем ледяном покрове достигало 70—80 %. Аналогичные результаты в 1980 г. были получены в море Уэдделла, где многолетний ледяной покров на 75 % состоял из внутриводного льда.

Исследования, выполненные Ю. Л. Назинцевым, К. П. Тышко, Ч. В. Черепановым [79, 85], позволили уточнить теплофизические характеристики различных механизмов переохлаждения воды и формирования льда, обуславливающего образование «ледовой подушки». Дана характеристика ледово-гидрологических условий при ее формировании; термохалинного строения поверхностных слоев воды и подледных слоев шуги; кристаллической структуры и гранулометрического состава льда в «подушке» и вокруг нее. Предложены лабораторные модели механизма формирования «подушки», которые в совокупности с натурными данными могут быть использованы для совершенствования существующих методов борьбы с облипанием судов.

Продолжение исследований этого направления предусматривает районирование ледяного покрова арктических морей с выделением зон, где возникновение облипания наиболее вероятно; выявление энергоактивных участков формирования «ледовой подушки» на корпусе ледокола и разработку рекомендаций по методам борьбы с облипанием.

Другое важное направление исследований, развиваемое в отделе в течение ряда лет и также направленное на обеспечение безопасного плавания судов и эксплуатацию инженерных сооружений в полярных районах, связано с изучением природы обледенения надводных объектов. Эти исследования, начатые в СССР в 1969 г., были обобщены в монографии В. В. Панова [70]. Однако актуальность проблемы защиты от обледенения судов и других объектов в море в последнее десятилетие существенно возросла. Возникла необходимость в научном гидрометеорологическом обеспечении круглогодичной навигации в Северном Ледовитом и Южном океанах. Потребовалась информация о законах обледенения морских буровых платформ, предназначенных для работы на шельфе в условиях замерзающих морей.

В результате исследований, выполненных В. В. Пановым и В. В. Барановым, была разработана генетическая классификация обледенения как процесса нарастания льда, учитывающая соленость воды, средний размер капель и скорость потока, температуру воды и воздуха, гидрофобность материала и состояние его поверхности [1]. Установлены зависимости теплофизических ха-

рактических и прочности льда, нарастающего на поверхности объектов, от физических параметров потока; разработана методика расчета массы льда, нарастающего на крупнотоннажных судах и морской платформе [61]. Оценено влияние на внутренние напряжения в ледовых покрытиях (обусловленные усадкой, отмечающейся при фазовом переходе воды) температуры ледообразования, толщины льда и поверхностных свойств подложки [62].

В целях гидрометеорологического обеспечения рыбного флота в Южном океане были выполнены исследования и построены карты повторяемости обледенения судов в этом регионе с учетом типа рыбного судна, природы обледенения и средней массовой скорости нарастания льда на судне [71]. Результаты указанных исследований внедрены в лодии и руководства по плаванию в Северном Ледовитом и Южном океанах; в пособие по шельфовой зоне арктических морей; в атлас опасных явлений в южной части Тихого, Атлантического и Индийского океанов; в методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов.

Принципиально новым направлением работ отдела, развиваемых в последние годы В. П. Гаврило, В. Е. Губановым, Г. А. Лебедевым, С. М. Ковалевым и К. К. Сухоруковым, является исследование методов ослабления ледяного покрова применительно к решению задач ледового плавания, защиты портовых и гидротехнических сооружений, борьбы с ледовыми затруднениями при эксплуатации плавучих и стационарных доков [33, 54, 88]. Одно из таких направлений связано с разработкой пассивного метода воздействия на ледяной покров с помощью радиационно-конвективных экранов, существенно уменьшающих эффективную энергию излучения поверхности льда и обеспечивающих снижение темпов нарастания ледяного покрова и изменение его механических характеристик.

В настоящее время разработаны теоретические модели различной степени сложности, описывающие теплообмен экранированного ледяного покрова и позволяющие осуществить расчет его толщины. На основании проведенных проработок предложены различные конструкции экранов, защищенные авторскими свидетельствами на изобретения, с высокими эксплуатационными характеристиками и надежностью в работе, подтвердившими свою эффективность в процессе длительных экспериментальных исследований. Можно надеяться, что разработанный метод найдет широкое использование при разработке мероприятий по управлению тепловым режимом локальных участков замерзающих водоемов, а также при защите портовых и гидротехнических сооружений от воздействия льда.

С рассмотренными выше исследованиями искусственного воздействия на ледяной покров тесным образом связаны работы отдела по электротермобурению льда, начатые в 1970 г. В. А. Моревым с разработкой методов и устройств для бурения скважин с отбором керна и без него [68, 69]. Созданные им электротермо-

буры широко использовались при бурении ледников в Арктике, Антарктиде и горных районах СССР. В самых труднодоступных ледниках было пробурено около 20 000 м скважин, а в 1978 г. электротермобур ЭТБ-3 был использован в экспедиции США на шельфовом леднике Росса и признан лучшим в мире для своего класса (глубина бурения 800—1000 м). Наряду с развитием работ по скважинному бурению ледников в последние 10 лет широко использовался для решения практических задач разработанный в отделе метод теплового резания сравнительно тонких пресноводных и морских ледяных покровов [67]. Внедрение в практику работы гидрологических и океанологических ледовых отрядов теплового ледореза ГТР-700 позволит существенно уменьшить трудоемкость работ, связанных с подготовкой лунок и майн во льду, требуемых для подледной постановки исследовательских приборов.

Гидрофизические исследования полярных областей. Наиболее существенным достижением современной океанологии, коренным образом изменившим представления об океане, явилось обнаружение повсеместного существования широкого спектра внутренних волн, синоптических вихрей и тонкоструктурного расслоения водных масс. Полярные районы Мирового океана в этом смысле также не являются исключением. Исследования этих явлений в Арктическом бассейне, практически одновременно с американскими специалистами, были начаты в конце 60-х годов учеными отдела физики льда и океана под руководством А. В. Гусева.

С помощью разработанной в отделе совместно с ЦНИИ Морфизприбор и Казанским авиационным институтом малоинерционной высокочувствительной аппаратуры, представляющей собой термокосы, термозонды и циклические измерители скорости звука, были получены принципиально новые сведения о мелко- и мезомасштабной пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей верхнего слоя Арктического бассейна [28, 35, 45].

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить наличие водных слоев толщиной от десятков сантиметров до 70 м с постоянной по вертикали температурой, разделенных прослойками толщиной до нескольких метров с градиентами температуры до $0,2^{\circ}\text{C}/\text{м}$. При этом были зарегистрированы колебания температуры в верхнем термоклине с периодами от единиц до десятков минут и амплитудами от десятых долей градуса до $1,2^{\circ}\text{C}$ (в западном районе Арктического бассейна).

Использование при проведении многомесячных наблюдений распределенной в пространстве (от 10 до 450 м) системы термодатчиков и осуществлением их опроса с дискретностью 20 с позволило обнаружить короткопериодные внутренние волны, распространяющиеся в океане в виде цугов. Их амплитуды имеют порядок 1—1,5 м для периодов волн 1—10 мин и 5—10 м для периодов 20—60 мин. Выполненные исследования свидетельствуют о реальности гипотезы о передаче тепла от глубинных слоев атланти-

ческих вод к поверхности через разрывы слоя пикноклина, эпизодически образующиеся при разрушении внутренних волн.

В последние годы под руководством Г. А. Лебедева в отделе стал развиваться метод акустической томографии для изучения эволюции гидрофизических полей океана на больших площадях в реальном масштабе времени. Метод основан на способности звуковых волн распространяться в океане на большие расстояния и высокой чувствительности параметров акустических сигналов (амплитуды, фазы, времени распространения) к различного рода неоднородностям среды, что позволяет создать эффективный инструмент для исследования внутренней структуры океана и осуществить его мониторинг.

К важным аспектам океанологических исследований, осуществляемых отделом в последние годы, следует отнести изучение пространственной и временной изменчивости гидрофизических полей в зонах дрейфа айсбергов. Ряд теоретических и экспериментальных исследований этого направления, выполненные Л. Г. Писаревской и И. К. Поповым [17, 74], позволяют рассматривать айсберги как один из существенных факторов, определяющих особенности структурообразования гидрофизических полей в полярных районах.

В настоящее время не существует законченной математической модели процесса воздействия дрейфующего айсберга на океанологические поля, которая позволяла бы дать прогноз этого эффекта в зависимости от исходной стратификации среды, размеров айсберга и скорости его движения. Именно поэтому только проведение натурных экспериментов может способствовать установлению адекватности предлагаемых на сегодняшний день схем формирования структуры гидрофизических полей в районе существования айсбергов с процессами, имеющими место в действительности, и дать корректную оценку масштабам воздействия и вызываемых ими зон аномалий значений температуры, солености и плотности водных масс вблизи айсбергов.

Для оценки возмущений, вносимых в поле плотности движущимся айсбергом, рассмотрена задача гидромеханики о движении твердого тела, пересекающего свободную границу и границу раздела жидкостей разной плотности. Показано, что при движении тела с определенной скоростью на границе раздела жидкостей генерируются внутренние волны, и при этом тело испытывает сопротивление своему движению, значительно превышающему сопротивление при движении в однородной среде [49], что может привести к изменению характеристик его движения и должно учитываться при разработке численных моделей дрейфа айсбергов.

Одним из важных направлений работ отдела в области исследования физики льда и океана является изучение оптических характеристик снега, льда и водных масс, влияющих на перенос излучения в системе атмосфера — лед — океан, определяющий характеристики подледного светового поля и связанные с ним про-

цессы: фотосинтез и люминесценцию, миграцию планктона и окраску биологических объектов.

В рамках исследований данного направления, развиваемых В. Я. Гайцхоки и Е. С. Володиным [6, 8, 58], разработана фотометрическая модель снежно-ледяного покрова, изучены особенности изменчивости оптических характеристик снега и льда в связи с характеристиками их строения, состава, анизотропии свойств и их пространственно-временной изменчивостью, позволяющие в первом приближении произвести оптическую классификацию естественных льдов.

Полученный в результате выполнения экспериментальных исследований большой массив данных коэффициентов диффузного пропускания и отражения, спектральных функций пропускания и индикатрисс рассеяния различных разновидностей льда как для естественного солнечного излучения, так и для узконаправленных коллимированных пучков света, может быть использован (и уже используется) для решения целого ряда прикладных задач, связанных с подледным видением, фотографией, оптической локацией и т.д. Существующая же связь оптических свойств вод с содержанием растворенных и взвешенных органических и минеральных веществ, их физической природой, формой, размерами и концентрацией частиц, позволяет говорить о возможностях оценки качества водных экосистем по результатам их изучения в видимой области спектра.

Разработки отдела в области изучения физических свойств ледяного покрова защищены 30 авторскими свидетельствами на изобретения, часть из которых уже внедрена в практику, а основные результаты работ обобщены в широко известных монографиях [3, 5, 7, 10, 11, 13, 14, 16, 29, 33, 38, 48, 70, 86].

К сожалению, рамки данной статьи не позволяют детализировать все направления выполненных отделом исследований и разработанных технических средств, направленных на изучение полярных акваторий. Их дальнейшее развитие должно осуществляться по пути разработки методов дистанционной диагностики состояния океана, морских льдов и ледниковых покровов, включая их температурный режим, внутреннее строение, механические характеристики, характеристики динамики и напряженного состояния. Для решения этих задач требуется проведение постоянных комплексных исследований, четкой координации научных программ и широкого объединения усилий различных организаций и стран. Это ускорит и облегчит познание природы физических явлений полярных областей Земли, облегчит их диагностику и прогнозирование и позволит более оптимально решать многие практические задачи, стоящие перед народным хозяйством страны.

Поступила 12.11.94 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В. В., Федоров Б. А. Динамика нарастания льда на пластине при его брызговом намораживании.//Тр. ААНИИ. — 1983. — Т. 379. — С. 103—111.
2. Белоусова И. М., Богородский В. В., Данилов О. В., Иванов И. П. Исследование движения ледников с помощью лазера.//Докл. АН СССР. — 1971. — Т. 1999. — № 5. — С. 1055—1057.
3. Богородский В. В. Радиозондирование льда. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 63 с.
4. Богородский В. В. Упругие характеристики льда.//Акустический журнал. — 1958. — Т. 4. — Вып. 1. — С. 313—317.
5. Богородский В. В. Физические методы исследования ледников. — Л.: Гидрометеониздат, 1968. — 212 с.
6. Богородский В. В., Володин Е. С. Ослабление узконаправленных пучков света в слоях снега и морского льда.//Докл. АН СССР. — 1982. — Т. 263. — № 3. — С. 591—594.
7. Богородский В. В., Гаврило В. П. Лед. Физические свойства современных методов гляциологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 384 с.
8. Богородский В. В., Гайцхоки Б. Я. Оптическая классификация естественных льдов.//Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. — Новосибирск: Наука, 1979. — С. 341—347.
9. Богородский В. В., Гусев А. В. Затухание звуковых волн в льду в диапазоне частот 200—1100 кГц.//Акустический журнал. — 1973. — Т. 19. — Вып. 2. — С. 133—139.
10. Богородский В. В., Козлов А. И. Микроволновая радиометрия земных покровов. — Л.: Гидрометеониздат, 1985. — 272 с.
11. Богородский В. В., Кропоткин М. А. Дистанционное обнаружение нефтяных загрязнений вод ИК лазером. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 40 с.
12. Богородский В. В., Мартынова Е. А. Оценка возможности индикации толщины заснеженного ледяного покрова арктических морей методами ИК радиометрии.//Докл. АН СССР. — 1977. — Т. 234. — №3. — С. 548—551.
13. Богородский В. В., Мартынова Е. А. Собственное тепловое излучение снежно-ледяного покрова арктических морей. — Л.: Гидрометеониздат, 1978. — 39 с.
14. Богородский В. В., Оганесян А. Г. Проникающая радиолокация морских льдов с цифровой обработкой сигналов. — Л.: Гидрометеониздат, 1987. — 342 с.
15. Богородский В. В., Парамонов А. И. Определение ледовой обстановки полярных морей по результатам радиационных измерений и спутников.//Тр. ААНИИ. — 1985. — Т. 395. — С. 5—17.
16. Богородский В. В., Парамонов А. И. Радиоокеанология. — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — 24 с.
17. Богородский В. В., Попов И. К. Инструментальные исследования подводных частей айсбергов Южного океана.//Тр. ААНИИ. — 1978. — Т. 359. — С. 134—138.
18. Богородский В. В., Рудаков В. Н. К вопросу об определении толщин ледников электромагнитными методами.//ЖТФ. — 1960. — Т. 30. — Вып. 1. — С. 82—89.
19. Богородский В. В., Трепов Г. В. Геологическая разведка торфяных месторождений методом радиолокационного зондирования.//Докл. АН СССР. — 1980. — Т. 250. — № 2. — С. 316—318.
20. Богородский В. В., Трепов Г. В. Радиолокационные измерения толщины залежей торфа и сапропеля.//ЖТФ. — 1979. — Т. 49. — С. 670—672.
21. Богородский В. В., Трипольников В. П. О контрасте электромагнитных характеристик на границе морской лед-вода.//ЖТФ. — 1974. — Т. X. — Вып. IV. — № 4. — С. 835—838.

22. Богородский В. В., Трипольников В. П. Радиолокационное зондирование морского льда.//ЖТФ.—1974.—Т. X.—Вып. IV.—№ 3.—С. 660—662.
23. Богородский В. В., Трипольников В. П. Электромагнитные характеристики морского льда в диапазоне 30—400 МГц.//Докл. АН СССР.—1973.—Т. 213.—№ 3.—С. 577—579.
24. Богородский В. В., Федоров Б. А. Радиолокационное зондирование ледников Северной Земли.//Тр. ААНИИ.—1970.—Т. 295.—С. 5—16.
25. Богородский В. В., Федоров Б. А. Радиолокация ледников.//ЖТФ.—1967.—Т. 47.—Вып. 4.—С. 782—788.
26. Богородский В. В., Хохлов Г. П. Электрические характеристики дрейфующего арктического льда в диапазоне частот 100 Гц—1 МГц.//Докл. АН СССР.—1969.—Т. 189.—№ 6.—С. 1230—1232.
27. Богородский В. В., Шереметьев А. Н. Подледниковые озера Антарктиды.//Природа.—1981.—№ 12.—С. 49—51.
28. Богородский В. В., Баранов Г. И., Гусев А. В. Пространственно-временная изменчивость гидрофизических полей Арктического бассейна.//Докл. АН СССР.—1980.—Т. 253.—№ 4.—С. 921—924.
29. Богородский В. В., Бентли Ч., Гудмансен П. Радиогляциология.—Л.: Гидрометеиздат, 1983.—312 с.
30. Богородский В. В., Гаврило В. П., Гусев А. В. Акустические эффекты при трении льда.//Тр. ААНИИ.—1974.—Т. 324.—С. 97—103.
31. Богородский В. В., Гаврило В. П., Гусев А. В. О нелинейных эффектах при разрушении льда в жидкости.//Тр. ААНИИ.—1970.—Т. 295.—С. 159—165.
32. Богородский В. В., Гаврило В. П., Иванов В. И. О применении доплеровского эффекта в оптических квантовых генераторах для исследования напряженного состояния льда.//Тр. ААНИИ.—1974.—Т. 324.—С. 114—117.
33. Богородский В. В., Гаврило В. П., Недошивин О. А. Разрушение льда. Методы, технические средства.—Л.: Гидрометеиздат, 1983.—232 с.
34. Богородский В. В., Гаврило В. П., Смирнов В. Н. Медленные волны в ледяном покрове Северного Ледовитого океана./Воздействие крупномасштабных внутренних волн на морскую поверхность.—Горький: Изд-во ин-та прикл. физики АН СССР, 1982.—С. 158—161.
35. Богородский П. В., Гусев А. В., Зубков Л. И. Мезомасштабная вихревая структура вод Арктического бассейна.//Докл. АН СССР.—1982.—Т. 262.—№ 5.—С. 1250—1252.
36. Богородский В. В., Гусев А. В., Хохлов Г. П. Физика пресноводного льда.—Л.: Гидрометеиздат, 1971.—226 с.
37. Богородский В. В., Даровских А. Н., Козлов А. И. Микроволновая диагностика и поляризационные образы снежно-ледяных покровов.—М.: ВИНТИ, 1981.—24 с.
38. Богородский В. В., Канарейкин Д. Б., Козлов А. И. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов.—Л.: Гидрометеиздат, 1981.—279 с.
39. Богородский В. В., Пасынков В. В., Хохлов Г. П. Экспериментальное исследование ослабления электромагнитных волн в арктических ледяных покровах в натурных условиях на длинах волн 8 и 20 см.//ЖТФ.—1979.—Т. XI.—Вып. IX.—С. 1543—1547.
40. Богородский В. В., Рудаков В. Н., Тюльпин В. А. Электромагнитное зондирование антарктического ледника.//ЖТФ.—1965.—Т. 35.—3-й вып. 6.—С. 1150—1155.
41. Богородский В. В., Трепов Г. В., Федоров Б. А. Изменение поляризации радиосигналов при вертикальном зондировании ледников.//ЖТФ.—1976.—Т. 46.—Вып. 2.—С. 366—372.
42. Богородский В. В., Трепов Г. В., Шереметьев А. Н. Импульсное радиозондирование многолетней мерзлоты.//ЖТФ.—1975.—Т. 45.—3-й вып. 1.—С. 1536—1539.
43. Богородский В. В., Трепов Г. В., Шереметьев А. Н. Приме-

нение радиолокационных измерений для определения толщины и скорости движения ледникового покрова Антарктиды.//Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1979. — № 1. — С. 95—100.

44. Богородский В. В., Гаврило В. П., Гусев А. В., Гудкович З. М., Поляков А. П. Напряженное состояние ледяного покрова, вызванное действием температурной волны, и его связь с акустическими шумами в приледном слое океана.//Тр. Междунар. симпоз. Лед и его воздействие на гидротехнические сооружения. — Л.: Энергия, 1972. — С. 31—36.

45. Богородский В. В., Гаврило В. П., Гусев А. В., Зубков Л. И., Савченко В. Г. Высокочастотные внутренние волны в Арктическом бассейне.//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 342. — С. 75—87.

46. Богородский В. В., Даровских А. Н., Спицын В. А., Хохлов Г. П. Исследования радиотеплового излучения однолетних арктических ледяных покровов с учетом реальных распределений по их толщине температуры и электрических параметров.//Тр. ААНИИ. — 1983. — Т. 379. — С. 26—35.

47. Богородский В. В., Позняк В. И., Трепов Г. В., Шереметьев А. Н. Измерение толщины годовых слоев снега в Антарктиде методом радиолокационного зондирования.//Докл. АН СССР. — 1982. — Т. 264. — № 4. — С. 909—911.

48. Вагапов Р. Х., Гаврило В. П., Козлов А. И., Лебедев Г. А., Логвин А. И. Дистанционные методы исследования морских льдов. — СПб: Гидрометеиздат, 1993. — 342 с.

49. Васильева В. Ф., Писаревская Л. Г. Вынужденные внутренние волны при дрейфе айсберга./Проблемы гидромеханики и динамики судна. Тр. ЛКИ. — 1990. — С. 85—88.

50. Гаврило В. П., Гусев А. В. Применение акустических методов исследования снега и льда.//Тр. ААНИИ. — 1975. — Т. 326. — С. 121—127.

51. Гаврило В. П., Гусев А. В., Никитин В. А. Реологические свойства морского льда при его деформации.//Тр. коорд. совещ. по гидротехнике. — 1976. — Вып. III. — С. 195—199.

52. Гаврило В. П., Гусев А. В., Никитин В. А. Сезонные изменения свойств упругости морского ледяного покрова.//Тр. ААНИИ. — 1980. — Т. 374. — С. 37—42.

53. Гаврило В. П., Гусев А. В., Поляков А. П. О возможности акустической регистрации критического напряженного состояния ледяного покрова.//Тр. ААНИИ. — 1970. — Т. 295. — С. 166—173.

54. Гаврило В. П., Губанов В. Е., Лебедев Г. А., Сухаров К. К. Экранирование ледяного покрова как способ борьбы с ледовыми затруднениями.//Тр. ААНИИ. — 1991. — Т. 421. — С. 59—64.

55. Гаврило В. П., Горшков А. С., Иванов И. П., Яковлев В. В. Результаты применения лазерных приборов для измерения деформаций морского ледяного покрова в натурных условиях.//Тр. ААНИИ. — 1983. — Т. 379. — С. 68—72.

56. Гаврило В. П., Лебедев Г. А., Ковалев С. М., Недошин О. А. О пространственно-временной изменчивости потенциальной сопротивляемости льдов Карского моря./Тез. докл. 1-й Междунар. конф. «Освоение шельфа Арктических морей России». — СПб: Изд. СПб Гос. техн. ун-та. — 1993. — С. 110—111.

57. Гаврило В. П., Лебедев Г. А., Федотов В. И., Черепанов Н. В. Сезонная изменчивость физико-механических характеристик морского льда.//Тр. ААНИИ. — 1991. — Т. 421. — С. 36—49.

58. Гайцхоки Б. Я. Оптические характеристики некоторых разновидностей естественных льдов.//Тр. ААНИИ. — 1975. — Т. 326. — С. 55—59.

59. Гусев А. В., Попов И. К., Шифман Ф. Н. Измерение абсолютной скорости дрейфа льдов доплеровским методом.//Тр. ААНИИ. — 1984. — Т. 386. — С. 125—129.

60. Даровских А. Н., Мартынова Е. А., Спицын В. А. Вероятностные распределения радиояркостной температуры снежно-ледяных покровов различного возраста./Электрофизические и физико-механические свойства морского льда. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — С. 72—77.

61. Колосова Н. В., Панов В. В. Некоторые режимные характеристики условий обледенения подводных объектов в шельфовой зоне арктических морей.//Тр. Зап.-Сиб. регион. НИИ.—1981.—Вып. 50.—С. 100—109.
62. Колосов А. П., Панов В. В., Панюшкин А. В., Сергачев Н. А. Внутренние напряжения в ледовых покрытиях.//Тр. ААНИИ.—1983.—Г. 379.—С. 98—103.
63. Лебедев Г. А. К вопросу об измерении элементов движения дрейфующего льда фазовым методом.//Тр. ААНИИ.—1974.—Т. 324.—С. 214—216.
64. Лебедев Г. А., Попов И. К. Акустические явления, сопровождающие процесс взаимодействия метелевых потоков с ледяным покровом.//Тр. VIII Всесоюзной акустической конфер. Изд. Акуст. ин-та.—М.—1973.—С. 19—22.
65. Лебедев Г. А., Попов И. К. Импульсный характер акустического поля подо льдом при метели.//Тр. IX Всесоюзной акустической конфер.—М.: Изд. Акуст. ин-та.—1977.—С. 93—96.
66. Мартынова Е. А., Спицын В. А. Некоторые результаты испытаний сканирующей тепловизионной аппаратуры для получения тепловых карт в полярных областях.//Тр. ААНИИ.—1970.—Т. 295.—С. 69—73.
67. Морев В. А. Судовое устройство для разрушения льда.//Авт. свид. № 844465. Заявл. 20.08.79, № 2816064/27—11.//Открытия, изобретения.—1984.—№ 25.—С. 112.
68. Морев В. А. Устройство для электротермического бурения скважин во льду с образованием керна.//Авт. свид. № 350945 (СССР). Заявл. 05.10.70, № 1482034/22—3. Оубл. 13.09.72, МКИ Е 21с 21/00.//Открытия, изобретения.—1972.—№ 29.—С. 108.
69. Морев В. А., Пухов В. А. Экспериментальные работы по бурению ледовых покровных ледников термобуровыми снарядами ААНИИ.//Тр. ААНИИ.—1981.—Т. 367.—С. 64—68.
70. Панов В. В. Обледенение судов.//Тр. ААНИИ.—1976.—Т. 334.—С. 64 с.
71. Панов В. В. Условия обледенения судов.//Гидрометеорологическое обеспечение судоходства в Южном океане.—Л.: Гидрометеониздат, 1985.—С. 132—139.
72. Парамонов А. И., Горбунов Ю. А., Лосев С. М. Наблюдения за температурой поверхности моря с помощью радиационного термометра с самолета ледовой разведки.//Тр. ААНИИ.—1975.—Т. 326.—С. 114—120.
73. Пасынков В. В., Хохлов Г. П. Частотные и температурно-соленостные зависимости удельного ослабления электромагнитных волн арктическим морским льдом в диапазоне длин волн 0,72—20 см.//Тр. ААНИИ.—1983.—Т. 379.—С. 10—18.
74. Попов И. К., Писаревская Л. Г. Тонкая термохалинная структура вод вблизи антарктических айсбергов.//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед.—1990.—№ 114.—С. 87—92.
75. Смирнов В. Н. Колебания ледяного покрова, обусловленные внутренними волнами Северного Ледовитого океана.//Докл. АН СССР.—1972.—Т. 206.—№ 5.—С. 1106—1108.
76. Смирнов В. Н., Шушлебин А. И. Приборы для изучения деформаций и напряжений в ледяных полях.//Тр. ААНИИ.—1983.—Т. 379.—С. 92—96.
77. Страхов М. В. Исследование пространственно-ориентированных кристаллических структур арктического морского льда.//Электрофизические и физико-механические свойства льда.—Л.: Гидрометеониздат, 1989.—С. 154—166.
78. Трепов Г. В. Оценка температуры толщи ледника по данным радиолокационного зондирования.//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед.—1970.—Т. 1.—С. 53—55.
79. Тышко К. П., Назинцев Ю. Л. О «пассивном» и «активном» внутриводном ледообразовании.//Электрофизические и физико-механические свойства морского льда.—Л.: Гидрометеониздат, 1989.—С. 135—143.
80. Федоров Б. А. Об измерении средней скорости вертикального распространения импульсных радиосигналов в ледниках Северной Земли.//Тр. ААНИИ.—1978.—Т. 359.—С. 48—55.

81. Хохлов Г. П. О зависимости показателя преломления морского льда от его удельного ослабления в диапазоне СВЧ. // Тр. АН ИИ. — 1980. — Т. 374. — С. 15—17.
82. Шушлебин А. И. Волновые процессы и напряжения в ледяном покрове. // Проблемы Арктики и Антарктики. — 1978. — Вып. 53. — С. 50—55.
83. Черепанов Н. В. Пространственная упорядоченность кристаллической структуры морских льдов. // Проблемы Арктики и Антарктики. — 1971. — Вып. 38. — С. 138—140.
84. Черепанов Н. В. Роль термического режима водоема в формировании структуры льда. // Проблемы Арктики и Антарктики. — 1968. — Вып. 29. — С. 55—63.
85. Черепанов Н. В., Назинцев Ю. Л., Тышко К. П. Контактное переохлаждение слоев воды и внутриводное ледообразование в море. // Электрофизические и физико-механические свойства льда. — Л.: Гидрометеониздат, 1989. — С. 124—134.
86. Borodkin V. A., Gavrilov V. P., Kovalev S. M. and Lebedev G. A. Influence of structural anisotropy of sea ice on its mechanical and electrical properties. — Proc. of the Second (1992) International Offshore and Polar Engineering Conference. San Francisco, USA, 14—19 June 1992. — P. 670—674.
87. Gavrilov V. P., Gubanov V. Ye., Lebedev G. A., Sukhorukov K. K. Heat physical processes in sea-ice cover. — Summaries, Intern. Symposium on the Physics and Chemistry of Ice. 1—6 September, 1991, Sapporo Japan. — P. 75—76.
88. Lebedev G. A., Kozlov A. I. Polarization Images of Underlying Surfaces. — Intern. Symposium „Signature Problems in Microwave Remote Sensing of the Surface of the Earth”, 15—17 May 1990, Hyannis Massachusetts USA, Session A. — P. A. 8.
89. Lebedev G. A., Попов И. К. Low frequency noise generated in sea ice by blowing snow. — IEEE Intern. conf. on engineering in the ocean environment. Halifax, Canada, 1971. — P. 2.
90. Lebedev G. A., Pasyukov V. V., Spitsyn V. A., Tryepov G. V., Khokhlov G. P. On the electric properties of sea ice in the 10—75000 MHz band. — Inter. Symposium on the Physics and Chemistry of Ice. — 1—6 September 1991, Sapporo, Japan. — P. 75—76.

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ ОТДЕЛА ЛЕДОВЫХ КАЧЕСТВ СУДОВ

В 1935 г. в ААНИИ было организовано новое структурное подразделение — кораблестроительное бюро. Его задачей было всестороннее изучение и развитие ледовых качеств судов, плавающих по Северному морскому пути. В те годы началось активное освоение Российской Арктики, для чего необходимы были новые суда, способные с большей скоростью преодолевать арктические льды, по возможности, с наименьшими повреждениями корпуса. Отсюда получили начало два основных научных направления, которыми занималось бюро (ныне отдел ледовых качеств судов): ледовая ходкость и ледовая прочность. Теоретические основы этих двух самостоятельных отраслей гидромеханики и строительной механики корабля были заложены известными советскими учеными О. А. Шиманским, И. В. Виноградовым, Л. М. Ногидом и др. В дальнейшем их работы были существенно дополнены и развиты А. Я. Сухоруковым, Д. Е. Хейсиным, И. И. Поздняком, Ю. Н. Потювым, В. И. Каштеляном, А. Я. Рывлиным, О. В. Фаддеевым, В. А. Курдюмовым и др.

В ААНИИ впервые в мире разработана методика моделирования движения судна во льдах, разработана методика приготовления моделированного льда и в 1955 г. построен первый в мире ледовый опытовый бассейн. Работа сотрудников отдела ледовых качеств судов получила три основных направления: теоретические разработки, модельный эксперимент и натурные испытания судов при их практическом плавании во льдах. Перечисленные методы исследований не только неразрывно связаны, но и существенно дополняют друг друга. Теоретические исследования, пополненные обширными знаниями природной среды Северного морского пути, опытом практической эксплуатации судов во льдах, проверенные и дополненные результатами модельных испытаний, позволили создать методы расчета сопротивления льда движению судна, гидродинамическую модель удара судна о лед, методы расчета ледовых нагрузок на сооружения. Эти работы отдела ледовых качеств судов остаются пока ведущими среди специалистов во всем мире.

Эффективность деятельности сотрудников отдела определяется широким внедрением результатов их работы в практику. Практически все современные ледоколы и транспортные суда ледового плавания спроектированы с учетом рекомендаций, разработанных в отделе.

В 1991 г. в ААНИИ вступил в строй уникальный лабораторный комплекс, в составе которого имеется новый ледовый опытовый бассейн. Он спроектирован с учетом опыта работы в первом бассейне Арктического института и значительно превышает его по

размерам, а главное, по своим техническим возможностям. К числу основных конструктивных особенностей нового бассейна относится уникальная система охлаждения помещения бассейна. Она состоит из двух автономных контуров: потолочных холодильных батарей и крышек — батарей. Применение последних дает возможность (в зависимости от задач эксперимента и требований к прочностным свойствам льда) использовать три дополнительных режима намораживания. Уникальной конструктивной особенностью ледового бассейна является также возможность в течение двух-трех суток менять соленость воды, с помощью чего влиять на физико-механические свойства моделированного льда и масштаб модельного эксперимента.

За три года работы ледового бассейна в нем практически без остановок холодильно-компрессорного отделения проведено большое число экспериментальных исследований. Хотя большинство из них относилось к традиционным видам работ отдела — определение сопротивления льда движению судна, некоторые из них являлись принципиально новыми по способу приложения нагрузки, разрушающей моделированное ледяное поле. В частности, это испытание модели патрульного природоохранного судна (ответственный исполнитель В. И. Каштелян). Конструктивно оно относится к судам с малой площадью ватерлинии.

Новым в этой работе явилось то, что впервые в ледовом бассейне испытывалась модель судна, разрушающего лед силой, действующей в плоскости моделированного ледяного поля. В. И. Каштеляном была разработана специальная методика пересчета результатов модельных испытаний на натуре. По результатам этой работы были даны рекомендации о присвоении этому проекту одной из ледовых категорий Морского Регистра судоходства, что значительно расширит географическую границу его эксплуатации и продлит ее сроки в замерзающих акваториях.

Заканчивается работа по испытаниям ледопроеходимости подводного танкера (ответственные исполнители В. И. Каштелян и А. Н. Ильчук). Здесь также впервые испытывается модель, разрушающая лед силой, действующей снизу. В этом случае также была создана методика, позволяющая экстраполировать экспериментальные данные на полный масштаб. Программа этих работ предусматривает уникальный эксперимент: всплытие подводного танкера из-под льда для оценки силы, необходимой для выполнения этого маневра.

К числу особо важных народнохозяйственных задач была отнесена тема по модельным испытаниям носового движительного комплекса нового типа, встроенного в корпус ледокола (ответственный исполнитель Б. Н. Свистунов). Выводы, сделанные по результатам исследований, позволили разработать предпосылки для проектирования ледокола универсального назначения с улучшенным комплексом ледовых качеств. Именно этот комплекс и позволяет считать ледокол, обладающий им, универсальным.

Если открытие в 1955 г. первого в мире ледового бассейна АНИИ вообще положило начало модельным исследованиям ледовых качеств судов в опытовых ледовых бассейнах и строительству ледовых за рубежом¹, то введение в строй нового ледового бассейна существенно расширило диапазон проводимых в ААНИИ модельных экспериментов. Например, в 1991—1992 гг. проводились исследования процесса воздействия ледяных полей на морские инженерные сооружения. Для этого был разработан ряд методик проведения полунатурных экспериментов. В частности, в масштабе 1:1 моделировалось усилие, прижимающее битый лед к стенке сооружения под воздействием ветровой нагрузки. Все остальные физические характеристики эксперимента, толщина и размеры льдин, а также размеры и форма исследовавшихся конструкций соответствовали натурным.

В 1993 г. проведены исследования взаимодействия модели тороса с имитацией участка морского дна. На первом этапе работа носила методический характер. Опробовалась методика эксперимента и моделирования самих объектов исследования. В результате из пресноводно-соленого льда изготовлена модель тороса в масштабе 1:5 ÷ 1:15 по отношению к натуре. Плотность и прочностные качества льда в достаточной степени соответствовали тем же характеристикам, наблюдаемым в натуре. Моделирование физико-механических характеристик грунта в задачу первого этапа испытаний не входило.

Контакт подошвы тороса с грунтом осуществлялся под действием сил инерции движущегося тороса и путем его буксировки. В результате удалось установить полную аналогию геометрических характеристик моделируемого явления с натурой. Дальнейшее совершенствование методики модельных испытаний, особенно в части моделирования физико-механических характеристик грунта, делает возможным постановку аналогичных экспериментов в ледовом бассейне ААНИИ в полном соответствии с требованиями теории подобия. К разряду перспективных исследований в ледовом бассейне ААНИИ относятся испытания средств по борьбе с последствиями нефтяных разливов в акваториях, покрытых льдом. Здесь возможны два вида испытаний:

- испытания различных технических средств по сбору и ограждению разливов;
- испытания химических средств борьбы с нефтяными пятнами.

Предварительные проработки методики таких испытаний показали, что эксперимент осуществим и явление моделируется. Технические возможности ледовых бассейнов ААНИИ позволяют провести эксперимент, если не в полном, то, по крайней мере, в полу-

¹ Первый ледовый бассейн АНИИ, по существу, послужил прототипом для строительства большинства зарубежных ледовых бассейнов, наиболее известные из которых построены в Германии, Канаде, США, Финляндии, Японии и ЦНИИ им. А. Н. Крылова в Санкт-Петербурге.

натурном масштабе, что, естественно, поможет избавиться от влияния масштабного эффекта и обеспечит пересчет на натуру. Очевидно, что экономический эффект от указанных испытаний весьма велик. Наличие трех ледовых бассейнов в одном лабораторном корпусе дает уникальную возможность решать глобальные комплексные задачи по частям, одновременно и в разных масштабах. В конечном итоге это ускорит искомое решение и может сделать его гораздо более полным и многогранным.

Особо следует отметить постановку и проведение эксперимента по определению ледовых нагрузок на стационарный инженерный объект. При этом решены следующие необходимые задачи

- обеспечена устойчивая скорость надвигания ледяных полей на объект в широком диапазоне минимальных значений скорости: десятки или сотни метров в час;

- разработана и введена в действие измерительная схема с большой точностью записывающая горизонтальную и вертикальную составляющие силы, разрушающей ледяной покров;

- обеспечено достаточное усилие для проведения экспериментов по разрушению ледяных полей в масштабе, близком к натурному.

Проведение этого эксперимента имеет большое принципиальное значение, поскольку установлено, что в ледовом бассейне можно проводить разноплановый модельный эксперимент по взаимодействию движущихся ледяных полей и других ледяных образований с различными океанотехническими сооружениями и другими природными объектами. При этом будут обеспечены требования теории подобия.

Перечисленные основные экспериментальные работы и их результаты, безусловно, следует рассматривать как большое достижение службы обеспечения эксперимента и, в первую очередь П. М. Николаева. Ввод в строй бассейна, получение первых полей моделированного льда совпал с периодом начала известных экономических трудностей в стране и последующим прекращением финансирования на дооборудование бассейна и корпуса «Г» современной измерительной и вычислительной техникой. Тем не менее, ледовый бассейн не только продолжал работать, но и благодаря собственным хоздоговорным работам и помощи из бюджетных средств института, развивалась и совершенствовалась материально-техническая база. В декабре 1994 г. вошла в строй современная автоматизированная система сбора и обработки данных эксперимента, способная контролировать, фиксировать и обрабатывать более пятидесяти параметров, характеризующих условия подготовки, проведения и результаты эксперимента в ледовом бассейне ААНИИ.

В 50—60-е годы в отделе ледовых качеств судов была предложена и детально проработана концепция ледового паспорта судна. Это документ, содержащий справочные данные о технических возможностях конкретного судна при плавании во льдах и рекомендации по выбору безопасных и эффективных режимов

плавания судна в конкретных ледовых условиях. При разработке ледовых паспортов использовались, были соединены и обобщены результаты теоретических исследований в области строительной механики, ледовой прочности и сопротивления льда движению судов с опытом их реальной эксплуатации во льдах, результатами натурных испытаний и детальным знанием ледовых условий на трассе Северного морского пути.

Идея разработки ледовых паспортов получила широкую практическую реализацию; за последние 20 лет по заказу морских пароходств разработаны ледовые паспорта для 16 типов судов ледового плавания различных ледовых категорий Морского Регистра судоходства. Полезность такого документа подтверждается, в частности, тем фактом, что Правила Морского Регистра судоходства рекомендуют ледовый паспорт в качестве обязательного документа для всех судов, плавающих во льдах.

Естественно, что методика разработки ледовых паспортов за это время существенно усовершенствована. В частности, разработана программа расчета элементов корпусных конструкций на восприятие ледовых нагрузок в упруго-пластической зоне. Это существенно расширяет возможности ледового паспорта и дает судоводителю больше инициативы при выборе безопасных и эффективных режимов плавания.

В настоящее время заканчивается доработка и предлагается к внедрению бортовой ледовый паспорт — программное обеспечение, предназначенное для судоводителя и имеющее следующие возможности:

- вызывать на экран компьютера справочные данные по судну: главные размерения, теоретический чертеж, обобщенные данные по прочности корпуса, винторулевого комплексу, сопротивлению на чистой воде, ледовому сопротивлению и т. д.;

- указывать судоводителю в наблюдаемых им ледовых условиях опасную и допустимую скорости, выбег судна, диаметр циркуляции, безопасную дистанцию при проводке ледоколом и т. д.

По нашему мнению, бортовые ледовые паспорта могут быть полезны и необходимы:

- капитанам транспортных судов при следовании по трассе Северного морского пути;

- планирующим и диспетчерским службам для расчета времени прохождения любого участка трассы конкретным судном при сложившихся или прогнозируемых ледовых условиях, для выбора необходимого ледокольного обеспечения и т. д.;

- капитанам ледоколов, особенно при проводке иностранных судов.

Математические модели и методы, разработанные в отделе для расчета ледовых паспортов, послужили теоретической базой для постановки двух следующих весьма актуальных задач. Первая из них: «Разработка практической методики и программного обеспечения для количественной оценки риска эксплуатации судов и средств океанотехники в ледовых условиях». Вторая: «Раз-

работка научно-методических основ правового регулирования предотвращения загрязнения арктических морей России в результате аварий судов».

Значение и конечные результаты первой из упомянутых тем состоят в снижении риска для человеческой жизни, уменьшении вероятности экологических катастроф и повышении экономической эффективности эксплуатации сооружений, работающих в ледовых условиях. Это достигается за счет контроля уровня безопасности эксплуатации при конкретных сложившихся ледовых условиях, главным образом — за счет повышения качества решения при проектировании судов на основе применения математически корректной методики количественной оценки риска получения ледовых повреждений.

Количественная оценка риска получается методом имитационного стохастического моделирования, что позволяет учесть все существенные технические характеристики судна, условия его плавания и параметры окружающей среды. Ранее этот метод для решения сформулированной задачи не применялся, хотя его эффективность при анализе целого ряда иных проблем в области проектирования, управления, страхования промышленных рисков подтверждена практикой. Задача о количественной оценке риска навигации в ледовых условиях относится к категории задач анализа промышленных (коммерческих) рисков и пока не получила решения ни в нашей стране, ни за рубежом. Однако актуальность этой проблемы осознается многими ведущими судовладельцами, кораблестроителями и страховыми компаниями. Особенную остроту проблема приобретает в связи с планируемым началом навигации по Северному морскому пути судов иностранных владельцев.

Выполнение анализа этой проблемы требует учета фактических данных о природных условиях в районе плавания (предпочтительно по результатам многолетних наблюдений), а также проверенных практикой методик исследования взаимодействия судна со льдом. ААНИИ является единственной организацией, которая владеет как необходимыми данными, так и методами, развитие которых позволит решить сформулированную задачу.

Дальнейшее освоение Российского Севера связано, в частности с планируемой широкомасштабной разработкой месторождений нефти и газа на арктическом шельфе и вывозом углеводородного сырья по Северному морскому пути танкерами зарубежных и отечественных судовладельцев. Эта деятельность может вызвать катастрофические разливы нефти и нефтепродуктов при авариях судов, что может привести к значительному и трудноустраняемому ущербу для окружающей среды. Поэтому научно-исследовательская работа, создающая научно-методическую базу для нормативных документов (законов, постановлений, комплексных государственных и региональных программ) по предотвращению загрязнения арктических морей России имеет большое народнохозяйственное значение.

В России существуют отдельные нормативные документы, которые опосредованно регламентируют риск загрязнения арктических морей. Общие технические требования к судам, плавающим в ледовитых морях, оговариваются в «Правилах классификации и постройки морских судов» Морского Регистра судоходства. Эксплуатационные аспекты рассматриваются в «Правилах плавания по Северному морскому пути». Есть целый ряд документов общего характера (например, «Международные правила предупреждения столкновения судов»). Но наиболее эффективна была бы разработка регламентаций, непосредственно направленных на защиту северных морей от загрязнения. Это подтверждается опытом Канады, где действует закон, называемый «Законодательством по предотвращению загрязнения арктических вод». Государственный научный центр Российской Федерации — АНИИ имеет многолетний опыт исследований и огромные массивы необходимых данных, что позволит достичь комплексного решения обеих сформулированных проблем.

Поступила 21.10.94 г.

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

Настоящая статья содержит обзор результатов океанографических исследований ААНИИ в Северном Ледовитом океане, его бассейнах и морях (по географической номенклатуре, принятой в соответствии с Решением Президиума АН СССР от 1974 г. № 161). Дан ретроспективный анализ становления основных представлений о структуре водных масс океана, циркуляции его вод (и льдов), установленных многолетних (включая климатические колебаний его океанографического режима. На этом фоне рассмотрено развитие и становление методов описания и расчетов более короткопериодных явлений — ветровых течений, приливов, других термических и динамических процессов в его морях и бассейнах.

Океанографический режим Арктического бассейна. Первоначальное ознакомление с океанографическим режимом Арктического бассейна Северного Ледовитого океана началось в конце XIX в. во время дрейфа знаменитого «Фрама» в 1893—1896 г. С его борта Ф. Нансен и его коллеги впервые осуществили широкий комплекс гидрометеорологических инструментальных наблюдений. Были, в частности, обнаружены слой теплых атлантических вод и холодные донные воды. Ими же дано первое описание вертикальной структуры водных масс западной части бассейна в основном правильно определен их генезис [44].

Вместе с тем, часть заключений Ф. Нансена почти на полвека легла в основу некоторых устойчивых заблуждений. Одно из них касается рельефа ложа бассейна. Ф. Нансен и его последователи начали промеры дна западнее Новосибирских островов, где, как позднее стало известно, преобладают океанские глубины, пришли к выводу, что дно Арктического бассейна представляло собой глубоководную чашу с глубинами, довольно резко уменьшающимися к ее краям. В соответствии с этим структура водных масс в целом представлялась такой же, как в исследованной западной части бассейна.

Эти заключения, казалось, подтверждались наблюдениями собранными во время дрейфов папанинской станции «Северный полюс-1» (1937/38 г.) и л/п «Г. Седов» (1937—1940 гг.) [7, 41] пути которых также пролегали в западной части бассейна.

Следующий оказавшийся решающим шаг был сделан в результате работ экспедиции на самолете «СССР Н-169» в район полной относительной недоступности (1941 г.). В процессе анализа данных этих наблюдений В. Т. Тимофеев обнаружил [34], что температура донных вод в западной части бассейна примерно на $0,4^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в восточной. Это позволило ему сделать вывод, что такая разница возможна лишь в результате обособления ч

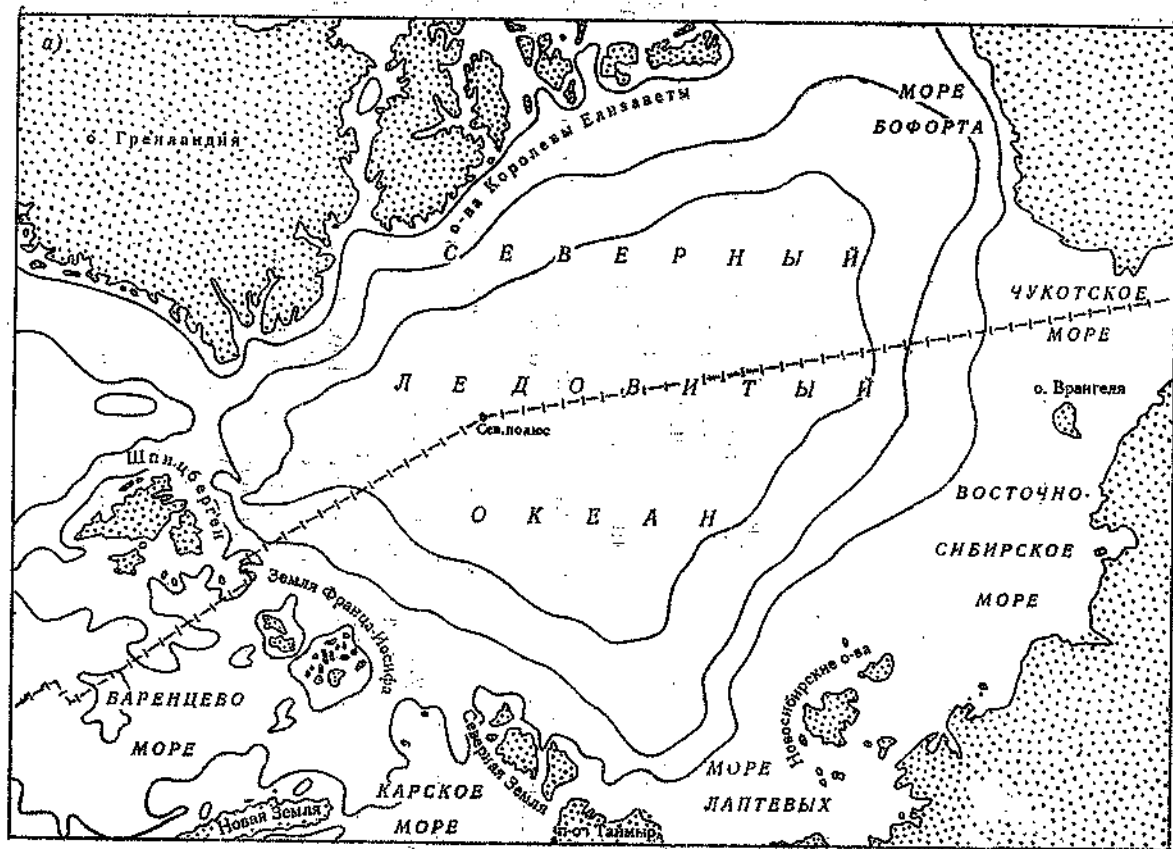
тей бассейна поднятием дна, отсекающим поступающие из Гренландского моря глубинные воды от донных. Несколько позднее было приведено много доводов в пользу гипотезы о существовании хребта (по данным о приливах, химических характеристиках вод и др.). Это послужило поводом к полному пересмотру установившихся взглядов на основные особенности режима бассейна и вывало его целенаправленное изучение.

К сожалению, война прервала этот процесс, возобновившийся конце 40-х — начале 50-х годов, когда в 1948—1950 гг. силами оздушных экспедиций «Север» были проведены первые площадные океанографические съемки бассейна [34]. Сразу же ощутились результаты новой организации работ. Путем промеров глубин были открыты почти все основные подводные хребты и глубоководные впадины и разработана их географическая номенклатура. Ее официальное утверждение произошло значительно позже [28]. На рис. 1 видно, что представления о морфометрии бассейна изменились кардинально: вместо глубоководной океанической впадины перед исследователями предстала горная страна.

Вместе с тем, благодаря новым океанографическим данным, подтвердилась гипотеза В. Т. Тимофеева о происхождении донных водных масс в восточных котловинах бассейна. Более того, путем оценки изменения теплосодержания ему удалось построить хронологическую схему распространения глубинных атлантических вод. Ее основные особенности не опровергнуты и до настоящего времени.

В деталях была проанализирована структура водных масс бассейна. Этому способствовало то, что еще в 40-х годах, во время Великой Отечественной войны, в АНИИ интенсивно разрабатывались теоретические и методические вопросы океанографии. Среди них выделялись работы В. Т. Тимофеева, В. Б. Штокмана [35, 42] и других исследователей, посвященные основам теории — S кривых, различным подходам к выделению водных масс и другим методам анализа структуры вод (последние обзоры этого направления содержатся в работах [36, 38]). Теперь весь этот методический арсенал, опробованный первоначально на материалах наблюдений, проведенных в Гренландском и Баренцевом морях, был использован в Арктическом бассейне.

Эволюцию взглядов на структуру водных масс иллюстрирует рис. 2, где представлен разрез от пролива «Фрам» до Берингова пролива. Как видно, предположения относительно структуры вод бассейна оправдались только наполовину. В частности, полностью правдалось предвидение П. П. Ширшова относительно прослойки теплых атлантических вод, основанное на данных дрейфующей станции «Северный Полюс-1». Так, он писал: «Атлантические воды идут не только на восток, но широко распространяются и в центральной части Полярного бассейна и, очевидно, заполняют его целиком» [40, с. 23]. Детальное картографирование характеристик атлантических вод, выполненное А. Ф. Трешниковым в 1954 г. и В. Т. Тимофеевым в 1957 г., подтвердило это.



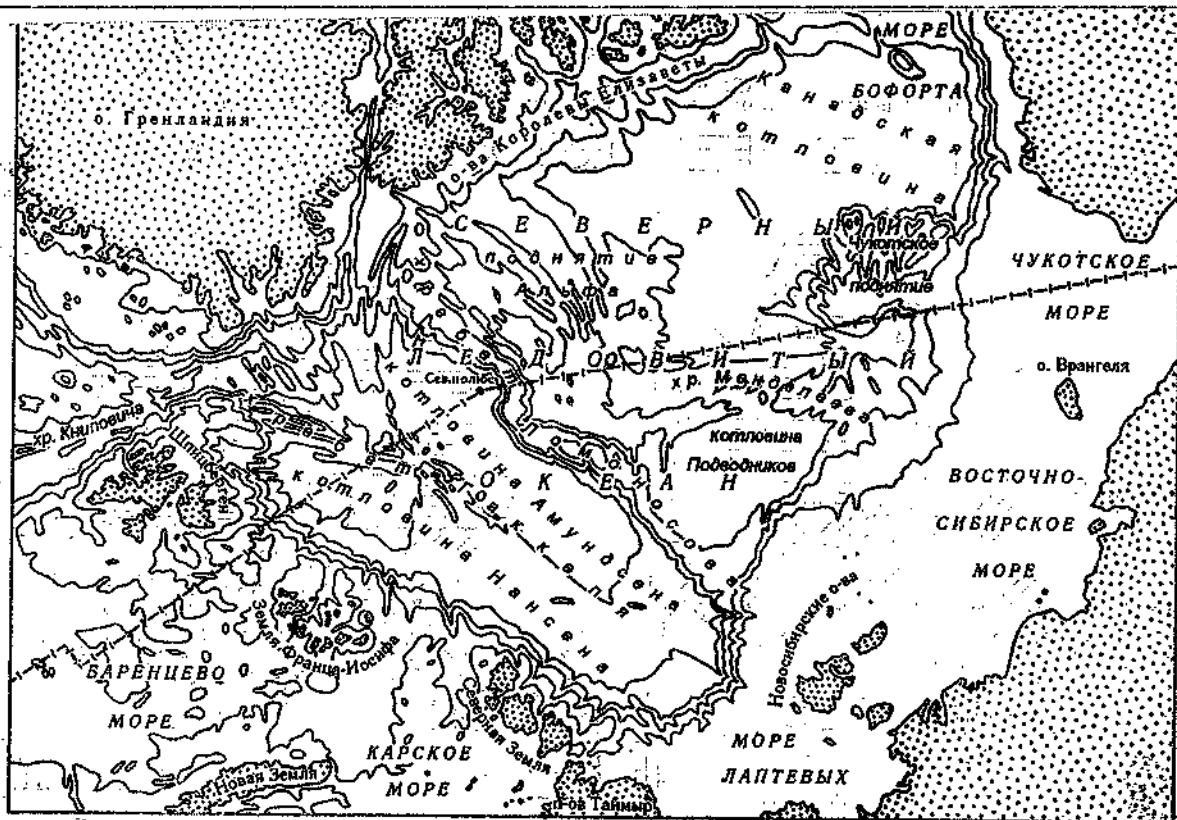


Рис. 1. Рельеф дна по представлениям, существовавшим до 1948 г. (а) и по современным данным (б).

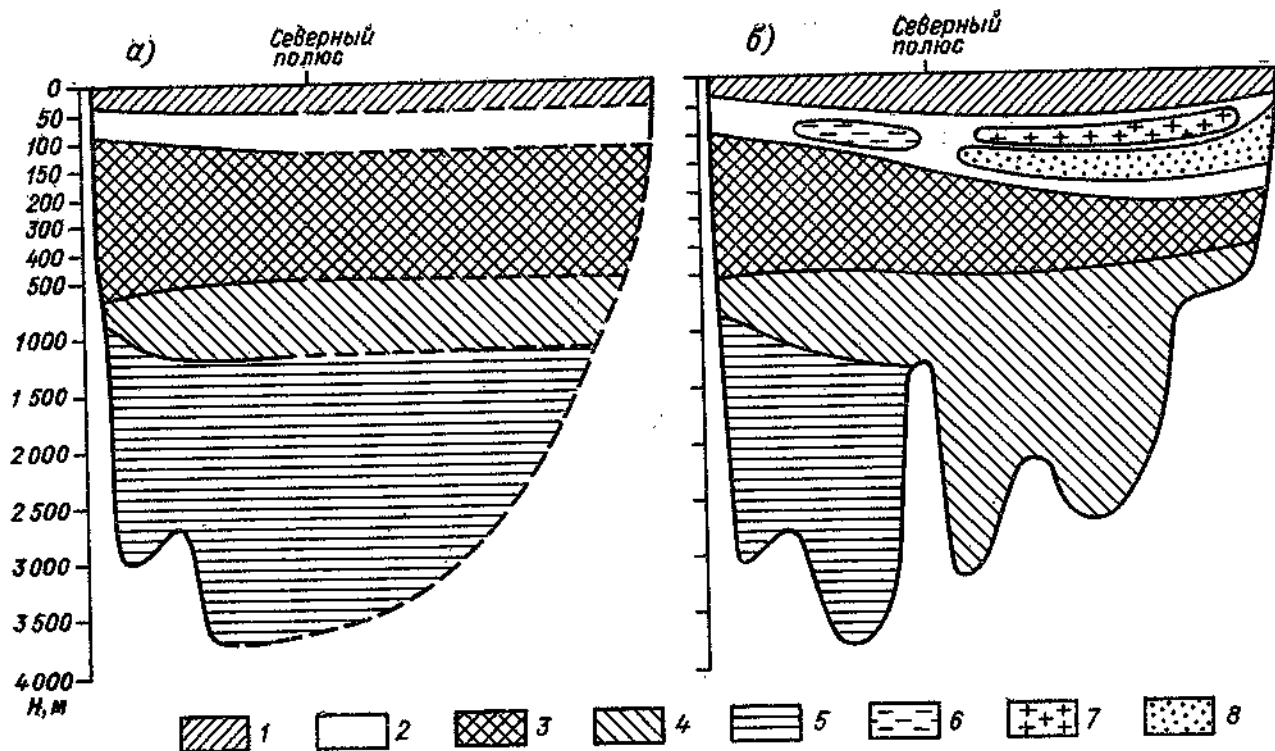


Рис. 2. Эволюция представлений о структуре водных масс Арктического бассейна до 1940 г. (а) и после конца 40-х — начала 50-х годов (б).

Обозначены воды:

1 — полярная вода Арктического бассейна; 2 — верхняя промежуточная; 3 — атлантическая; 4 — нижняя промежуточная; 5 — дон-

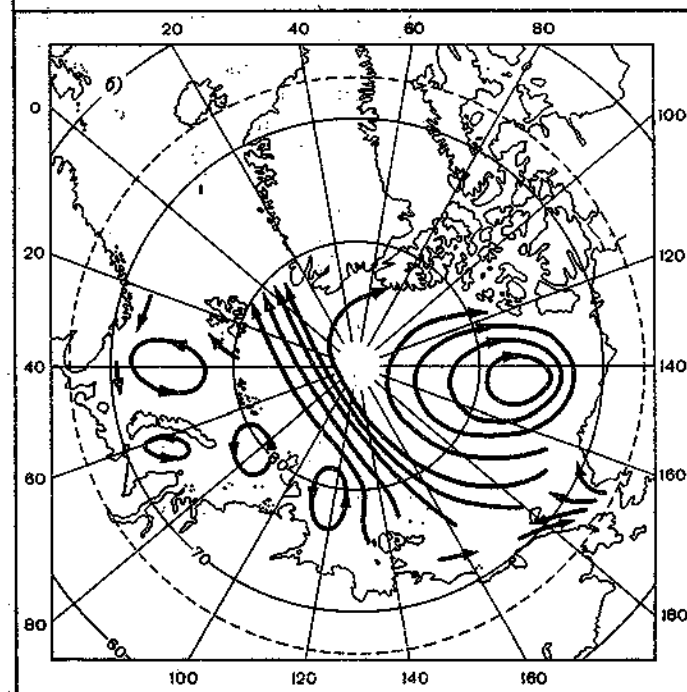
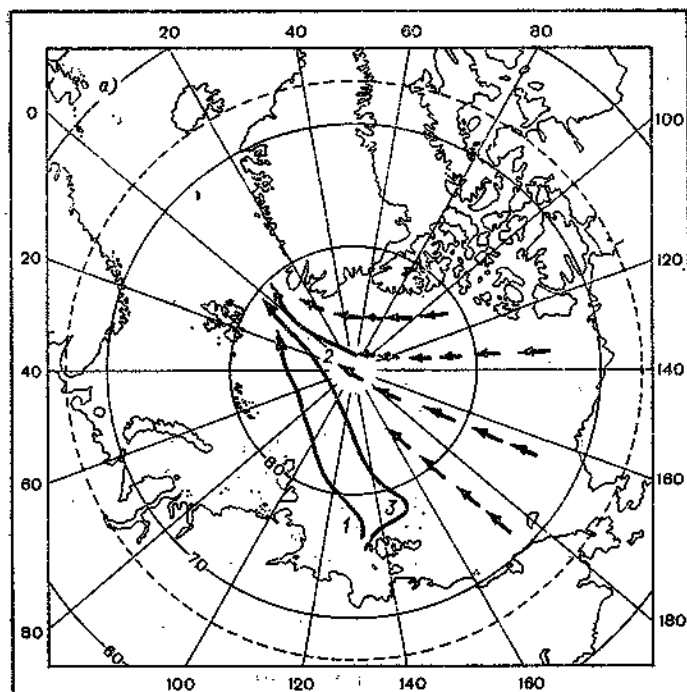
Больше всего изменились представления о донных и промежуточных водах бассейна. На рис. 26 видно, что хребет Ломоносова «отсекает» наиболее холодные донные воды западной части, так что Арктический бассейн в основном (почти на 2/3) заполнен более теплыми водами [34] (по терминологии В. Т. Тимофеева нижними промежуточными). Любопытно, что объемы холодных донных вод Евразийского суббассейна оказываются одинаковыми с объемами теплых атлантических вод во всем бассейне. Это наводит на мысль о возможных соотношениях между водообменом бассейна с Северо-Европейским в срединных и донных слоях.

Более сложно складывались представления о структуре поверхностных и промежуточных вод бассейна. Наиболее полный анализ наблюдений, собранных в поверхностных водах, выполнил Ф. Трешников в 1959 г. [37]. Им объяснен феномен уменьшения солености поверхностных вод в направлении от северных шельфов морей сибирского шельфа к глубоководным районам арктического бассейна. Он считал, что это происходит в результате натекания распресненных и перемешанных вод Амеразийского суббассейна на более плотные воды морей. При этом важная роль в распреснении поверхностных вод отводилась А. Ф. Трешниковым тихоокеанским водам.

Более детальный анализ показал, что формирование приповерхностных слоев происходит сложнее. Так, в Амеразийском суббассейне они состоят из поверхностных, летних и зимних тихоокеанских и шельфовых вод (промежуточных вод зимнего образования), как это показано на рис. 26 [27]. Последние образуются севернее морей Карского и Лаптевых и Канадского Арктического архипелага в зимний период из-за осолонения и охлаждения в зонах льдов пониженной сплоченности льда на южном крае антарктического течения и периферии круговорота Бофорта — зоне подъема вод вследствие поперечной циркуляции в течениях дивергенции льдов в этих районах [6].

Можно было бы считать, что это — единственные «эндемичные ды», возникающие в бассейне. Однако имеются основания полагать, что на склоне материкового шельфа формируются ниже промежуточные и даже, возможно, донные воды. Во всяком случае, в желобах морей Карского, Лаптевых и Бофорта наблюдениями установлено [2] присутствие высокосоленых и охлажденных вод. Это, вероятно, смешанные воды атлантического происхождения, охлажденные и осолоненные в районах преобладания течения льдов. Кстати, образование холодных донных вод на подных возвышенностях морей Баренцева и Карского было отмечено давно ([34], с. 86).

Не менее интересно происходила эволюция взглядов на циркуляцию поверхностных вод и льдов бассейна. Дрейф судна «Фрам» совершался практически по прямой из района северо-западных Новосибирских островов к проливу между Гренландией и Исландией (названным впоследствии проливом «Фрам»). Это служило основанием для заключения о том, что дрейф льдов (и



поверхностные течения) из всех точек бассейна направлен вдоль кратчайших расстояний в пролив «Фрам» (рис. 3). Это — вероятно ошибочное заключение, казалось бы, полностью подтверждалось результатами дрейфа станции «Северный Полюс-1» и л/п «Г. Седов» — они также двигались в основном по кратчайшему расстоянию к проливу «Фрам».

Первыми правильную позицию заняли в 1940 г. Н. Н. Зубов и М. М. Сомов [14]. Уточнив знаменитое «правило изобарического дрейфа льда» и используя к тому времени уже довольно подробные барические карты Арктического бассейна, они высказали суждение о том, что дрейф льдов и дрейфовые течения в азиатской части бассейна имеют преобладающий антициклонический характер. Однако прошло почти десять лет, пока появились первые подтверждения этого.

В. Т. Тимофеевым в 1949 г., а затем А. Ф. Трешниковым и М. Гудковичем в 1955 г. [34] были построены динамические карты течений Арктического бассейна по данным экспедиций «Север». Характерной особенностью поля изодинам явилась именно широкая антициклоническая циркуляция в канадском секторе бассейна (см. рис. 3). В дальнейшем дрейфы станций «Северный Полюс-2», «Арлис-1», «Т-3» и др. непосредственно подтвердили существование этой циркуляции и позволили значительно расширить представления о системе дрейфа льдов и течений бассейна. Ясно стало, что наряду с Трансарктическим течением и антициклонической циркуляцией, иногда возникают циклонические циркуляции в северных пределах морей и дополнительная антициклоническая — севернее Гренландии.

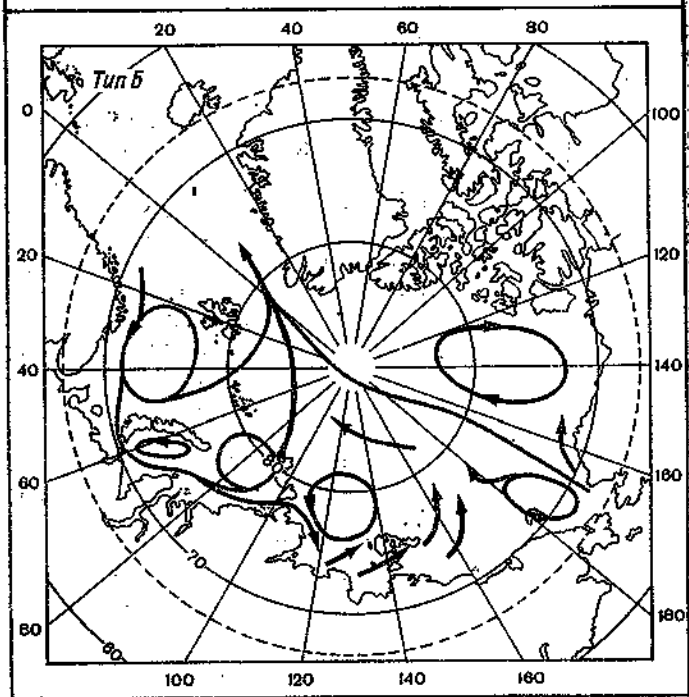
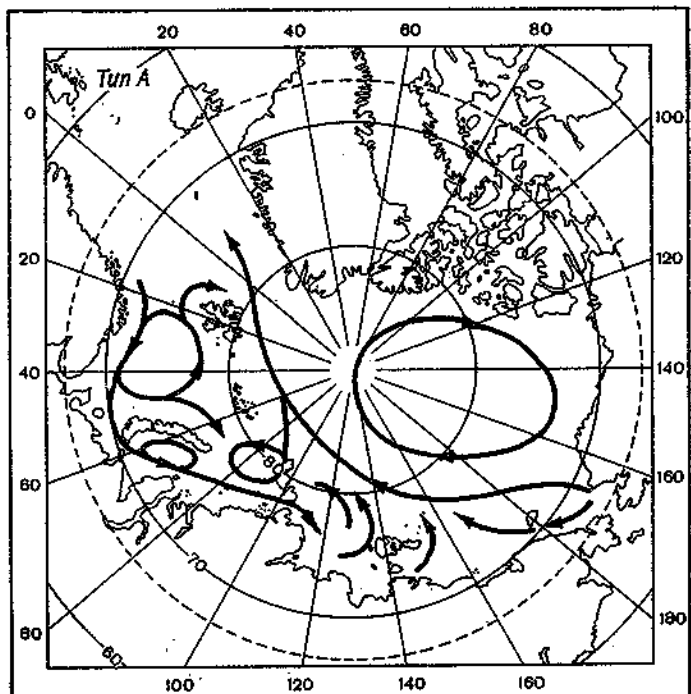
Таким образом, в первом приближении получается следующая упрощенная модель. Трансарктическое течение и его продолжение — Восточно-Гренландское течение — выносят поверхностные воды и льды из Северного Ледовитого океана в Северную Атлантику. Из Атлантического и Тихого океанов в Северный Ледовитый океан приносятся относительно теплые и соленые воды, которые в Арктическом бассейне погружаются под поверхностные, холодные и распресненные, и распространяются как глубинные (атлантические) и промежуточные (зимние и летние тихоокеанские). Конвекция и турбулентное перемешивание способствуют смешиванию этих вод между собой, так что через пролив «Фрам» выносятся, кроме поверхностных вод, смесь вод различного происхождения.

Со времен Ф. Нансена возник и продолжает обсуждаться до настоящего времени вопрос о причине поступления вод смежных

3. Эволюция представлений о дрейфе льдов и постоянных поверхностных течениях Арктического бассейна до 1940 г. (а) и после конца 40-х — начала 50-х годов в изодинамах (б):

1 — генеральный дрейф «Фрама» (1893—1986 гг.); 2 — генеральный дрейф станции «Северный Полюс-1» (1937/38 г.); 3 — генеральный дрейф л/п «Г. Седов» (1937—1940 гг.).

Стрелками показан предполагавшийся вынос льдов и вод из морей и бассейна.



кеанов в Северный Ледовитый. Ф. Нансен считал, что поступление атлантических вод вызвано циркуляцией из-за горизонтального градиента плотности морской воды. Некоторые исследователи, начиная с Ю. М. Шокальского, пришли к выводу, что сток вод из бассейна носит компенсационный характер. Другие считали, что вынос вод является следствием действия ветров в основном под влиянием нагонного эффекта вдоль восточного побережья Гренландии [17].

Однако после работ В. С. Антонова и З. М. Гудковича [1, 12] стало ясно, что имеются два фактора, определяющие водообмен Северного Ледовитого океана с прилежащими океанами: преобладание приходистой статьи пресноводного баланса над расходной и наличие значительного результирующего ветра над всем бассейном в сторону пролива «Фрам». Один фактор вызывает вертикальную плотностную циркуляцию вод, описанную выше, второй — приводит к выносу поверхностных вод из бассейна и усиливает таким образом поступление вод в Северный Ледовитый океан, том числе тихоокеанских, и нижнюю ветвь термохалинной циркуляции в самом бассейне. По предварительным оценкам вклад вливания стока рек в результирующий водообмен Северного Ледовитого океана с Атлантическим достигает 35 % [18].

Площадные океанографические съемки позволили установить изменчивость циркуляции вод и льдов в бассейне и ее связь с условиями в арктических морях. Так, анализ карт динамической типологии, составленных по данным за 1949—1960 гг., выполненный М. Гудковичем, показал, что можно выделить два типа циркуляции вод (и льдов). Один из них характеризуется мощным развитием антициклонического круговорота и смещением под его влиянием Трансарктического течения к северным границам морей бирского шельфа. В этом случае из морей преобладает вынос льдов в бассейн. Другой тип соответствует слабому развитию круговорота и отступлению оси Трансарктического течения глубь бассейна. В этом случае в арктических морях формируются циклонические круговороты вод, способствующие приносу льдов из Арктического бассейна в западные части морей (рис. 4) [11].

Следует отметить, что положение Айонского массива — основного препятствия для мореплавания в восточных морях сибирского шельфа, — определяется положением дельты изодинам. В первом случае дельта (и массив) занимают в Восточно-Сибирском море западное положение, во втором — неблагоприятное восточное. К сожалению, это один из немногочисленных примеров, когда в рамках режимных исследований искались связи между ледовыми и океанографическими процессами.

4. Типы циркуляции поверхностных вод в Арктическом бассейне и окраинно-арктических морях (по З. М. Гудковичу) при развитом арктическом антициклоне (тип А), при угнетенном антициклоне (тип Б).

Принципиальная роль, которая отводится исследованиям циркуляции Северного Ледовитого океана, обусловлена тем, что процессы переноса вод и льдов, тепла, солей и др. занимают одно из центральных мест в механизме изменения его состояния, включая изменения ледовитости арктических морей. Поэтому вскрытие закономерностей является важнейшей среди фундаментальных проблем океанологии и имеет большое значение для создания физических основ метода прогноза ледово-гидрологического режима.

Установлено, что циркуляция и водообмен вод и льдов океана определяются тремя основными внешними факторами: анемобарическим, притоком пресных вод (преимущественно за счет речного стока) и термохалинным. Своеобразие действия этих факторов заключается в том, что основные особенности циркуляции поверхностных и глубинных вод океана обуславливаются по существу анемобарическими условиями и положительным пресноводным балансом. При этом термохалинные факторы лишь усиливают устойчивость циркуляции к короткопериодным внешним воздействиям. В придонных слоях океана циркуляция и водообмен по своей природе являются термохалинными, причем как структура циркуляции, так и водообмен обуславливаются внешними термохалинными факторами в сравнительно небольшом по площади ($0,1-0,2$ млн км²) районе Северо-Европейского бассейна. Анемобарические условия и пресноводный баланс океана играют при этом, по-видимому, второстепенную роль.

Таким образом, природа циркуляции водных масс Северного Ледовитого океана относительно выяснена. Сложнее дать количественные оценки переносов вод и льдов. Вместе с тем, значение последних представляет особый интерес, так как, во-первых, позволяет определить удельный вес отдельных явлений и процессов формирующих состояние океана, а, во-вторых, позволяет обеспечить народное хозяйство важной информацией, особенно прогностического характера.

Поскольку океанская среда относится к разряду сложных систем, которые исследуются главным образом методами математического моделирования, то разработка диагностической модели совместной циркуляции вод и льдов в Северном Ледовитом океане до сих пор является актуальной задачей полярной океанологии.

Таким образом, наблюдения экспедиций института — воздушных высокоширотных «Север» и дрейфующих станций «Северный Полюс», позволили уже в 50-х годах установить основные черты (макроструктуру) строения вод бассейна. Важно при этом, что в состав наблюдений входили метеорологические гидрохимические и гидробиологические определения. Их данные как индикаторы наряду с полями температуры и солености позволили установить происхождение водных масс бассейна и в ряде случаев сыграть роль трассеров. Особенно это касается вод тихоокеанского происхождения и «эндемичных» вод.

Тем самым был сделан первый и главный шаг в исследовании гидрологического режима Арктического бассейна. Его значение

особенно велико, если принять во внимание, что знание структуры водных масс позволяет обоснованно судить об их генезисе, характере водообмена с окружающими океаническими бассейнами и циркуляции вод (последнее следует из того, что за длительные промежутки времени движение вод близко к изопикническому). Важно подчеркнуть, что все это — результат применения нового метода наблюдений — площадных океанологических съемок с помощью авиации, производившихся путем посадки самолета на лед в окрестности заранее намеченного места.

Можно без преувеличения отметить, что с открытием подводной горной страны в Арктическом бассейне (точнее — рифтового хребта Гаккеля) была завершена эпоха великих географических открытий. Установление же структуры его водных масс, Трансарктического течения и Канадского антициклонического круговорота оказались последними великими океанографическими открытиями на Земле.

Однако площадные съемки составили эпоху не только в методах наблюдений. Ими ознаменовался переход от периода первоначального ознакомления с режимом бассейна к его целенаправленным исследованиям, что привело к кардинальным изменениям во взглядах на структуру водных масс, циркуляцию вод и льдов, на связь процессов в бассейне и арктических морях и, в конечном счете, на гидрологический режим региона, связь колебаний его режима с барическим и термохалинными факторами. Это создало предпосылки для перехода от общегеографических и физико-статистических методов исследования режима к его численному моделированию, а затем и к теоретическому описанию всего комплекса основных процессов в целом.

Океанография арктических морей. При решении одной из своих основных задач — гидрометеорологического обеспечения транспортных операций на трассе Северного морского пути Арктический институт опирался на развитую сеть полярных гидрометеорологических станций. К 1945 г. на арктическом побережье островах (от Новой Земли до Берингова пролива) их насчитывалось уже 75. Кроме метеорологических наблюдений, на всех станциях велись прибрежные гидрологические и визуальные ледовые наблюдения. К этому же времени институт располагал уже около 8000 гидрологическими, в том числе станциями с длительными инструментальными наблюдениями за течениями.

Большой материал, собранный морскими экспедициями института (так называемым «ледовым патрулем», работы которого продолжались и во время Великой Отечественной войны) и полярными станциями, позволил в основных чертах осветить гидрологический режим морей сибирского шельфа, в том числе для всех морей составить котидальные карты, атласы течений для основных проливов трассы, вычислить гармонические постоянные приливов для 165 пунктов трассы и многое другое [10, 22, 24].

В этот период выполнен ряд основополагающих работ по океанографическому режиму арктических морей, и в частности,

Карского, одного из наиболее изученных к тому времени. Здесь следует отметить работы К. А. Гомоюнова [10], А. Ф. Лактионова [22], П. Г. Лобзы [23] — фундаментального исследования по химической океанографии.

Среди прочих результатов в монографии [23] содержится важный вывод о том, что «солевой скелет» вод является одним из надежных показателей их происхождения и создает хорошую основу для определения водных масс морей. Это направление — исследование гидрохимических показателей океанографических процессов, в последующие годы трудами А. В. Бельшевой, А. П. Русанова и др. получило дальнейшее и интересное развитие. В это же военное время В. Б. Штокманом заложены основы знаменитой теории «полных потоков» [43].

Ряд исследований, выполненных в институте до 1945 г., позволили В. Х. Буйницкому говорить: «...о новом этапе в развитии науки, который характеризуется изучением содержания явлений, раскрытием их сущности и взаимосвязи» [13, с. 17]. Уже к 1945 г. закончился период первоначального ознакомления с океанографическим режимом арктических морей и начался период теоретического осмысления и синтеза знаний о режиме.

Особенностью исследований морей в ААНИИ до 1954—1958 гг. был изолированный, поэлементный, подход к ним. Яркими примерами этого могут послужить раздельное изучение приливных колебаний уровня и приливных течений, непериодических колебаний уровня и ветровых течений. Конечно, это объяснялось недостаточностью данных наблюдений за течениями и уровнями в открытых частях морей сибирского шельфа. Систематические наблюдения за уровнем имелись только на достаточно развитой сети полярных станций на побережье и островах морей.

Пионером совместных исследований единого приливного процесса на акваториях морей и их участков была в 1957—1959 гг. А. В. Коптева, применившая (в то время «вручную») численные гидродинамические методы расчета приливов. При этом конечно, был неизбежным расчет всех характеристик приливных волн. Однако применение численных методов сразу предъявило особые требования к исходным для расчетов данным (прежде всего, для постановки граничных условий на жидких границах) и данным, используемым для проверки расчетов. В связи с этим были организованы одновременные измерения течений и уровней на сети многосуточных автономных буйковых станций в открытом море. Эти работы проводились экспедициями по исследованию течений, организованными Г. А. Баскаковым в 1956—1958 гг. при активной поддержке И. В. Максимова и В. В. Фролова (бывшего в то время директором института) во всех морях сибирского шельфа [3].

Благодаря сочетанию натурных наблюдений и численных методов, А. В. Коптевой и ее коллегам удалось получить совершенно новые сведения о явлении прилива на многих акваториях арктических морей, получившие впоследствии и новые подтверждения

Долговременные наблюдения за течениями на многочисленных буйковых станциях, выполненные экспедициями по изучению течений, позволили составить ряд принципиально новых атласов неперiodических течений и приливов практически всех морей и узловых участков Северного морского пути. Это явилось следующим важным шагом в исследованиях динамики морей, начатых ранее И. В. Максимовым [24] и его коллегами.

Следует отметить, что и эти данные были получены в результате прогресса в методике организации наблюдений, вытекающей из требований обеспечения применения численных гидродинамических методов исследований, и в методике собственно наблюдений. Последнее было обеспечено двумя изобретениями: конструкцией автономных буйковых станций (носитель Ю. А. Алексеева) и буквопечатающего измерителя течений (знаменитой БПВ) с автономностью работы до полутора-двух месяцев (измеритель И. Н. Овсянникова). Сочетание этих двух технических средств сделало не только технически возможной, но и экономически доступной организацию долговременных площадных съемок (синхронных площадных наблюдений) с помощью одного исследовательского судна-носителя буйковых систем [4]. Впоследствии эта методика получила широкое распространение среди научно-исследовательских организаций как в нашей стране, так и за рубежом. Дальнейший прогресс в этой области связан с появлением в ААНИИ первой ЭВМ. С этого момента началось интенсивное знедрение численных гидродинамических методов в исследовательскую и прикладную деятельность института.

Синтез знаний об элементах океанографического режима морей. Поэлементное изучение ледово-гидрологического режима имело свои положительные стороны. Таким образом накапливались детальные знания о каждом из элементов как с количественной стороны, так и с точки зрения механизмов их развития. Значительную роль в количественном описании многих элементов режима морей сыграли работы Н. Н. Зубова, обобщенные в монографиях [15, 16] в 1944—1947 гг.

Следующей задачей стал синтез полученных знаний и создание количественной теории ледово-гидрологического режима. Эту задачу для морей поставил и численно решил Ю. П. Доронин в 1960—1965 гг. [14]. В ней были соединены разнообразные элементы режима (теплообмен морей с атмосферой, конвективное и урбулентное перемешивание в деятельном слое, течения) в присутствии и отсутствия ледяного покрова. Это позволило качественно оценить вклад всех элементов режима в формирование термодинамики деятельного слоя моря и ледяного покрова — от тедообразования до нарастания льда до навигационно-лимитирующих толщин и дало возможность составлять прогнозы пересисленных элементов расчетными методами по некоторым начальным и граничным условиям, данные для формулировки которых собирали морские экспедиции. При этом часть начальных усло-

вий могла не использоваться для прогноза. Возможные ошибки, возникающие при этом, были априорно определены.

К сожалению, этот результат не вполне выдержал проверку временем: требования к точности и пространственной полноте обеспечения необходимых исходных данных не могли быть обеспечены силами одних морских экспедиций. В итоге практическое прогнозирование вернулось на путь физико-статистических методов. Выдающийся теоретический результат был получен Б. А. Крутских, установившим закономерности изменчивости режима арктических морей в периоды от 4 до 10 суток, названные им «естественными гидрологическими периодами». Исходная идея этого исследования — генетическое единство ледово-гидрологических процессов в арктических морях, управляемых на этих промежутках времени метеорологическими процессами [19]. Анализ натуральных данных, выполненный Б. А. Крутских, позволил выделить типы ледово-гидрологического режима и, что главное с прогностической точки зрения, предвестники смены типов. Это было довольно неожиданно, поскольку предсказателями оказались тенденции изменения уровня, рассмотренные во всех морях Северного морского пути от Карского до Чукотского.

Составленные карты типовых распределений течений, дрейфа льда и уровней послужили основой понимания развития комплексного состояния морей. На этой основе Ю. А. Вандой и Б. А. Крутских был разработан метод комплексного прогноза ледово-гидрологических условий в арктических морях [8], который был внедрен и до настоящего времени используется в качестве основного во всех арктических управлениях гидрометслужбы на трассе Северного морского пути.

Любопытно отметить, что «дух времени» сказался и в этом исследовании: типовые схемы течений, оказавшиеся весьма полезными для понимания практических последствий прогнозов, были рассчитаны численными гидродинамическими методами. В этом есть некоторая неопределенность. Почему именно океанографические признаки — тенденции изменения уровня оказались индексами изменения типов комплексного режима, а не тенденции в изменении синоптических процессов? Ведь ведущими подразумевались именно они. Это, возможно, предмет дальнейших исследований. Однако исходными оказались (в который раз!) именно океанографические процессы.

Пожалуй, здесь исходный пункт для дальнейших изысканий, видимо, метеорологические и океанографические процессы, даже на временных масштабах 4—10 суток, связаны между собой так, что по ходу одних можно предсказывать развитие других.

Таким образом, путь от поэлементного изучения океанографического режима до синтеза элементов в единый комплексный процесс занял почти 30 лет. Темпы развития по этому пути зависят от поддержки со стороны административного руководства. И это следует учитывать при планировании и руководстве развитием науки в институте.

Последующее развитие. К этому времени накопилось много неясных вопросов, касающихся Арктического бассейна. Это — циркуляция атлантических, глубинных и донных вод, поскольку оказалось, что эти явления имеют отношение к климатическим изменениям в северной полярной области.

В связи с этим были выполнены научные исследования, посвященные данным вопросам. Возможные изменения циркуляции в этих регионах были рассчитаны Л. Н. Беляковым, В. А. Волковым и В. И. Пономаревым [5]. Расчеты выполнены по заданным полям плотности воды и без учета ледяного покрова. Получалось, что от года к году циркуляции изменялись практически на противоположные. Однако данные наблюдений свидетельствовали о том, что они изменялись монотонно. Следовательно, эти расчеты, в значительной мере основанные на теории А. С. Саркисяна, были не точны.

Гораздо ближе к наблюдаемым фактам оказались результаты А. Ю. Прошутинского [33]. Путем численного моделирования он продемонстрировал, что эти изменения происходят постепенно в соответствии с толщиной взаимодействующих слоев и их заглублением. Кроме того, А. Ю. Прошутинскому удалось посредством численных экспериментов оценить вклад различных факторов (атмосферного давления, ветра, бароклиных эффектов, материкового стока) в формирование циркуляции океана. Одновременно ему удалось объяснить ряд эмпирически установленных фактов, касающихся перестройки бароклиной структуры Северного Ледовитого океана под воздействием различных внешних факторов. К этой проблеме относятся исследования М. Ю. Кулакова и В. К. Павлова в области создания диагностической модели циркуляции вод Северного Ледовитого океана [21], а также исследования для создания надлежащей теоретической базы строительства дамбы, защищающей Петербург от наводнений [20, 29], в которых предложен принципиально новый подход к учету влияния природного трения на циркуляцию вод в мелководных водоемах. Постепенно определяется подход к особенностям описания течений и перераспределения полей плотности Северного Ледовитого океана в синоптических, мезо- и макро- (включая климатические) пространственных и временных масштабах [30, 31].

Дальнейшее развитие теории крупномасштабной циркуляции вод и льдов в океане пойдет, несомненно, по пути учета не только динамических, но и термических процессов в ледяном покрове и, в первую очередь, таяния и нарастания льда. Это следует из двух обстоятельств: при попытке построить теорию гидрологического режима Северного Ледовитого океана необходимо считаться с сезонным ходом ледово-гидрологических процессов. Многие особенности их режима могут быть объяснены только при его учете. С другой стороны, в «локальный» пресноводный баланс вклад таяния и нарастания льдов (с учетом сказанного выше) на всех акваториях Северного Ледовитого океана равен или превосходит вклад материкового стока. Таким образом, полная теория возмож-

на лишь в виде термодинамической теории ледово-гидрологического режима.

Вместе с тем, в последующие годы значительное внимание уделялось исследованию и теоретическому описанию процессов мезомасштаба в подледном слое океана. Удалось, в частности, объяснить часто наблюдаемое здесь явление длительной инверсии температуры и солености воды существованием аналога «перемежающейся турбулентности» или, точнее, локальной обвальской конвекции. Причина существования инверсий — баланс между архимедовыми силами и скоростным напором. При нарушении баланса между ними из-за уменьшения скоростного напора возникает быстрая плотностная конвекция, разрушающая инверсию. Теоретические исследования мезомасштабных явлений в подледном слое обобщены в монографии [9].

Новый подход к исследованиям океанографических процессов, который можно назвать системным, привел к возникновению новых вопросов: как действует эта система, каковы ее механизмы и управляющие ими закономерности, как связаны части (подсистемы) между собой и другими системами (прилегающими океанами, атмосферой, материковым стоком и др.)? Поэтому привлечение атмосферных процессов к совместному анализу вполне естественно.

Как известно, атмосфера и океаны Земли — «связная термодинамическая система». Поэтому любое локальное возмущение отражается на режиме работы системы в целом. Особенно это касается атмосферы, в которой возмущения быстро передаются от места к месту, за считанные недели распространяясь по всему полушарию. Отличительной особенностью возмущений в океане является сохранение в целом «геометрии» циркуляционного механизма. Поэтому возмущения в океане в основном, с крупномасштабной точки зрения, сводятся к изменению лишь интенсивности процессов. Океанские процессы более инертны, все термохалинные возмущения в нем передаются течениями, если не учитывать в передаче возмущений атмосферных процессов в результате взаимодействия атмосферы с океаном. Поэтому существенные изменения в состоянии океана возникают лишь в тех случаях, когда возмущения велики по масштабам и происходят в ключевых районах циркуляции вод — прежде всего во фронтальных зонах и в районах формирования вод.

В атмосфере крупные аномалии, термические и циркуляционные, могут охватывать районы, сравнимые по размерам с континентами. При этом направления воздушных переносов могут длительное время меняться на обратное по сравнению с климатической нормой, что часто и наблюдается в умеренных и высоких широтах.

В этом и состоит одна из диалектических особенностей взаимодействия океана и атмосферы. Океан не только, как сейчас всеми признано, является источником длительных аномалий атмосферных процессов, но одновременно и стабилизирует атмосферные

процессы, делая невозможным их развитие за длительные промежутки времени по принципу «как угодно», детерминируя их наряду с такими мощными стабилизирующими факторами, как зональность и распределение океана и суши.

Наиболее ярко все перечисленные особенности проявляются в средних и особенно в высоких широтах, где одновременно наблюдаются и наибольшие климатические колебания. Это определяет особенно важную роль высоких широт в возбуждении аномалий поведения системы «океан — атмосфера — суша». Практически это, конечно, означает признание ведущей роли высоких и умеренных широт в процессах возникновения аномалий в процессах взаимодействия океана и атмосферы.

Климатические колебания — это и долгопериодные изменения гидрометеорологического режима (сотни и более лет) и многолетние (5—6 и 20—40 лет). Относительно природы последних можно с большой долей вероятности утверждать, что они могут вызываться внутренними относительно системы «океан — атмосфера» причинами, и нашей задачей является поиск механизмов таких колебаний — конкретных гидрометеорологических механизмов термодинамической природы. Относительно же палеоклиматических изменений, будем полагать, что они имеют другую природу, например, геологическую или связаны с колебаниями притока солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы.

Попытки подойти к анализу этих процессов путем расчетов обнаружили ряд вопросов, совершенно «не созревших» для этого. Так, полуэмпирические формулы для расчета теплообмена океана с атмосферой показали расхождение между собой на 1—2 порядка величин. Сходные проблемы возникли с расчетом других элементов. Это привело к необходимости провести одновременные наблюдения всех основных элементов системы «океан — атмосфера» с тем, чтобы в рамках неких замкнутых балансовых расчетов получить непосредственные количественные оценки каждого из элементов, которые не поддаются непосредственным измерениям. Программа таких наблюдений была составлена [32] и реализована в 1976 г. практически во всей северной полярной области с помощью научно-исследовательских судов, самолетов, автономных буйковых станций и искусственных спутников Земли.

Главными результатами этого крупномасштабного эксперимента явились количественные оценки вклада адвекции, теплообмена океана с атмосферой и радиационного баланса в межсезонные изменения теплового состояния вод и атмосферы в районе эксперимента, впервые полученные путем прямых инструментальных измерений и основанных на них расчетах [27].

Однако результаты оказались гораздо шире и содержательнее. Дело в том, что для уточнения некоторых не вполне ясных деталей структуры и циркуляции вод в районе эксперимента, наблюдения по регулярной сети океанографических станций начались в 1973 г. и закончились в 1978—1982 гг. в зависимости от района.

Среди последних результатов наиболее важными, по-видимому, являются следующие.

До этого времени предполагалось, что процессы в атлантических водах Арктического бассейна, а тем более в донных и глубинных водах Северного Ледовитого океана — это стационарные процессы, практически не влияющие на явления, развивающиеся в более высоко расположенных слоях вод. Однако данные натурального эксперимента неожиданно показали, что характеристики глубинных атлантических и донных вод в Арктическом и Северо-Европейском бассейнах испытывают и многолетние и межгодовые колебания. При этом общее теплосодержание слоев изменяется в пределах до мегакалорий [27].

Это радикально меняет существовавшие ранее представления о процессах. Анализ показал, что с учетом новых обстоятельств взаимодействие бассейнов Северного Ледовитого океана и его окружающими океанами оказывается более сложным. Стало, в частности, ясно, что существуют, по крайней мере, два пути возбуждения колебаний водообмена (с сопутствующими тепло- и солеобменом) между бассейнами.

Первый путь — в горизонтальной плоскости, когда усиление притока теплых вод в океан вследствие сопряженности течений сопровождается выносом распресненных и холодных вод. Наличие положительных и отрицательных прямых и обратных связей в этой системе обуславливает возникновение многолетних автоколебаний с периодом 2—3 и 6—8 лет [25, 26].

Второй путь — циркуляция в вертикальной плоскости. В этом случае увеличение объемов образования донных вод в Северо-Европейском бассейне и поступления их в Арктический ведет к усилению притока вод Арктического бассейна на юг, с одной стороны, и усилению Североатлантического течения — с другой [25, 27]. Таким образом, условия образования донных вод также являются фактором, возбуждающим бароклинную циркуляцию Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики. Высокие широты при этом (аналогичная ситуация имеет место и с донными водами Антарктики) оказываются районами инициирования, возбуждения и регулирования ее колебаний, на этот раз более долгопериодных, возможно, порядка 10—20 лет [26] (напомним, что в связи с изменением терминологии все колебания указанных выше периодов сейчас определяются как климатические).

Как видно из изложенного, в действительности в пределах океана имеется целая цепь механизмов, каждый из которых ответствен за возникновение колебаний режима в определенной полосе периодов. Все эти механизмы сложно связаны между собой так, что колебаний режима оказываются довольно прихотливо модулированными как по амплитуде, так и по частоте.

Из широкого круга вопросов, охватываемых изложенными направлениями режимных работ, был выбран, как представляется, наиболее важный на том этапе развития полярной океанологии —

исследование структуры и причин крупномасштабных колебаний ледово-гидрологического и метеорологического режима Северного Ледовитого океана. Это решение мотивировано постоянно растущим интересом со стороны практики к долгосрочным (вплоть до климатических) гидрометеорологическим прогнозам вообще и океанографическим в частности. Задача перечисленных исследований — углубление физической обоснованности методов ледово-гидрологических прогнозов.

Кроме исследований по климату Северного Ледовитого океана (его океанической, атмосферной и ледовой составляющих), в последние годы большое внимание стало уделяться океанографическим аспектам экологии полярных районов [39].

Поступила 15.02.95 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В. С. Природа движения вод и льдов Северного Ледовитого океана//Тр. ААНИИ. — 1968. — Т. 285. — С. 148—177.
2. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. — М.: Изд-во ГУНИО МО СССР ВМФ, 1980. — 184 с.
3. Баскаков Г. А., Коптева А. В. Экспедиция по исследованию течений Карского моря в 1956 г.//Проблемы Арктики. — 1958. — Вып. 3. — С. 122—123.
4. Баскаков Г. А., Кудрявцев Н. Ф. Долговременные автономные станции наблюдений над течениями в открытом море//Проблемы Арктики. — 1957. — Вып. 2. — С. 93—96.
5. Беляков Л. Н., Волков В. А., Пономарев В. И., Чернышев А. Ф. Особенности межгодовой изменчивости циркуляции вод Арктического бассейна//Докл. АН СССР. — 1984. — Т. 276. — № 4. — С. 946—949.
6. Блиннов Н. И., Никифоров Е. Г. Структура и гидрологическая гиппизация вод в Арктическом бассейне//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1991. — Вып. 66. — С. 211—223.
7. Буйницкий В. Х. Научные результаты экспедиции/Тр. дрейфующей экспедиции Главсевморпути на л/п «Г. Седов» 1937—1940 гг., т. IV. — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1951. — 356 с.
8. Ванда Ю. А., Крутских Б. А., Мустафин Н. В. Метод комплексного прогноза малой заглаговременности ледово-гидрологических условий в арктических морях//Метеорология и гидрология. — 1985. — № 3. — С. 90—96.
9. Вертикальная структура и динамика подледного слоя океана. — Л.: Гидрометеониздат, 1989. — 141 с.
10. Гомоюнов К. А. Статистика и динамика водных масс Карского моря. — Л.: Фонды ААНИИ, 1945. — 210 с.
11. Гудкович З. М. Связь дрейфа льдов в Арктическом бассейне с ледовыми условиями в арктических морях//Тр. Океанограф. комис. АН СССР. — 1961. — Т. 11. — С. 13—20.
12. Гудкович З. М., Никифоров Е. Г. Экспериментальное исследование системы постоянных течений в Арктическом бассейне//Тр. ААНИИ. — 1963. — Т. 254. — С. 129—154.
13. XXV лет научной деятельности Арктического института. — Л. — М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. — 401 с.
14. Доронин Ю. П. Тепловое взаимодействие атмосферы и гидросферы в Арктике. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 300 с.
15. Зубов Н. Н. Динамическая океанология. — М.: Гидрометеониздат, 1947. — 429 с.

16. Зубов Н. Н. Льды Арктики. — М.: Изд-во Главсевморпути, 1944. — 396 с.
17. Зубов Н. Н., Сомов М. М. Дрейф льда в центральной части Арктического бассейна//Проблемы Арктики. — 1940. — № 2. — С. 23—31.
18. Иванов В. В., Никифоров Е. Г. Проблемы оценки возможных последствий переброски части стока для устьевых областей рек и морей Арктической зоны/Межзональное перераспределение водных ресурсов. — Л.: Гидрометеиздат. 1980. — С. 202—240.
19. Крутских Б. А. Основные закономерности изменчивости режима арктических морей в естественных гидрологических периодах. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 92 с.
20. Кудрявцев Н. Ф., Павлов В. К. Об учете придонного трения при расчетах установившихся течений баротропного моря//Тр. ААНИИ. — 1983. — Т. 380. — С. 24—28.
21. Кулаков М. Ю., Павлов В. К. Диагностическая модель циркуляции вод Северного Ледовитого океана//Тр. ААНИИ. — 1987. — Т. 413. — С. 5—16.
22. Лактионов А. Ф. Северный полюс. — Л.: Морской транспорт, 1955. — 470 с.
23. Лобза П. Г. Химия Карского моря. Скелет солевого состава//Тр. ААНИИ. — 1947. — Т. 27. — 120 с.
24. Максимов И. В. Атлас приливо-отливных и постоянных течений в проливе Карские ворота. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1937. — 99 с.
25. Никифоров Е. Г. Механизмы колебаний ледово-гидрологического режима Северного Ледовитого океана. — М.: Препринт № 1 Семинара «Атмосфера — океан — космос», 1980. — 8 с.
26. Никифоров Е. Г., Шпайхер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 269 с.
27. Никифоров Е. Г., Блинов Н. И., Лукин В. В. Некоторые результаты экспедиционных исследований по программе «ПОЛЭКС-Север-76»//ПОЛЭКС-Север-76», ч. 1. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — С. 129—148.
28. О наименовании физико-географических объектов, расположенных за пределами СССР//Вестник АН СССР. — 1974. — № 9. — С. 125—126.
29. Павлов В. К. Метод расчета ветровых течений в мелководном бассейне с островами и припайным льдом//Тр. ААНИИ. — 1983. — Т. 380. — С. 28—33.
30. Проблемы Арктики и Антарктики. — 1970. — Вып. 36—37. — 256 с.
31. Проблемы Арктики и Антарктики. — 1991. — Вып. 66. — 314 с.
32. Программа «ПОЛЭКС-Север-76». — Л.: Репрогр. ААНИИ, 1976. — 115 с.
33. Прошутинский А. Ю. Колебания уровня Северного Ледовитого океана. — СПб: Гидрометеиздат, 1993. — 216 с.
34. Тимофеев В. Т. Водные массы Арктического бассейна. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 191 с.
35. Тимофеев В. Т. Метод анализа водных масс в изопикнических поверхностях//Проблемы Арктики. — 1945. — № 4—5. — С. 7—16.
36. Тимофеев В. Т., Панов В. В. Косвенные методы выделения и анализа водных масс. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 287 с.
37. Трешников А. Ф. Поверхностные воды в Арктическом бассейне//Проблемы Арктики. — 1959. — Вып. 7. — С. 5—14.
38. Трешников А. Ф., Баранов Г. И. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 158 с.
39. Трешников А. Ф., Короткевич Е. С. Проблемы экологии полярных областей. — М.: Наука, 1983. — 321 с.
40. Ширшов П. П. Океанологические наблюдения//Докл. АН СССР. — 1938. — Т. XIX. — № 8. — С. 569—580.

41. Ширшов П. П. Научные результаты дрейфа станции «Северный полюс»//Докл. на общем собрании АН СССР 14—17 февраля 1944 г.—М.—Л.: Изд. АН СССР, 1944.—С. 110—140.

42. Штокман В. Б. Основы теории T—S кривых как метода изучения перемешивания и трансформации водных масс моря//Проблемы Арктики.—1943.—№ 1.—С. 18—27.

43. Штокман В. Б. Теоретические основы вычисления стационарных геострофических течений по данным океанографических измерений//Проблемы Арктики.—1941.—№ 2.—С. 7—17.

44. Nansen F. The Norwegian Nort Polar Expedition 1893—1896 cristiania//Scientific Results.—1902.—Vol. III.—390 p.

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА

Систематические океанографические исследования Южного океана были начаты в нашей стране в 1956 г., когда при Академии Наук была создана Комплексная антарктическая экспедиция для проведения работ в Антарктике по программе Международного геофизического года (МГГ). В 1958 г. организация и руководство антарктической экспедицией были возложены на Арктический и антарктический научно-исследовательский институт и вот уже более трех десятилетий он является ведущим научным центром страны по изучению Антарктиды и Южного океана. В настоящее время осуществлено 38 антарктических экспедиций и в каждой из них в том или ином объеме проводились океанографические работы как по пути следования научно-исследовательских судов, так и в определенных районах Южного океана по специально разработанным программам.

Океанографические работы в Южном океане в первых экспедициях были направлены на получение сведений о режиме антарктических вод 60-х широт и вод умеренных широт индийского и тихоокеанского секторов океана. При этом основными задачами исследований являлись изучение теплового и динамического режима вод, гидрологического и ледового режима окраинных морей Антарктики, и водо-и теплообмен с прилегающими районами Мирового океана и атмосферой. Для проведения океанографических работ в течение 19 лет использовался флагман антарктической экспедиции д/э «Обь».

Наиболее полным объемом океанографических исследований в Южном океане отличаются первые три морские антарктические экспедиции, проводившиеся в период подготовки и проведения МГГ. В этот период (летне-осенние сезоны 1956—1958 гг.) с борта д/э «Обь» было выполнено около 500 глубоководных гидрологических станций. Исследования велись на 13 меридиональных разрезах разной протяженности. При этом изучались термохалинная и гидрохимическая структура, циркуляция вод, волнение, ледовые условия и распределение айсбергов, физико-механические свойства морских льдов, геология и рельеф дна, взвеси, планктон, бентос, ихтиофауна.

Три первые морские антарктические экспедиции имели в своем составе несколько отрядов по разным научным дисциплинам и насчитывали более 100 человек от академических и отраслевых институтов и других организаций страны. Руководство морскими исследованиями осуществляли известные в научном мире ученые-исследователи В. Г. Корт и И. В. Максимов.

С окончанием МГГ объем океанографических работ Советской антарктической экспедиции (САЭ) значительно сократился, одна-

ко гидрологические и ледовые наблюдения с целью дальнейшего накопления натурных данных проводились при первой возможности.

Начиная с 4-й САЭ и во всех последующих экспедициях океанографические работы на судах экспедиции осуществлялись морским отрядом из 10—15 человек, руководителями которого, как правило, являлись сотрудники Арктического и антарктического научно-исследовательского института. В разное время работами морского отряда руководили: В. Н. Ботников (11, 17, 19, 21, 23 и 26-я САЭ), А. М. Козловский (24, 28, 30, 31 и 35-я САЭ), Л. И. Ескин (12, 14 и 15-я САЭ), В. Г. Леденев (6, 8 и 10-я САЭ), Ю. А. Григорьев (22 и 34-я САЭ), Е. Б. Леонтьев (18 и 25-я САЭ), И. В. Чугуй (27 и 30-я САЭ), И. П. Романов (9-я САЭ), А. А. Романов (20-я САЭ), В. А. Шамонтьев (7-я САЭ), Л. Г. Топорков (13-я САЭ).

В 60-е годы особенно интенсивно изучался гидрологический и ледовый режим морей Дейвиса, Космонавтов и Лазарева, на побережье которых находились антарктические станции Мирный, Молодежная и Лазарев. Кроме того, в открытом океане неоднократно выполнялись меридиональные гидрологические разрезы по 20° в. д., Мирный — Фримантл и Ленинградская — Новая Зеландия.

Гидрологические наблюдения, выполненные на судах Советской антарктической экспедиции в период 1956—1963 гг., а также полученные в разные годы материалы наблюдений зарубежных экспедиций стали основой для подготовки одного из наиболее обширных разделов «Воды и льды Южного океана» в «Атласе Антарктики», первый том которого был опубликован в 1966 г., а второй — в 1969 г. [1, 2].

Руководство подготовкой к печати Атласа и частичная разработка различных графических материалов осуществлялись сотрудниками антарктического отдела института, который возглавлял А. Ф. Трешников. Атлас Антарктики представляет собой первое наиболее крупное и значимое обобщение материалов многолетних исследований природы Антарктики разными странами. К моменту его издания значительно изменились и обогатились наши представления о природных явлениях Южного океана. В частности, были уточнены основные особенности пространственного распределения гидрологических элементов в океане, выявлены границы его водных масс и определена новая водная масса — шельфовые воды. Выделены новые окраинные моря Антарктики: Лазарева, Содружества, Рисер-Ларсена, Космонавтов, Моусона и Сомова. Построена более полная и совершенная схема циркуляции вод, а в циркуляции до этого почти не изученных антарктических вод была обнаружена серия окружающих континент стационарных циклонических круговоротов, наиболее обширными из которых являются круговороты Уэдделла и Росса. В ледовом поясе, окружающем Антарктиду, были выделены три наиболее крупных ледяных массива: Атлантический, Тихоокеанский и Балленский.

Однако, несмотря на достигнутые успехи в изучении гидрологического режима Южного океана, вскоре стало очевидно, что еще многие протекающие в океане процессы невозможно объяснить, опираясь на существующие представления о его режиме. Для решения этих проблем требовался комплексный подход к изучению океана с одновременным исследованием процессов, происходящих как в океане, так и в атмосфере.

В связи с этим в 70-е годы начался качественно новый этап изучения Южного океана, и почти два десятилетия исследования велись по специально разработанным программам. В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте под руководством А. Ф. Трешникова была разработана и вскоре стала международной программа экспериментальных и теоретических исследований Южного океана — «Полярный эксперимент-Юг» (ПОЛЭКС-Юг). Основными объектами изучения в океане являлись Антарктическое циркумполярное течение, Полярная фронтальная зона, крупномасштабные циклонические круговороты Уэдделла и Росса и окраинные антарктические моря.

В то же время в США была разработана программа «Международные исследования Южного океана» *ISOS*. Общность целей программ «ПОЛЭКС-Юг» и «*ISOS*» стала основой для соглашения, заключенного между СССР и США в 1975 г. по совместным экспедиционным исследованиям в Южном океане. Соглашение предусматривало обмен специалистами на экспедиционных судах, материалами наблюдений и публикациями.

Схема положения полигонов экспедиционных исследований, выполненных по программе «ПОЛЭКС-Юг» за период с 1974 по 1992 г. включительно показана на рис. 1.

Изучение Антарктического циркумполярного течения по упомянутой программе осуществлялось в 1974—1983 гг. За это время было проведено семь натурных экспериментов в районах пролива Дрейка, моря Скоша, Аргентинской котловины, между Африкой и Антарктидой, по меридиану 132° в. д. и в Австрало-Новозеландском секторе океана. Исследования велись с научно-исследовательских судов института «Профессор Визе» и «Профессор Зубов», в некоторых экспериментах принимали участие суда Министерства рыбного хозяйства и института океанологии АН СССР. Основной состав экспедиций состоял из сотрудников ААНИИ, а их руководство в разное время осуществляли Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов, В. Г. Савченко, В. А. Романцов и С. М. Прямыков.

При изучении структуры Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) впервые были выполнены прямые измерения скорости и направления течения с помощью самописцев, устанавливаемых на притапливаемых буйковых станциях. На исследуемых акваториях помимо этого проводились подробные гидрологические съемки с учащенным термохалинным зондированием в Полярной фронтальной зоне.

Следующим значительным этапом в натурных исследованиях Южного океана стало изучение структуры и циркуляции вод к югу

от АЦТ. Эта область площадью 35×10^6 км², называемая также антарктической зоной Южного океана, играет важную роль в глобальной климатической системе планеты. Здесь формируются

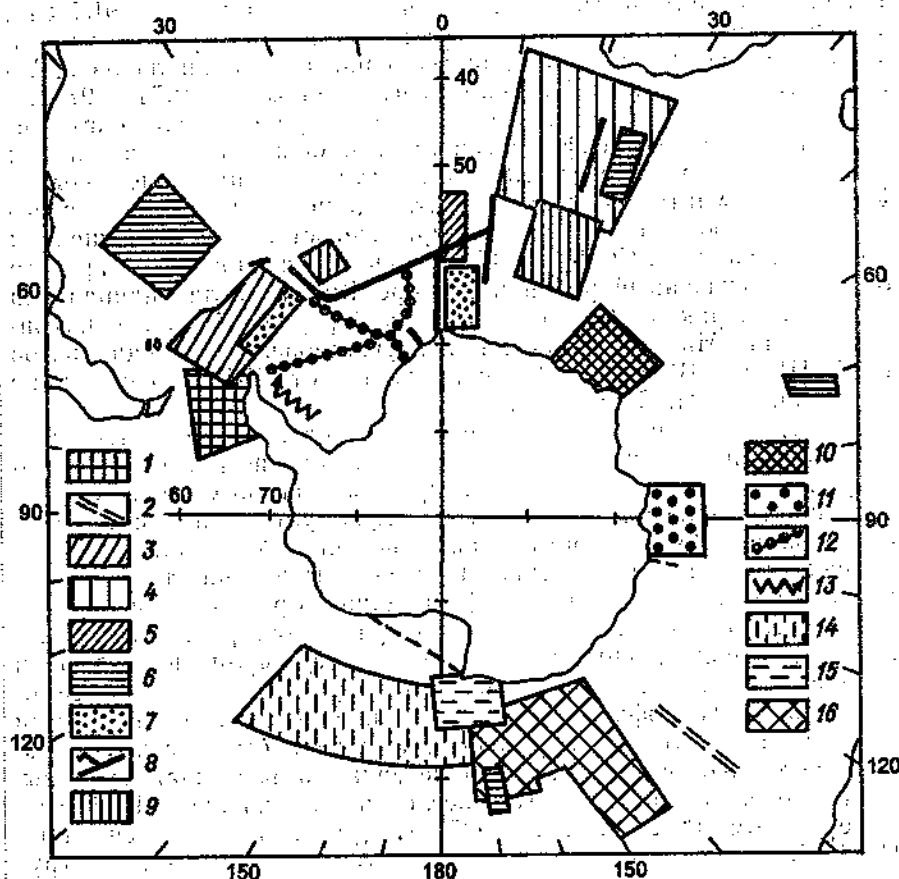


Рис. 1. Схема положения полигонов экспедиционных исследований по программе «Полярный эксперимент-Юг» за период с 1974 по 1992 г., выполненных с борта судов:

1 — «Профессор Зубов» (1975; 1976 г.); 2 — «Профессор Зубов» (1977 г.); 3 — «Профессор Зубов» (1978 г.); 4 — «Профессор Зубов», «Профессор Визе» (1979 г.); 5 — «Михаил Сомов» (1981 г.); 6 — «Профессор Зубов», «Дмитрий Менделеев», «Витязь», «Мстислав Келдыш» (1983 г.); 7 — «Профессор Визе» (1984 г.); 8 — «Профессор Зубов» (1987 г.); 9 — «Профессор Зубов» (1988 г.); 10 — «Леонид Демир» (1987 г.); 11 — «Михаил Сомов» (1978 г.), «Профессор Зубов» (1990 г.); 12 — «Академик Федоров», «Polarstern» (1989 г.); 13 — дрейфующая станция «Уэдделл-1» (1992 г.); 14 — «Профессор Визе», «Профессор Зубов» (1986 г.); 15 — «Академик Федоров», «Профессор Зубов» (1988 г.); 16 — «Профессор Зубов», «Профессор Визе», «Прилив», «Вола», «Мыс Юноны», «Мыс Тихий» (1981 г.).

антарктические донные воды, которые затем распространяются на север по абиссальным котловинам, формируя глобальный, направленный на юг поток тепла в верхних слоях. Основное внимание было сконцентрировано на изучении крупномасштабных цик-

лонических круговоротов антарктической зоны (круговороты Уэдделла и Росса) и окраинных антарктических морей.

Исследования круговорота Уэдделла начались с советско-американского натурного эксперимента «Уэдделл-ПОЛЭКС-81». Главной предпосылкой для его организации послужили результаты анализа спутниковых данных о распределении льдов в Атлантическом массиве. Согласно этим данным, в 1974—1976 гг. в зимний период в районе поднятия Мод существовала окруженная сплошными дрейфующими льдами обширная зона чистой воды площадью более 100 тыс. км², получившая название полыньи Уэдделла. Учитывая уникальность данного гидрофизического объекта в соответствии с межправительственным соглашением о сотрудничестве СССР и США в области исследований Мирового океана, в указанный район в октябре 1981 г. была направлена советско-американская экспедиция на борту научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов». В ней участвовало 13 специалистов из ААНИИ и ВНИРО и 13 специалистов от США. Экспедицию возглавлял Э. И. Саруханян.

В период экспедиции, проходившей в сложных ледовых условиях, был выполнен обширный комплекс океанографических, метеорологических, ледовых и гидробиологических наблюдений. В результате эксперимента была сформулирована физически обоснованная схема формирования полыньи Уэдделла, впервые описано состояние и особенности структуры океана, ледяного покрова и приземного слоя атмосферы данного района в зимний период, установлена важная климатообразующая роль района полыньи Уэдделла и круговорота в целом, сформулированы цели и задачи дальнейших исследований круговорота Уэдделла как самостоятельной гидрофизической системы. В соответствии с ними в последующие годы в круговороте Уэдделла было осуществлено еще несколько экспедиций. Его северная и восточная границы, а так же район поднятия Мод исследовались на нис «Профессор Визе» летом 1982, 1984 и 1987 гг. (руководитель экспедиций Н. В. Багрянцев), на нис «Профессор Зубов» летом 1988 г. (руководитель экспедиции А. И. Данилов).

Значительный вклад в исследование зимнего состояния круговорота Уэдделла внесла экспедиция, организованная ААНИИ совместно с Институтом полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (ФРГ) на научно-исследовательских судах «Академик Федоров» и «Polarstern». Эта экспедиция проводила работы в круговороте Уэдделла в сентябре—ноябре 1989 г. в период максимального развития ледяного покрова с целью исследования крупномасштабной океанической структуры круговорота, определения вертикальных потоков импульса тепла, соли в системе «океан—лед—атмосфера». За время работ было выполнено 127 судовых и 18 вертолетных гидрологических станций на нескольких пересекающих круговорот разрезах и на полигоне к западу от поднятия Мод. Впервые были проведены прямые измерения потоков тепла из океана в атмосферу.

К концу 80-х годов в круговороте Уэдделла оставалась не исследованной (из-за сложных ледовых условий) крайняя западная, прилегающая к Антарктическому полуострову акватория. Для проведения экспедиционных работ в этом районе была подготовлена и осуществлена совместная российско-американская экспедиция. В период с февраля по июнь 1992 г. с дрейфующего ледяного поля и с научно-исследовательских судов «Академик Федоров» и «Palmer» здесь был выполнен большой комплекс исследований океана, ледяного покрова и приледного слоя атмосферы.

Российско-американскую дрейфующую станцию «Уэдделл-1», состоявшую из сотрудников ААНИИ и специалистов США, возглавлял В. В. Лукин, а морскую часть экспедиции на нис «Академик Федоров» — Н. Н. Антипов. За период работы экспедиции в этом труднодоступном для судов районе было выполнено более 250 гидрологических станций. Наблюдения велись с дрейфующего ледяного поля, с вертолета на зональных разрезах, пересекающих шельф и материковый склон, и с борта научно-исследовательских судов. За период с 11 февраля по 9 июня дрейфующая станция «Уэдделл-1» прошла путь по меридиану Юга на север около 400 миль со средней скоростью около миль в сутки.

В результате была получена уникальная информация о крупномасштабной структуре и циркуляции вод западного звена круговорота Уэдделла, пространственных и временных особенностей изменчивости тонкой структуры подледного слоя океана, особенностях процессов взаимодействия в системе «океан — лед — атмосфера», особенностях строения и структуры морского льда, формационных процессах в ледяном покрове и т. д. Значение этих работ огромно хотя бы уже потому, что они велись по специально разработанным программам, направленным на решение проблем не только гидрологии Южного океана, но и гидрологии мирового океана в целом.

Исследования круговорота Росса были начаты в 1986 г. на «Профессор Визе» и нис «Профессор Зубов». Работы проводились на меридиональных разрезах в секторе 170° в.д. — 173° з.д. Исследованиями была не охвачена южная часть круговорота, покрытая дрейфующими льдами. В 1988 г., с учетом вынесенных в предыдущей экспедиции работ, была обследована юго-западная часть круговорота Росса на судах «Профессор Зубов» и «Академик Федоров».

Экспедиционные исследования окраинных морей Антарктики велись за эти годы только в районах морей Космонавтов и Дэвиса. В проведении экспедиционных исследований по программам, разработанным в ААНИИ, принимали участие и суда других ведомств, в частности, суда гидрографической службы Ф. Крупномасштабные съемки в районе моря Дейвиса проводились в 1978 г. с борта нэс «Михаил Сомов» и в 1990 г. с борта

нис «Профессор Зубов», в море Космонавтов — в 1987 г. с бортом «Леонид Демин».

Выполненные в окраинных морях гидрологические исследования как планомерные, так и эпизодические позволили сформировать региональные архивы океанографических данных. В частности для моря Космонавтов такой архив содержит данные наблюдения на 815 станциях, для моря Дейвиса — на 360 станциях, для морей Лазарева и Рисер-Ларсена — на станциях количеством около 1300. Сформированные архивы стали основой для начала нового направления в исследовании антарктических вод — подготовки достаточно полных и всесторонних описаний гидрометеорологического режима окраинных антарктических морей. К настоящему времени такие описания составлены для морей Космонавтов, Дейвиса, Лазарева и Рисер-Ларсена. Описание содержит табличный и графический материал, а так же анализ и основные выводы о формировании и характеристиках метеорологического океанографического и ледового режимов морей.

Основной объем описаний занимает раздел, посвященный океанографическому режиму морей. Большое количество карт и таблиц раздела позволяют составить достаточно полное представление о термохалинной структуре, водных массах, течениях и приливах. Последнее из подготовленных описаний (для морей Лазарева и Рисер-Ларсена) представлено в форме режимно-справочного пособия с основным акцентом на фактический материал. Указанное пособие имеет компьютерный аналог, что позволяет просматривать на дисплее IBM-совместимого компьютера все иллюстративный, табличный и текстовый материал. В настоящее время ведется работа по созданию режимно-справочного пособия для моря Содружества, в планах — аналогичная работа для других окраинных морей Антарктики. Указанные пособия могут быть использованы при осуществлении плаваний судов, планировании промысловых и научно-исследовательских работ а также в тематических исследованиях.

В процессе исследования гидрологического режима морей Антарктики параллельно изучается одно из главных звеньев циркуляции вод Южного океана — Прибрежное антарктическое течение, скудные сведения о котором не позволяют в настоящее время реально оценить водный баланс Южного океана в целом. Кроме того, представляют значительный интерес обнаруженные в вышеупомянутых морях замкнутые циклонические круговороты, в которых осуществляется вынос в поверхностные слои тепла и влаги из глубинных вод, и которые по существу являются областями повышенной биопродуктивности.

Наряду с формированием региональных архивов в Лаборатории Южного океана АНИИ в 80-х годах была начата работа по созданию архива океанографических данных для всего Южного океана. Поступившие из различных организаций как отечественных, так и зарубежных данные наблюдений за весь период исследований (с 1912 по 1990 г.) были подвергнуты тщательно

контролю на качество и по специально разработанному макету
писаны на магнитный носитель. В настоящее время лаборатория
Южного океана обладает архивом, содержащим данные на-
блюдений на более чем 39 тыс. станциях для района от 30° ю. ш.
по побережья Антарктиды. Около 50 % входящих в архив стан-
ций выполнены отечественными судами. Непосредственно судами
АНИИ за весь период их работы в Антарктике выполнено око-
ло 2 тыс. станций, большинство из которых выполнено в глубо-
ководных районах до дна. Это выгодно отличает их от станций,
выполненных российскими судами других ведомств (в первую
очередь, Минрыбхоза), характерной глубиной зондирования на-
блюдений которых было 1500—2000 м (общее число станций, выполненных
судами Минрыбхоза, составляет около 7 тыс.).

Основной объем данных архива составляют наблюдения, вы-
полненные в течение последних 30 лет в теплый период года.
Наиболее изучен атлантический сектор Южного океана, наиме-
нее — тихоокеанский. Архив океанографических данных может
быть использован как на больших ЭВМ, так и на персональных
компьютерах. В настоящее время ведутся работы по созданию
на основе архива базы данных с использованием современных
программных средств, что позволит значительно упростить рабо-
ту с данными как в части пополнения и контроля, так и в плане
получения оперативной океанографической информации для лю-
бого региона Южного океана.

Вместе с тем, уже к настоящему времени архив является не-
обходимой основой для выполнения тематических работ, плани-
рования экспедиционных исследований. В частности, именно ар-
хив океанографических данных АНИИ составил основу базы
данных для подготовки и издания «Океанографического атласа
Южного океана». Эта крупная работа была выполнена лабора-
торией Южного океана совместно с Институтом полярных и мор-
ских исследований Альфреда Вегенера (ФРГ) в 1990—1993 гг.
Атлас представляет собой набор климатических карт распределе-
ния температуры, солености, плотности, растворенного кислорода
в Южном океане на стандартных горизонтах, в слоях — ядрах
водных масс, в придонном слое океана и карт динамической то-
мографии, рассчитанных от разных поверхностей.

Данные упомянутого массива использовались также в рабо-
те по численному моделированию циркуляции Южного океана,
результаты которых обобщены в монографии «Моделирование
циркуляции Южного океана» [4], подготовленной группой
исследователей лаборатории Южного океана АНИИ. Построение
численных моделей различных динамических процес-
сов имеет особо важное значение для Южного океана ввиду труд-
ности изучения этого региона и невозможности проведения такого
большого числа экспедиций, как например в Северной Атланти-
ке. С другой стороны, численные модели выдвигают требования
к остановке натурных исследований.

За последние 10 лет в лаборатории Южного океана были проведены следующие работы:

- диагностическая модель циркуляции Южного океана, основанная на климатическом поле плотности;

- двухслойная квазигеострофическая модель циркуляции Южного океана с параметризацией синоптических вихрей;

- двумерная многоуровневая модель меридиональной циркуляции Южного океана;

- вихреразрешающая модель АЦТ (совместно с Институтом полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, ФРГ).

В настоящее время базовой моделью для проведения различных численных экспериментов является 20-уровневая prognostic модель циркуляции для области к югу от 30° ю.ш. с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$. Первые адаптационные расчеты циркуляции Южного океана, проведенные по этой модели с учетом реального рельефа дна, климатических полей температуры, солености и ветра удовлетворительно согласуются с наблюдениями.

В заключение кратко перечислим основные итоги исследований гидрологии Южного океана.

Окончательно установлено, что южные области Атлантического, Индийского и Тихого океанов представляют собой самостоятельную физико-географическую область Мирового океана, объединенную единством и своеобразием природных процессов, что позволило подтвердить правомочность выделения ее в отдельный географический объект — Южный океан.

Южный океан представляет собой единую планетарную циклоническую систему циркуляции вод. Ее главными элементами являются окружающие антарктический континент циклонические круговороты, и объединяющие их Антарктическое циркумполярное течение, переносящее воды в восточном направлении и противоложное ему направленное Прибрежное антарктическое течение.

Из упомянутых трех главных элементов циркуляции вод Южного океана наиболее изученным сейчас является Антарктическое циркумполярное течение. С помощью инструментальных измерений течений было установлено, что АЦТ на всем протяжении проникает до дна океана и сохраняет при этом генеральное восточное направление. Оно характеризуется многоструйностью: скорости в его потоках, достигая на поверхности океана 1 м/с, с глубиной уменьшаются равномерно и сохраняют высокие значения даже в придонном слое. Были установлены границы течения на всем протяжении, что позволило получить оценки переноса вод в системе АЦТ. Основной вклад в изменчивость расхода АЦТ вносят движения синоптического масштаба. Существование ярко выраженного циркумполярного потока определяет особую важность вихревых движений в циркуляции Южного океана прежде всего для баланса сил в системе АЦТ и для меридиональных потоков тепла.

Современные представления о циркуляции вод Южного океана позволяют более обоснованно выделить основные фронталы

оны, конвергенции и дивергенции. Фронтальные зоны рассматриваются как зоны с максимальными меридиональными градиентами температуры и солености воды, расположенные в стречневых потоках Антарктического циркумполярного и Прибрежного антарктического течений. При этом Полярная фронтальная зона, которая ранее называлась зоной Антарктической конвергенции, приурочена к максимуму горизонтального переноса или стречню антарктического циркумполярного течения. Стречень этого течения, как показали исследования последних лет, под влиянием рельефа дна и других факторов, разделен на две основных струи как следствие этого Полярная фронтальная зона имеет два основных фронта, которые по существу являются ее северной и южной границами. Южный называется Полярным, а северный — субполярным или Субантарктическим фронтом. Фронт, приуроченный к стречню Прибрежного антарктического течения иногда называется Склоновым или чаще всего Высокоширотным пришельфовым фронтом.

Осевые линии окружающих Антарктиду циклонических круговоротов являются составными частями Антарктической дивергенции. Субтропический фронт, ранее называвшийся субантарктическим фронтом или субтропической конвергенцией, и лежащий в стречнях Южно-атлантического, Южно-индоокеанского и Южно-тихоокеанского течений является элементом субтропической антициклонической системы циркуляции вод, простирающейся за пределами Южного океана.

Более детально разработаны вопросы формирования, распространения и трансформации различных типов водных масс океана. В настоящее время выделено шесть основных водных масс: Антарктическая поверхностная, шельфовая, субантарктическая поверхностная, антарктическая промежуточная, циркумполярная глубинная и антарктическая донная вода. Кроме того, выделены дополнительные типы водных масс, формирование которых связано с региональными особенностями циркуляции и океанографического режима и играющие значительную роль в гидрологическом режиме всего океана или его отдельных крупных регионов. Примерами таких водных масс являются глубинная вода и донная вода моря Уэдделла.

Основные результаты исследований гидрологического и ледового режимов Южного океана опубликованы в «Трудах ААНИИ», «Проблемах Арктики и Антарктики», «Бюллетене Советской антарктической экспедиции», «Трудах Советской антарктической экспедиции» и сборнике «Антарктика».

К наиболее крупным публикациям обобщений результатов исследований океана, выполненных при непосредственном участии трудников института, относятся «Атлас Антарктики» [1, 2] и «Гидрографический атлас Южного океана» [12], сборники трудов ААНИИ, посвященные результатам конкретных экспедиций по программе «ПОЛЭКС-Юг» [5—9], а также работы: «Гидрометеорологическое обеспечение судоходства в Южном океане»

[3], В. В. Гурецкий и др. [4], Э. И. Саруханян [10], Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов [11].

Поступила 21.03.94 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Антарктики, т. 1. — М. — Л.: изд. ГУГиК, 1966. — 225 с.
2. Атлас Антарктики, т. 2. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 508 с.
3. Гидрометеорологическое обеспечение судоходства в Южном океане. Л.: Гидрометеониздат, 1985. — 184 с.
4. Гурецкий В. В., Данилов А. И., Ивченко В. О., Клепиков А. В. Моделирование циркуляции Южного океана. — Л.: Гидрометеониздат, 1987. — 198 с.
5. Исследования по программе «ПОЛЭКС-Юг-75»//Тр. ААНИИ, 1976. Т. 344. — 175 с.
6. Исследования по программе «ПОЛЭКС-Юг-76»//Тр. ААНИИ. 1978. Т. 345. — 152 с.
7. Исследования по программе «ПОЛЭКС-Юг-77»//Тр. ААНИИ. 1979. Т. 360. — 142 с.
8. Исследования по программе «ПОЛЭКС-Юг-78»//Тр. ААНИИ. 1981. Т. 369. — 140 с.
9. Междуведомственная экспедиция по программе «ПОЛЭКС-Юг-81»./Нучные результаты. — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — 209 с.
10. Саруханян Э. И. Структура и изменчивость Антарктического циклополярного течения. — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 118 с.
11. Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Водные массы и циркуляция Южного океана. — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — 288 с.
12. Olbers D., Gouretski V., Seib G., Schroter J. Hydrographic Atlas of the Southern Ocean. — Bremenhaven: 1992. — 81 p.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОКЕАНОВ

Гидрохимические наблюдения с момента образования Арктического института являлись составной частью гидрологических исследований и были направлены на обеспечение работ по изучению гидрологического и ледового режима арктических морей. До 1935 г. гидрохимические определения (соленость, щелочность, кислород) выполнялись только в экспедициях, таких как п/с «Томоносов» в Карском море в 1931 г., л/п «А. Сибиряков» в Карском море в 1932 и 1933 гг. и море Лаптевых в 1933 г., л/п «Лит-» в морях Чукотском и Восточно-Сибирском в 1934 г.

С 1935 г. гидрохимическая лаборатория в составе гидрологического отдела приступила к более детальному изучению гидрохимического режима арктических морей и низовьев сибирских рек. Возглавляла лабораторию П. Г. Лобза, которая подготовила инструкцию для гидрохимических определений в море, также проанализировала данные по щелочности и солевому составу вод Карского моря [11]. Солевой состав вод Карских Восточного и Югорского Шара исследовал также С. К. Деменченков, который еще обобщил гидрохимические наблюдения за химическим составом вод реки Енисей по результатам экспедиции 1938 г., рек Лены и Нижней Таймыры, выполненные в зимний сезон 35/36 г. двумя гидрологическими экспедициями Арктического института [5]. Гидрохимическая характеристика рек Лены и Эбмы была дана в работе А. О. Симанчук [19].

К анализу гидрохимических наблюдений стали подключаться известные океанологи, как А. Ф. Лактионов, Г. Е. Ратманов, В. Ю. Визе. Первый опубликовал статьи по содержанию кислорода в северо-восточной части Карского моря и характеристике гидрохимических условий в море Лаптевых по результатам летней экспедиции на л/п «Садко» и «Г. Седов» в 1937 г. [10]. Г. Е. Ратманов дал характеристику распределения гидрохимических элементов в Беринговом проливе и Чукотском море [16]. В. Ю. Визе дополнил анализ гидрохимических условий в области кромки льдов арктических морей [2].

В целях стандартизации гидрохимических определений в Арктике С. В. Бруевич и С. К. Деменченков составили «Инструкцию по производству химических исследований морской воды» [9], включившую определения солености, кислорода, щелочности, концентрации водородных ионов, окисляемости и вычисление форм угольной кислоты в морской воде. Следует отметить, что профессор В. Бруевич заведовал лабораторией химии моря в Арктическом институте, с 1944 по 1946 г.

К систематическому изучению гидрохимического режима арктического бассейна исследователи института приступили

в конце 40-х — начале 50-х годов во время работы высокоширотных воздушных экспедиций и научных дрейфующих станций. Данные этих экспедиций были обобщены А. А. Мусиной [12]. Гидрохимические показатели стали активно применяться в качестве индикаторов водных масс, в частности, использование кремния позволило ученым ААНИИ во главе с Е. Г. Никифоровым проследить распространение тихоокеанских вод в Арктическом бассейне [1, 14]. Под руководством З. В. Бельшевой, которая возглавляла лабораторию гидрохимии с 1957 по 1972 г., продолжалось также исследование гидрохимического режима арктических морей [13].

В последующие годы гидрохимические наблюдения значительно расширились. Возросло их количество и перечень ингредиентов и существенно улучшилось их качество за счет применения более современных методик. Материалы этих наблюдений были проанализированы В. П. Русановым с соавторами [18]. Были построены карты среднемноголетнего распределения кислорода, величин рН кремния и фосфатов для стандартных горизонтов морей сибирского шельфа и Арктического бассейна до глубины 4000 м. Для этих же элементов были построены типовые графики вертикального распределения в наиболее характерных районах Арктического бассейна, таких как крупные котловины и хребты, и в морях сибирского шельфа. Этот материал был использован для построения карт распределения гидрохимических элементов в Северном Ледовитом океане в разделе «Гидрохимия» Атласа Северного Ледовитого океана и Атласа Арктики. В. П. Русанов также рассчитал годовой бюджет обмена газов кислорода и диоксида углерода между атмосферой и Северным Ледовитым океаном [17].

Изучена крупномасштабная гидрохимическая структура в Северном Норвежском море и дана характеристика изменчивости гидрохимических показателей и взаимоотношений между ними в отдельных структурных зонах и водных массах, составляющих эти структурные зоны [15]. Впервые получены зависимости, характеризующие связь биогенных элементов в верхнем квазигоризонтальном слое, а также рассчитаны средние отношения концентрации биогенных элементов в промежуточной и глубинной структурных зонах Норвежского моря. Показано, что атлантические воды являются основным источником минеральных биогенных элементов для Норвежского моря, однако они создают условия для развития глубоко проникающей конвекции, чем и определяется важная роль в формировании основы первичной продуктивности.

Впервые были обобщены и систематизированы натурные данные по химическому составу дрейфующих льдов Северного Ледовитого океана, включая моря сибирского шельфа [4]. На основе использования кластерного анализа для обработки этих данных получены сведения о среднем по всей толще химическом составе морского льда различного возраста по номенклатуре Всемирной метеорологической организации по морскому льду, что позволяет учитывать количество солей и других веществ, включенных в толщу льда, в балансовых расчетах. Например, в результате расче

получено, что суммарный вынос солей с льдами различного возраста через пролив «Фрам» из Арктического бассейна составляет 120 млн. т в год. Поступление из морей Северного Ледовитого океана солей, включенных в толщу льда, в Арктический бассейн в течение года равно 6350 млн т. Суммарный вынос фосфатов составляет 55,5 тыс. т, а поступление — 37,5 тыс. т. Для кремния эти величины равны 126 тыс. т и 106 тыс. т соответственно.

В связи с сокращением финансирования и концентрированием усилий на наиболее важных в плане их освоения объектах научные исследования в последние годы были сосредоточены на арктических морях, в особенности, что касается гидрохимических исследований, в морях Карском и Лаптевых. В результате обобщения данных за период с 1973 по 1993 г. дана характеристика распределения основных биогидрохимических показателей в поверхностном слое Карского моря, проведено районирование моря по особенностям распределения гидрохимических показателей, в частности, намечены границы трех основных частей моря и показано возможное изменение положения этих границ в зависимости от гидрометеорологических условий.

Выявлены закономерности вертикального распределения гидрохимических показателей, положения слоев с экстремальными значениями и слоев с максимальными градиентами, получены типовые кривые вертикального распределения растворенного кислорода для юго-западной части Карского моря. Определена амплитуда изменчивости гидрохимических показателей морской воды основных временных циклах в различных структурных зонах, обозначены районы, в которых наблюдается максимальная амплитуда временной изменчивости. Проведена типизация распределения концентрации силикатов в поверхностном слое Карского моря, на конкретных примерах показано распространение речных вод, индикатором которых является концентрация кремния, в зависимости от гидрометеорологических условий (рис. 1).

1. Распресненные речным стоком воды заполняют центральную часть моря и перемещаются на восток, что обусловлено преобладанием западных и северо-западных ветров.

2. Распространение речных вод смещено в западном направлении, что обусловлено преобладанием ветра восточных румбов.

3. Влияние речных вод распространяется в юго-западном направлении и охватывает многие районы юго-западной части моря до 71° с. ш., обычно свободные от влияния речного стока.

4. Большие участки поверхностного слоя, распресненные речным стоком, изолированы от источников своего распреснения за счет из северо-восточных районов моря более соленой воды. Пятна воды с высоким содержанием кремния и низкой соленостью (коэффициент корреляции достигает — 0,87) наблюдаются у побережья Новой Земли и в центральной части моря. Такие условия наблюдаются при сильных и устойчивых северо-восточных течениях.

Получило развитие математическое моделирование гидрохимического режима арктических морей на примере Карского моря. В результате моделирования был выделен ряд областей, которые являются однородными по своим характеристикам. Так, в верхнем слое выделено 23 района, в нижнем слое — 17 районов. Эта схема

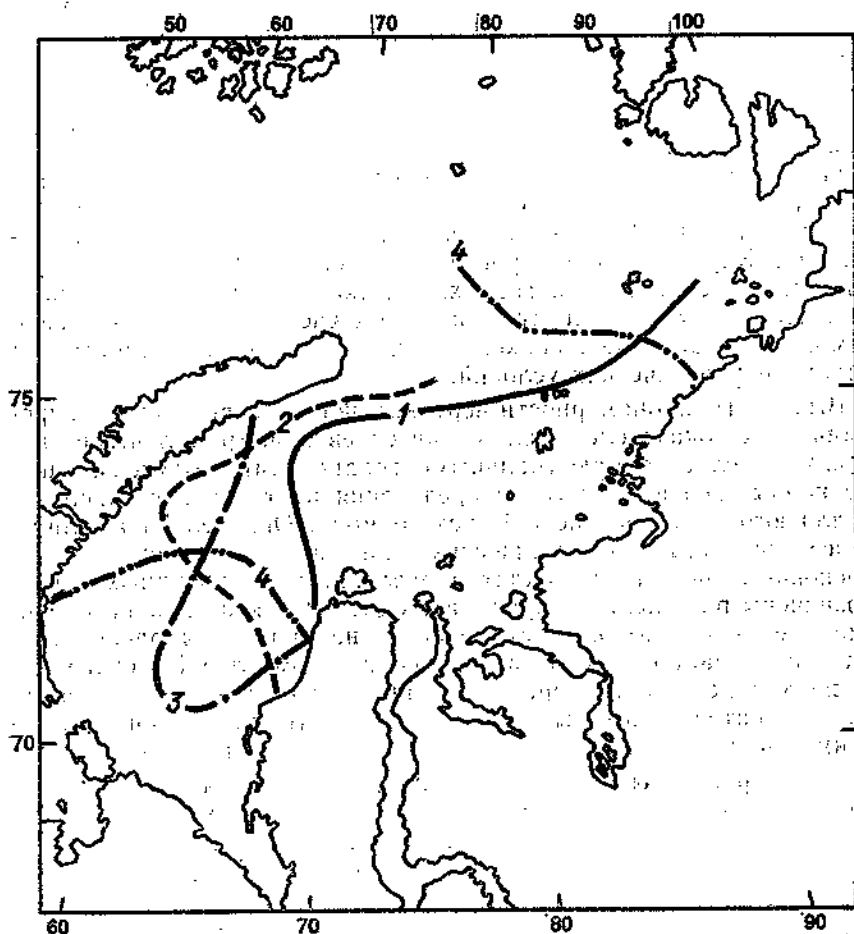


Рис. 1. Положение изолинии 250 мкг/л при различных типах влияния речной вод в Карском море.

моделирования была применена для расчета водного обмена между различными районами Карского моря, солёности и температуры воды, солёности льда, распределения биогенных элементов в Карском море, оценки первичной продукции, оценки вклада в формирование гидрохимического режима основных источников поступления вещества рек Обь и Енисей, водных масс из Баренцева моря (южнее и севернее Новой Земли).

Сделана оценка пространственного распределения и сезонной динамики кремния с учетом влияния фитопланктона. В целом, для его моря в рассмотренные месяцы получено близкое к наблюдаемому пространственное распределение кремния в поверхностном слое. Разработана имитационная модель переноса и трансформации нефтяных углеводородов в Карском море с учетом таяния льда. Даны модельные прогнозы изменения экологического состояния моря при крупномасштабных воздействиях, таких как глобальное загрязнение, изменение климата, локальное загрязнение большого масштаба, влияние переноса загрязняющих веществ речным стоком и из соседних водоемов и вынос загрязняющих веществ в другие районы.

Изучение закономерностей пространственного распределения основных гидрохимических показателей в Южном океане началось первых советских антарктических экспедициях на д/э «Обь». Результаты гидрохимических наблюдений этих и других экспедиций, проведенных до 60-х годов, были обобщены в первом издании Атласа Антарктики. После этого был накоплен достаточно большой массив данных, позволивший получить более подробное распределение полей гидрохимических показателей в водах Южного океана [19]. Отличительная особенность нового обобщения заключается не только в усвоении современных данных, но и в анализе гидрохимических полей в морях Южного океана, который ранее отсутствовал.

Построенные таким образом карты и разрезы распределения растворенного кислорода, фосфатов, кремниескислоты, величин водородного показателя и общей щелочности отражают общие закономерности химической структуры вод Южного океана на современном уровне знаний. Эти материалы стали основой гидрохимического раздела подготовленного к печати нового издания Атласа Антарктики. Дано описание трех основных вертикальных срезов Южного океана — поверхностного, промежуточного и глубокого. В частности, с помощью диаграммы растворенного кислорода-фосфатов, определены глубины нижней границы промежуточного слоя (табл. 1).

Данные таблицы отражают качественные закономерности изменения мощности промежуточного слоя по акватории Южного океана, хорошо согласующиеся с особенностями меридиональной циркуляции вод. Глубина нижней границы промежуточного слоя почти повсеместно уменьшается в направлении с севера на юг, достигая минимума в области антарктической дивергенции.

В начале 70-х годов, когда загрязнение окружающей среды стало проявляться повсеместно, включая и полярные районы, АН ИИГ приступили к исследованиям химического загрязнения морской среды полярных районов. Лаборатория гидрохимии в 1973 г. была выделена из отдела океанологии и преобразована в лабораторию гидрохимии и контроля вод, которую возглавлял И. М. Смагин с 1972 по 1979 г. и с 1984 по 1989 г. С 1979 по 1984 г. лабораторией руководил В. П. Русанов.

Средняя широтная глубина залегания нижней границы промежуточного слоя вод в Южном океане, м

Широта, град.	Сектор								
	атлантический			индоокеанский			тихоокеанский		
	запад	центр	восток	запад	центр	восток	запад	центр	восток
40	1500	1400	1300	1500	1700	1700	1800	2400	1500
45	1100	1200	1300	1300	1500	1700	1600	2500	1500
50	1000	700	600	700	900	1200	1600	2100	1600
55	1000	400	350	450	450	500	1200	1400	1800
60	300	300	250	300	250	250	800	250	1200
65	200	200	150	200	350	400	250	200	600
70	400	250	—	—	—	—	400	300	250

В состав наблюдений за состоянием загрязнения морской среды полярных районов были включены такие приоритетные загрязняющие вещества, как нефтяные углеводороды, тяжелые металлы и хлорированные углеводороды [20]. При этом было уделено особое внимание обеспечению качества получаемых данных, включая их отбор, хранение, транспортировку и анализ, что позволило получить репрезентативные данные. Начиная с 1970 г. эти данные и их анализ публиковались в «Ежегодниках качества в арктических морях по гидрохимическим показателям» ААНИ.

Выявлен ряд закономерностей распределения загрязняющих веществ в морской воде и снежно-ледяном покрове. Например, содержание высококипящих неполярных углеводородов в зимний период в водах морей сибирского шельфа находится в пределах 1—15 мкг/л при среднем значении 3,6 мкг/л. При этом их концентрация уменьшается в направлении к северу во всех морях, однако величина этого изменения невелика.

Поля концентраций тяжелых металлов в основном определяются гидрологическими условиями и хорошо согласуются со структурой водных масс региона. В летний период распределение металлов в морях в значительной степени обусловлено речным стоком и таянием снежно-ледяного покрова. Оказалось, что в весенний период с увеличением потока солнечной радиации даже при отсутствии изменения физического состояния льда (таяние увеличивается миграция рассола из морских льдов, что приводит к увеличению концентрации тяжелых металлов в поверхностных водах, как, между прочим, и их солёности).

Для хлорорганических пестицидов (ХОП) группы ДДТ характерно увеличение среднего содержания во всех средах в направлении запад—восток. В морской воде среднее содержание ДДТ, например, в 1986 г. составляло для Карского моря 0,41 нг/л, моря Лаптевых — 0,39 нг/л, Восточно-Сибирского — 0,55 нг/л, Чукотского — 0,66 нг/л. При этом частота появления ДДТ в пробах

арской воды также возрастала с запада на восток. Так, ДДТ был обнаружен практически во всех пробах, тогда как в морях Карском и Лаптевых — менее, чем в 30 % проб. Исследования центральной части Арктического бассейна на дрейфующей станции «Северный полюс-27» в 1985—1986 гг. показали, что значения концентраций ДДТ во всех природных средах было меньше чувствительности метода анализа — 0,25 и 0,05 нг/л соответственно для ДДД и ДДЭ. Средние концентрации ХОП группы ГХЦГ в водах Восточно-Сибирского (3,04 нг/л) и Чукотского морей (41 нг/л) были также выше, чем в морях Карском и Лаптевых, соответственно 1,71 и 0,97 нг/л. Суммарное содержание ГХЦГ на дрейфующей станции «Северный полюс-27» в поверхностных морских водах составило в среднем 1,5 нг/л в зимний период и 3 нг/л в летний.

В плане мониторинга источников воздействия большое внимание было уделено исследованию загрязнения снежно-ледяного покрова арктических морей [21]. Содержание нефтяных углеводородов (высококипящая фракция) в снежно-ледяном покрове за многолетние наблюдения не превышало 25 мкг/л талой воды. Представление о содержании нефтяных углеводородов в снежном покрове, морских льдах и водах морей сибирского шельфа в 1986 г. дает табл. 2. При исследовании углеводородов в толще ледника

Таблица 2

Среднее содержание высококипящей фракции нефтяных углеводородов в морях сибирского шельфа в 1986 г., мкг/л

Объект	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
Снег *	15	9	5	6
Лед *	8	7	6	16
Вода	19	9	11	13

Примечание. Здесь и в табл. 3 звездочкой обозначена талая вода.

вильова (Северная Земля) удалось определить тенденцию загрязнения атмосферы в данном районе Арктики более чем за 100 лет, начиная с середины прошлого века. Согласно этим измерениям концентрация углеводородов увеличилась за этот период почти на порядок [6].

В связи с актуальностью изучения поведения нефтяных разливов в арктических морях были проведены теоретические и экспериментальные разработки процессов переноса, трансформации и массопередачи нефтяных загрязняющих веществ в морях ледяным покровом [8]. Установлено, что доминирующим процессом в трансформации нефтепродуктов является испарение, на долю которого приходится 50—60 % в весенне-летние сезоны и —90 % зимой. Вклад фотоокисления в полярный день состав-

ляет 15—30 %, а биологической утилизации — 2—7 %. Показано, что при наличии пленок дизельного топлива толщиной 5 мк на поверхности воды образование льда происходит в среднем в 1,5 раз медленнее, чем при их отсутствии.

Представление о содержании тяжелых металлов в снежно-ледяном покрове и водах морей сибирского шельфа дает табл.

Таблица

Средние уровни содержания тяжелых металлов в морской среде в 1986 г., мкг

Элемент	Море											
	Карское			Лаптевых			Восточно-Сибирское			Чукотское		
	снег *	лед *	вода	снег *	лед *	вода	снег *	лед *	вода	снег *	лед *	вода
Марганец	0,3	0,3	0,8	0,3	1,0	1,8	0,4	0,6	1,2	0,5	0,4	1
Свинец	0,6	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	0,3	0,7	0,5	0
Медь	1,0	0,3	1,0	2,0	1,5	1,5	0,3	0,4	0,8	0,8	0,6	2
Железо	1,0	1,0	2,0	3,0	1,0	3,0	1,0	1,5	2,0	1,5	1,5	1
Никель	0,3	0,4	0,6	0,3	0,3	0,8	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0
Цинк	4,0	3,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	1,0	1,0	3,0	2,0	3

Следует отметить, что четко выраженных широтных и меридиальных тенденций в распределении тяжелых металлов не наблюдается. При оценке поступления тяжелых металлов через атмосферу в моря обращает на себя внимание повышенное содержание свинца в снежном покрове, что указывает на существенную роль атмосферного переноса в отмеченном выше высоком, по сравнению с фоновым уровнем, содержании свинца в морских водах арктических морей.

Дальний атмосферный перенос загрязняющих веществ из промышленных регионов средних широт обнаружен в нескольких арктических районах — на Аляске, Шпицбергене, Северной Земле, в Гренландии. В 1985 г. в центральной части Арктического бассейна, где ранее подобные наблюдения не проводились, дрейфующей станции «Северный полюс-27» были проведены определения содержания тяжелых металлов, а также сульфат-ион и хлорорганических пестицидов [21]. Результаты наблюдений с анализом конкретных синоптических ситуаций дали возможность оценить районы источников поступления этих веществ в Арктический бассейн. Так, минимальные концентрации тяжелых металлов в свежевывавшем снеге приходились на случаи замкнутой циркуляции воздушных масс в центральной части Арктического бассейна, а также перемещения воздушных масс из районов Севера Атлантики. Повышенное содержание свинца, марганца, никеля в меньшей степени меди и цинка совпадают с перемещением воздушных масс из районов Евразии и юго-восточной Азии.

Как отмечалось выше, в снежно-ледяном покрове арктических морей наблюдается тенденция повышения содержания ХОП в

авлении с запада на восток. Для морей Карского, Лаптевых, восточно-Сибирского и Чукотского суммарное содержание группы ДТ не превышало соответственно 0,5; 0,6; 0,8 и 0,8 нг/л, а содержание группы ГХЦГ — соответственно 0,9; 0,5; 1,8 и 1,9 нг/л. Замечено также широтное изменение содержания ХОП. В направлении к северу от береговой линии частота появления ХОП в пробах и их среднее содержание уменьшается.

Таким образом, проведенные ААНИИ исследования выявили основные уровни содержания загрязняющих веществ в морской воде, снежном и ледяном покрове морей сибирского шельфа. При этом тенденции к увеличению этих веществ в последние годы не замечено, что подтверждено дальнейшими наблюдениями, выполненными региональным центром «Мониторинг Арктики», созданным на базе лаборатории гидрохимии ААНИИ [7].

В соответствии со Стратегией охраны окружающей среды Арктики, принятой в 1991 г. арктическими странами, включая Россию, в течение первой фазы Программы мониторинга и оценки состояния Арктики (АМАП) необходимо в 1993—1995 гг. выполнить исследование исходного состояния Арктики, на основании которого будет разработана перманентная программа мониторинга пространственных и временных трендов ключевых параметров природной среды. Эти задачи лежат в основе научных исследований ААНИИ на современном этапе.

вступила 5.07.94 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельшева Е. В. О распределении биогенных элементов и растворенного кислорода в водах Арктического бассейна/Химические ресурсы морей океанов. — М.: Наука. 1970. — С. 35—42.
2. Визе В. Ю. Гидрохимические условия в области крошки льдов арктических морей//Проблемы Арктики. — 1943. — Вып. 2. — С. 13—31.
3. Горшков А. Н., Гудошников Ю. П., Смагин В. М. Основные типы пространственного распределения гидрохимических показателей в Южном океане/Пелагические экосистемы Южного океана. — М.: Наука. — 1993. — 99—107.
4. Гудошников Ю. П. Особенности формирования химического состава диффузирующих льдов Северного Ледовитого океана. Автореф. дис. канд. географ. наук/ААНИИ. Л., 1988, 24 с.
5. Деменченков С. К. Химический состав воды рек Пясины и Нижней Оби/Проблемы Арктики. — 1943. — Вып. 1. — С. 159—165.
6. Дмитриев Ф. А. Состав и распределение углеводов в снежном покрове и водах Арктического бассейна/Тр. 2-го Междунауч. симп. «Химия природных вод». — Л.: Гидрометеониздат. 1985. — С. 74—79.
7. Ежегодник качества вод арктических морей по гидрохимическим показателям за 1989 год. — Обнинск: ВНИИГМИ — МЦД. 1990. — 134 с.
8. Измайлов В. В. Трансформация нефтяных пленок в системе океан — атмосфера/Под ред. А. И. Симонова. — Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана, т. 9. — Л.: Гидрометеониздат, 1988. — 145 с.
9. Инструкция по производству химических исследований морской воды. — М.: Пособия и руководства, вып. 7. Сост. проф. С. В. Бруевич и С. К. Деменченков. — Л.: Изд. ААНИИ, 1944. — 42 с.

10. Лактионов А. Ф. Гидрохимические условия в море Лаптевых/Проблемы Арктики. — 1943. — Вып. 1. — С. 107—128.
11. Лобза П. Г. Щелочность воды северо-восточной части Карского моря/Солевой состав воды Карского моря//Тр. ААНИИ. — 1937. — Т. 83. — С. 19—24.
12. Мусина А. А. Гидрохимическая характеристика Арктического бассейна//Тр. ААНИИ. — 1960. Т. 218. — С. 110—124.
13. Мусина А. А., Бельшева Е. В. Особенности гидрохимии арктических морей//Тр. Океанографической комис. АН СССР. — 1960. — Т. 10. Вып. 2. С. 61—68.
14. Никифоров Е. Г., Бельшева Е. В., Блинов Н. И. О структуре водных масс восточной части Арктического бассейна//Океанология. — 1979. Т. VI. — Вып. 1. — С. 78—81.
15. Пивоваров С. В. Гидрохимическая структура вод Норвежского моря. Автореф. дис. канд. географ. наук/ААНИИ. Л., 1990, 20 с.
16. Ратманов Г. Е. Распределение гидрохимических элементов в северо-западной части Берингова пролива и Чукотском море//Исследование моря СССР. 1937, вып. 25, с. 17—28.
17. Русанов В. П., Яковлев Н. И., Буйневич А. Г. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана//Тр. ААНИИ. — 1979. — Т. 355. 144 с.
18. Русанов В. П. Основные составляющие химического баланса Северного Ледовитого океана//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1986. — Вып. 62. С. 40—50.
19. Симанчук А. О. Гидрохимическая характеристика вод рек Лены и Эбетема//Тр. АНИИ. — 1938. — Т. 105. — С. 73—97.
20. Трешников А. Ф., Смагин В. М. Современное состояние исследований загрязненности морской среды/Охрана окружающей среды. — Л.: ИВГО. 1979. — С. 46—62.
21. Smagin V. M., Kouzin A. I., Rachkov V. S., Melnikoy S. Dmitriyev A. A. On chemical composition of atmospheric precipitation in Arctic./Arctic Research. Advance and Prospects. Part I. — М.: Nauka, 1990. P. 229—235.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

В последнее десятилетие резко возрос интерес к проблеме климата, с чем связано принятие крупных международных и национальных климатических программ. При этом существенной стороной проблемы остается выяснение относительной роли внутренних и внешних факторов и механизмов в формировании изменений климата. Самой загадочной частью климатической системы является океан, способность которого влиять на изменения климата подтверждается все возрастающим числом теоретических доказательств и эмпирических свидетельств.

Развитие математических моделей циркуляции атмосферы и океана позволило проверить представления о путях и механизмах влияния океана на климат. С помощью численных экспериментов совместными моделями был выявлен «статический» эффект притяжения океанов, проявляющихся как в глобальных тепляющихкладах водяного пара в атмосфере и низкой отражающей способностью поверхности океана, так и в региональных потеплениях климата в океанических районах высоких и умеренных широт.

Значительный вклад в исследования взаимодействия океана и атмосферы и особенно формирования структуры и изменчивости океанических полей внесло осуществление крупных натурных экспериментов и программ экспедиционных исследований в океане [19, 23, 26]. Эти работы существенно расширили информационную базу для экспериментальных и теоретических исследований структуры и изменчивости океана и их влияния на климат, позволили улучшить принципиально новые результаты и сформулировать задачи мониторинга океана.

Открытие феноменов собственной низкочастотной изменчивости атмосферной циркуляции поколебало уверенность ученых в прямой ответственности океана за появление крупных аномалий погоды и колебаний климата. Теоретические и диагностические исследования [10] привели к заключению, что атмосферная циркуляция подвержена сильным свободным колебаниям, присущим нелинейным динамическим системам. Поэтому столь сложно выделить на фоне порождаемой такими колебаниями естественной изменчивости характеристик климата сигнал, связанный, например, с аномалиями температуры воды на поверхности океана.

В последнее время особенно усилился интерес к климатообразующей роли океана в связи с наблюдаемым потеплением климата и предположениями о его дальнейшем развитии вследствие возрастания парникового эффекта атмосферы. Критическими факторами здесь оказываются несовпадение наблюдаемого и ожидаемого потепления в высоких широтах обоих полушарий, значительное замедление и даже смена знака (в высоких широ-

тах) изменения приземной температуры при учете в совместной модели верхнего слоя океана различной толщины и при более полном включении в модель процессов циркуляции и перемешивания в океане [33].

Представления о возможности океана влиять на изменение климата значительно расширяются в свете современных взглядов на природу его крупномасштабной структуры и динамики. Изменение внешних условий, в том числе воздействия со стороны атмосферы, вызывают не только вынужденные изменения в верхнем деятельном слое, но возбуждают собственные моды внутренней изменчивости океана. В теоретических исследованиях, модельных экспериментах и натурных данных обнаруживаются проявления подобных перестроек структуры и циркуляции с масштабами в десятилетия и тысячелетия [12, 13]. Поэтому способность океана изменять свою структуру и режим циркуляции является важным фактором глобальных изменений климата.

Наиболее ярко океанические структуры выражены в высоких и умеренных широтах океанов, где особенно заметна стратификация водных масс и обострены вертикальные и горизонтальные границы между ними. Здесь развиваются и наиболее сильные изменения в структуре деятельного слоя, включающие фазовые переходы вода—лед, которые влияют на взаимодействие океана с атмосферой, на формирование полярного климата и на глобальный климат. В этой связи климатообразующая роль полярных океанических процессов и структур и их изменений в результате взаимодействий в климатической системе является объектом особого внимания ученых [34].

Одно из направлений этого внимания связано с глобальным гидрологическим циклом, возвратная часть высокоширотной ветви которого формируется в полярных океанах с участием ледообразования и таяния, пресноводного стока и выноса холодных пресных вод и льдов в умеренные и низкие широты океанов. Основной пресноводный сток из полярных океанов осуществляется поверхностными течениями. Часть его в результате перемешивания с поступающими из умеренных широт водными массами зимнего охлаждения опускается в глубинные и придонные слои, где служит источником обновления глубинных и донных вод, поддерживает глобальную вертикальную циркуляцию. Этот процесс наиболее чувствителен к изменениям солености верхнего слоя, которая контролируется конкурирующими потоками пресных и более соленых вод из умеренных и низких широт. В результате нисходящая полярная ветвь вертикальной циркуляции океана может ослабляться или усиливаться с соответствующими последствиями для транспорта океанического тепла в высокие и умеренные широты и для реакции климата на изменение содержания CO_2 .

Весьма важным представляется вопрос о временных масштабах, на которых проявляется океанический сигнал в изменчивости глобального климата. Если классифицировать эти сигналы ка

пассивные, когда океан участвует в формировании колебаний глобального климата, но при этом заметно не меняет своих свойств характеристик, и активные, которые формируются в глобальном климате после изменения структуры или характеристик океана, в спектр временных масштабов океанических сигналов простирается, по-видимому, от нескольких недель до многих тысячелетий.

Пассивные океанические сигналы продуцируются при участии свободных колебаний атмосферной циркуляции с масштабами меньшими, чем время термической инерции атмосферы, оцениваемое в пределах от двух до шести месяцев [9, 17, 18]. Они могут проявиться через формирование аномально устойчивых режимов циркуляции, флуктуаций глобального термического режима атмосферы типа аномально холодных или теплых зим в северном полушарии и, как результат, составляющих в трендах глобальных термических характеристик вследствие феномена низкочастотного погодного шума [4, 7]. Временные масштабы таких колебаний находятся в интервале от нескольких недель до нескольких лет.

Активные океанические сигналы формируются под влиянием крупномасштабных изменений в состоянии, структуре и циркуляции океана, которые могут быть результатами длительного накопления стохастических воздействий со стороны атмосферы [31], внешних воздействий на океан, установившихся изменений общей циркуляции атмосферы. Спектр временных масштабов активных океанических сигналов в колебаниях глобального климата определяется разнообразием запаздываний реакций океана или его структур на внешние воздействия и простирается, по-видимому, от нескольких лет до многих тысячелетий. Наиболее короткопериодная часть этих сигналов формируется в высоких широтах Мирового океана, где находится наименее инерционная океаническая структура в виде относительно тонкого слоя распресненных полярных вод и морских льдов.

Известно, что колебания и изменения климата наиболее сильно проявляются в полярных областях Земли. Основной причиной такого усиления служат флуктуации в переносе тепла и пресной воды из более низких широт, которому принадлежит решающий вклад в энергетический баланс полярных областей. Сильная реакция полярного климата влияет на глобальный климат прежде всего через изменение интенсивности междуширотного водо- и воздухообмена.

Главные механизмы такого влияния формируются с участием полярных океанов, через изменения объема и протяженности линз распресненных вод на поверхности полярных океанов и полярных нежидко-ледовых шапок, наиболее подвижной их части — морских дрейфующих льдов, которые регулируют интенсивность теплообмена между глубоким океаном и атмосферой и зависят от стоков влаги в атмосфере, пресноводного стока и океанического водообмена [11]. В свою очередь, динамика распресненного слоя полярных океанов в значительной степени влияет на водообмен с Ми-

ровым океаном и контролирует интенсивность его вертикальной циркуляции.

Стационарное состояние океанической части полярной системы и ее границ — климатических гидрологических фронтов — обеспечивается притоками и стоками пресной воды, соли и тепла с атмосферными переносами, океаническими течениями, стоками с полярной суши, которые зависят от термических контрастов в системе океан — суша высоких широт. Избыток холодной распределенной воды выносится в Северную Атлантику мощными потоками Восточно-Гренландского и Лабрадорского течений. Оба потока, вытекая из проливов, отделяющих Арктический бассейн от прилегающих морей, переносят свои воды вдоль побережья Северной Америки и Гренландии на огромное расстояние.

Образование льда в результате быстрого осенне-зимнего конвективного перемешивания и охлаждения до точки замерзания всей неглубокой толщи распресненных вод протекает настолько интенсивно, что в течение зимы в Арктическом бассейне образуется до 2 м льда на каждом квадратном метре поверхности. При этом основная часть льда образуется в разводьях и полыньях среди дрейфующего льда, несмотря на то, что их доля менее 1 % от общей площади бассейна, покрытого льдом. В результате на единицу площади разводий приходится до 10 м образовавшегося льда [1, 24].

Тепловой баланс верхнего слоя Арктического бассейна поддерживается потоками тепла через его границы при активном участии притоков в этот слой и стоков через него пресноводных и соленых вод. Радиационный баланс на поверхности составляет в среднем за год около 3 Вт/м^2 и отрицателен [27]. Суммарный за год поток тепла на поверхности Арктического бассейна также направлен из океана в атмосферу. Вопрос об источниках тепла, отдаваемого в атмосферу через поверхность Арктического бассейна, остается дискуссионным. Одни исследователи полагают, что главный источник — тепло от нижележащих вод атлантического происхождения и, в меньшей степени, от вод тихоокеанского происхождения [16, 25]. По мнению других [3, 22, 24], основным источником является тепло превращения избытка пресной воды в этом слое в морской лед, выносимый затем за пределы Арктического бассейна.

Уточненные оценки вклада внутренних источников тепла были получены в работах [2, 3]. Оценке осолонения верхнего слоя с учетом процессов зимнего ледообразования (0,60‰) соответствует вымерзание слоя пресной воды толщиной 80 см. Поступление пресной воды в верхний слой, оцененное как по прямым измерениям стаивания снега и льда и осадков, так и по летнему распреснению воды, составило 53 см. Превышение зимнего вымерзания над поступлением пресной воды (29 см) на единицу поверхности Арктического бассейна, соответствующего годовому выносу льда через пролив «Фрам» по данным работы [28].

Измерения нарастания многолетнего льда в зимний период одновременно с оценками осолонения верхнего слоя показали, что процесс вымерзания пресной воды в большей степени связан с нарастанием молодых льдов в разводьях, чем с увеличением толщины старых льдов. В конечном итоге увеличение массы льда зимой сопровождается выделением тепла, соответствующего среднему за этот период потоку 12 Вт/м^2 , из которых примерно 7 Вт/м^2 обеспечивается вымерзанием адвективной пресной воды. Расчетная климатическая оценка суммарного потока тепла на поверхности в районе дрейфа за такой период составляет $2,7 \text{ Вт/м}^2$ [27]. Оценки суммарного потока тепла с поверхности дрейфующего льда по данным метеорологических измерений зимой [14] находятся в пределах $11\text{—}12 \text{ Вт/м}^2$ в среднем за четыре зимних месяца.

Таким образом, поток тепла из океана в атмосферу над Арктическим бассейном формируется с активным участием образования и таяния льда. Такое заключение, на первый взгляд, не согласуется с установившимися представлениями об огромном значении адвективных атлантических вод в Северном Ледовитом океане для его термохалинной структуры. Однако противоречие снимается, если оценить составляющие теплового баланса атлантических вод в целом, основываясь на неоспоримости вклада атлантических вод в поддержание солевого баланса Арктического бассейна с использованием метода солевого баланса Кнудсена, примененного Е. Г. Никифоровым и А. О. Шпайхером [16] для расчета потоков соли в Северный Ледовитый океан. По расчетным оценкам получается суммарное поступление тепла атлантических вод в верхний слой около $0,7 \times 10^{20}$ кал в год, что примерно составляет $1/5$ тепла, выделяющегося при вымерзании избытка пресной воды в верхнем слое. Поскольку основная часть этого тепла поступает на периферию Арктического бассейна, можно заключить, что полученные величины не противоречат предположению о малом вкладе атлантических вод в тепловой баланс верхнего слоя непосредственно в Арктическом бассейне.

Иное соотношение между океанической и пресноводной составляющими притоками тепла в верхний слой складывается в антарктической зоне Южного океана. Здесь распреснение верхнего слоя поддерживается за счет таяния материковых льдов, поступающих из Антарктиды (около 2000 км^3 в год [20]) и избытка осадков над испарением. Осолонение, необходимое для сохранения солености воды в этом слое, создается постоянным вовлечением в него более соленых и теплых вод из нижележащего слоя [30]. При этом поступление тепла снизу превышает суммарные за год потери на поверхности слоя вследствие затрат на таяние айсбергов.

Распресненный слой полярных океанов активно влияет на полярное и субполярное опускание водных масс в процессе глобальной вертикальной циркуляции. Наиболее глубокое вертикальное перемешивание вод развивается в высокоширотных полярных

циклонических круговоротах в период конвекции [32]. Один из таких круговоротов находится в Гренландском море, которое является одной из самых климатически активных областей Мирового океана. Интенсивные исследования этого региона за последнее десятилетие в рамках программ «ПОЛЭКС», «Разрезы» и международного проекта «Гренландское море» позволили получить новые данные о структуре, динамике водных масс и энерго-массообмене с атмосферой [6, 15, 21].

Главные результаты работ состоят в определении локальных и уточнении региональных условий в океане и атмосфере, необходимых для развития здесь аномально глубокой зимней конвекции, в определении основных стадий развития этих процессов и оценке межгодовых тенденций в структуре водных масс круговорота. В частности, установлено, что межгодовые колебания солености воды в верхнем слое круговорота значительны во все сезоны года. Плотность распределения значений солености на поверхности вблизи центра круговорота в зимний период имеет два максимума (34,75 и 34,85 ‰), соответствующих средней солености при отсутствии аномально глубокой зимней конвекции и при развитии этого процесса. Вероятность соответствующих событий составляет примерно 0,6 и 0,4.

Таким образом, зимняя конвекция в круговороте обычно ограничивается верхним слоем. Условия для ее аномального заглубления зимой возникают вследствие локальной адвекции к центру круговорота более соленых вод атлантического происхождения, которые замещают распресненные воды, отчасти перемешиваясь с ними. Следы такой адвекции хорошо видны на океанографических съемках круговорота в марте 1984, 1989, 1993 гг., когда развилась глубокая конвекция [6, 15]. В структуре водных масс в центре круговорота отмечено постепенное распреснение в верхнем слое и слабое осолонение и повышение температуры глубоких слоев в течение последних 10 лет [6].

Влияние океанов высоких и умеренных широт на формирование климата и его изменений в полярных областях привлекало внимание многих ученых [11, 18, 26]. Один из аспектов этого влияния связан с воздействием циркуляции полярной атмосферы и состояния ледяного покрова Арктического бассейна, который подвержен значительным межгодовым изменениям [11]. При этом существенно изменяется площадь разводий и полыней, через которые передается в атмосферу основная часть зимнего океанического притока тепла. Соответствующие оценки показывают, что более 2/3 увеличения массы льда зимой в Арктическом бассейне приходится на ледообразование в разводьях, при котором в атмосферу поступает главная часть тепла из океана. В свою очередь, изменения площади разводий происходят с участием выноса дрейфующего льда из бассейна через пролив «Фрам». Межгодовые колебания количества выносимых льдов содержат заметную составляющую с периодами два-три года, которая согласуется с колебаниями атмосферной циркуляции над Северным Ледови-

ым океаном. В работе [1] предложена схема воздействия выноса льда и атмосферной циркуляции, порождающего квазидвухлетние колебания в полярной системе атмосфера — морской лед — океан.

Особый интерес представляет анализ глобальной отепляющей роли океана в климате Земли. Оставляя в стороне традиционные представления о важной роли океана как источника водяного пара для парникового эффекта в атмосфере, вкладе в снижение глобального альбеда, уделим основное внимание способности океана к пространственно-временному перераспределению тепла.

Здесь выделяются три механизма теплового влияния океана. Во-первых, колебания атмосферной циркуляции возбуждают флуктуации переносов тепла с океана на материи высоких и умеренных широт в зимний период. За время, меньшее времени термической релаксации атмосферы, формируются положительные аномалии температуры воздуха над материками и значительно меньшие аномалии противоположного знака над океанами ввиду их огромной тепловой инерции. В итоге возникает положительная флуктуация средней по зимнему полушарию температуры воздуха. При ослаблении атмосферной циркуляции и переносов нестационарный отепляющий эффект океанов уменьшается. Для теплых зимних периодов последних лет характерно именно усиление зональной циркуляции атмосферы, увеличение потоков тепла из океана и понижение температуры воды в западной части Северной Атлантики, рост положительных аномалий температуры воздуха над Русью относительно аномалии температуры воздуха над океаном [29].

Во-вторых, значительный вклад океанической циркуляции в переносы тепла в полярном направлении и существенные межгодовые колебания переносов [13] уменьшают межзональные температурные контрасты в атмосфере и формируют их отклонения от климатических норм, что в конечном итоге создает дополнительный отепляющий эффект океана и его флуктуации.

В-третьих, способность океана гасить амплитуду годового хода радиационного стока тепла из системы океан — атмосфера, благодаря «перебросу» значительной части летнего притока солнечной радиации для зимнего «обогрева» атмосферы. Здесь имеется в виду механизм возбуждения глобальных колебаний с участием океана, основанный на зависимости средней годовой температуры от амплитуды годового хода приходящей радиации при нелинейной зависимости уходящей длинноволновой радиации от температуры. В этом случае, независимо от причин, уменьшающих амплитуду годового хода радиационного стока тепла, средние за год его потери будут сокращаться. Очевидно, что океан является главной причиной уменьшения амплитуды годовых колебаний радиационного стока тепла, вслед за которыми убывает амплитуда годового хода температуры воздуха и возрастает ее среднегодовая величина. Такого рода согласованные колебания видны в эмпирических данных о среднегодовой температуре воздуха и амплитуде

ее годового хода в области 85—25° с. ш., аномалии которых отрицательно коррелированы (коэффициент равен —0,60) и отражают глобальные потепления 30-х и 80-х годов и похолодания начала века и в 60-е годы [4, 5].

В свете приведенных результатов акцентируется особая роль высоких и умеренных широт океанов, где реализуется переменная часть отопляющего эффекта океана и возможны катастрофические изменения в структуре деятельного слоя, приводящие к появлению морских дрейфующих льдов на его поверхности. Последние резко изменяют термодинамические свойства верхнего слоя, в результате чего океан почти теряет способность к межсезонному перебросу тепла, приближаясь в этом к континенту — с соответствующими последствиями для среднегодовой температуры воздуха. К ним еще добавляются хорошо известные последствия роста альбедо в высоких широтах [8].

Таким образом, важная роль в формировании естественных колебаний климата принадлежит высокоширотным областям Мирового океана, прежде всего, ввиду сильной зависимости глобальной вертикальной циркуляции и способности океана к межсезонному переносу тепла от структуры верхнего слоя воды в нем.

Приведенные результаты развивают представления о климатообразующей роли океана и особенно его высокоширотных частей, указывают на новые стороны крупномасштабного взаимодействия в глобальной системе атмосфера — океан — суша и дают основания для дальнейших исследований природы внутренних колебаний климата в сложной земной климатической системе.

Поступила 21.03.94 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. В. О взаимосвязи состояния ледяного покрова и атмосферной циркуляции в Центральной Арктике//Тр. ААНИИ. — 1976. — Т. 332. — С. 57—62.
2. Алексеев Г. В., Бузуев А. Я. Боковое таяние льда в раздолье//Тр. ААНИИ. — 1973. — Т. 307. — С. 169—178.
3. Алексеев Г. В., Бузуев А. Я. Об эволюции системы лед — поверхностный слой океана в районе дрейфа станции «СП-16» в 1970/71 г.//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1973. Вып. 42. — С. 37—43.
4. Алексеев Г. В., Подгорный И. А. Адвективно-радиационные колебания климата в системе атмосфера — океан — суша//Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. — 1991. — Т. 27. — № 10. — С. 1120—1129.
5. Алексеев Г. В., Священников П. Н. Естественная изменчивость характеристик климата Северной полярной области и северного полушария. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 159 с.
6. Алексеев Г. В., Иванов В. В., Кораблев А. А. Межгодовая изменчивость глубокой зимней конвекции в Гренландском море//Океанология. — 1995. — Т. 35. — № 1. — С. 45—52.
7. Алексеев Г. В., Подгорный И. А., Священников П. Н. Колебания отопляющего влияния океанов на глобальный климат//Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 320. — № 1. — С. 70—73.
8. Будыко М. И. Изменение климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 280 с.

9. Голицын Г. С. Введение в динамику планетарных атмосфер. — Л.: Гидрометеониздат, 1973. — 109 с.
10. Дымников В. П., Филатов А. Н. Устойчивость крупномасштабных атмосферных процессов. — Л.: Гидрометеониздат, 1990. — 236 с.
11. Захаров В. Ф. Льды Арктики и современные природные процессы. — Л.: Гидрометеониздат, 1981. — 136 с.
12. Каган Б. А., Маслова Н. Б. О неединственности термохалинной циркуляции океана//Докл. АН СССР. — 1989. — Т. 306. — № 4. — С. 980—984.
13. Лаппо С. С., Гулев С. К., Рождественский А. Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан — атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. — Л.: Гидрометеониздат, 1990. — 336 с.
14. Макштас А. П. Тепловой баланс арктических льдов в зимний период. — Л.: Гидрометеониздат, 1984. — 67 с.
15. Нагурный А. П., Богородский П. В., Попов А. В., Священников П. Н. Интенсивное образование холодных донных вод на поверхности ренландского моря//Докл. АН СССР. — 1985. — Т. 284. — № 2. — С. 478—480.
16. Никифоров Е. Г., Шпайхер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 269 с.
17. Николаев Ю. В. Крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы и проблема долгосрочных метеорологических прогнозов//Тр. ААНИИ. — 1977. — Т. 347. — С. 4—28.
18. Николаев Ю. В. Роль крупномасштабного взаимодействия океана атмосферы в формировании аномалий погоды. — Л.: Гидрометеониздат, 1981. — с.
19. Программа исследования атмосферы и океана в целях изучения короткопериодных изменений климата (программа «Разрезы»)./Под ред. акад. И. Марчука. Итоги, науки и техники. Сер. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». — Т. 1. — М.: ВИНТИ, 1981. — 60 с.
20. Романов А. А. Льды Южного океана и условия судоходства. — Л.: Гидрометеониздат, 1984. — 88 с.
21. Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне/Под ред. Ю. В. Николаева Г. В. Алексеева. — Л.: Гидрометеониздат, 1989. — 128 с.
22. Тимофеев В. Т. Водные массы Арктического бассейна. — М.: Гидрометеониздат, 1960. — 190 с.
23. Трешников А. Ф. Основные итоги исследований в океанических зонах полярных широт (программа «ПОЛЭКС»). — В сб.: Успехи советской океанологии. Мат-лы Первого съезда советских океанологов. — М.: Наука, 1979. — С. 146—156.
24. Трешников А. Ф. Поверхностные воды в Арктическом бассейне//Проблемы Арктики. — 1959. — Вып. 7. — С. 5—14.
25. Трешников А. Ф., Баранов Г. И. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. — Л.: Гидрометеониздат, 1972. — 158 с.
26. Трешников А. Ф., Борисенков Е. П., Никифоров Е. Г. Научный Эксперимент по проблеме взаимодействия океана и атмосферы//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1968. — Вып. 28. — С. 5—20.
27. Хрол В. П. Атлас энергетического баланса северной полярной области. — СПб: Гидрометеониздат, 1992. — 72 с.
28. Aagaard K. and Garmak E. C. The role of ice and other fresh water in the Arctic circulation//J. Geophys. Res. — 1984. Vol. 94. — P. 14485—14498.
29. Folland C. K., Karl T. R., Vinnikov K. Y. Observed climate variations and change. Report prepared for IPCC by Working group 1. June 1990. — 195—242.
30. Cordon A. L. and Huber B. A. Southern Ocean Winter Mixed Layer//J. Geophys. Res. 1990. Vol. 95. — P. 11655—11672.

31. Hasselmann K. Stochastic climate model. Pt. 1. Theory//Tellus. - 1976. - Vol. 28. - N 6. - P. 473-485.
32. Killworth P. D. Deep convection in the world ocean//Rev. of Geophy and Space phys. 1983. Vol. 21. - N 1. - P. 1-26.
33. Manabe S., Bryan K. and Spelman M. D. Transient response of a global ocean-atmosphere, model to a doubling of atmospheric carbon dioxide//J. Phys. Oceanogr. - 1990. - Vol. 20. - N 5. - P. 722-749.
34. WCRP-72: Scientific Concept of the Arctic Climate System Study (ACSYS). Report of the JSC Study Group on ACSYS (Bremerhaven, Germany, 10-12 June 1991, and London, United Kingdom, 18-19 November 1991). - 1992. WMO/TD - N 486. - 89 p.

ОТКРЫТИЕ ХРЕБТА ЛОМОНОСОВА

Вся совокупность научных данных о физико-географических условиях, рельефе, осадках, строении дна глубоководной части Северного Ледовитого океана площадью 4,47 млн км² получена в течение последних 100 лет. Прогресс знаний об Арктике, происходивший со времен средневековья, когда ирландские монахи-анакореты, а следом норманны устремились на север и открыли там Исландию и Гренландию, и почти до конца XIX в., совершенно не затронул приполюсную область, продолжавшую оставаться большим «белым пятном» на географических картах. Даже на крайнем юге Северного Ледовитого океана, более или менее доступном человеку, не были открыты еще многие острова и целые архипелаги.

Что касается приполюсной области, вход в которую преграждали непроходимые сплоченные льды, то отсутствие научных знаний о ней служило благодатной почвой для самых фантастических предположений. «У Северного полюса возвышается высокая скала из магнитного камня окружностью в 33 немецкие мили. Ее омывает текучее янтарное море, из которого вода там, как из сосуда, изливается вниз через отверстия. Вокруг расположено четыре острова, из которых два обитаемы. Пустынные обширные горы высятся вокруг этих островов на протяжении 24 дней пути, и на них нет человеческих жилищ» [10, с. 304]. Такова легенда к карте Пири Рейса 1508 г.

Спустя почти четыре столетия, в 1891 г. известный американский полярный исследователь А. Грили уточняет: «Мы знаем почти с такой же достоверностью, как если бы видели это собственными глазами, что в этих неисследованных областях находится обширная суша, являющаяся колыбелью столообразных ледбергов и палеокристического льда» [5, с. 67]. Заявление, сделанное А. Грили с такой непоколебимой уверенностью, удивительно напоминает утверждение, что Земля была создана ровно 9 утра 26 октября 4004 г. до н. э.

Впрочем, А. Грили не был одинок в своем заблуждении. Мнение о мелководности полярного моря в самых высоких его широтах, о наличии в нем островов разделялось большинством полярных исследователей и мореплавателей в канун Норвежской полярной экспедиции Ф. Нансена на «Фраме». «При дебатах в Лондонском географическом обществе перед моим отъездом, — пишет Нансен, — многие утверждали, что мы должны встретить земли „почти со всех сторон полюса“» [5, с. 306]. Да и сам он придерживался взгляда, что Полярный бассейн мелководен, хотя допускал существование глубокого канала поперек этого бассейна, который связывает большие глубины между Шпицбергом

и Гренландией с областью дрейфа «Жаннетты». Как известно, длина лотлиния, взятого Нансеном для измерения глубин по пути дрейфа, составляла 1800 м, и в дальнейшем его пришлось наращивать.

Это распространенное заблуждение, несомненно, основано на обширности арктической материковой отмели, наличии на ней большого числа островов и на том, что невозможно выйти из корабле за ее пределы, в область абиссальных глубин. Где бы ни проводились измерения — в Баренцевом ли море, в сибирских ли арктических водах, в районе ли Канадского Арктического архипелага — повсюду в краевой зоне наблюдалась одна и та же картина: глубины не превышали 300 м. В условиях, когда отсутствуют какие-либо указания на возможность больших глубин, трудно не поддаться искушению проэкстраполировать условия окраинной зоны на всю внутреннюю область океана.

Экспедиция на «Фраме», продолжавшаяся три года, закончилась успешно. Почти все это время она провела в районах, куда не ступала нога человека. И хотя дрейф проходил по эту сторону полюса южнее, чем предполагалось (самая северная точка, достигнутая «Фрамом», $85^{\circ}56'$ с. ш.), это ничуть не умаляет огромной значимости ее научных достижений. По признанию самого Ф. Нансена, важнейшим географическим открытием экспедиции явилось глубокое Полярное море. Результаты измерений глубин по линии дрейфа показали, что за исключением небольшого района к северу от Новосибирских островов океан всюду оказался глубже 3000 м. «Значительная часть Полярного бассейна — глубокое море, составляющее северное и восточное продолжение глубин Атлантического океана» [5]. Что касается острова или островов в районе географического полюса, то по эту сторону полюса «суши мало или даже ее вовсе нет» [5].

Экспедиция на «Фраме» лишь приоткрыла завесу над приполюсной областью океана. Огромное пространство по ту сторону географического полюса, простирающееся до берегов североамериканского континента, оставалось за границами известного мира. Есть ли там острова, каковы глубины океана? Эти и многие другие вопросы продолжали волновать исследователей, побуждали их искать способы проникнуть в неизведанную область. Трудные ответы на них собирались по крупицам и заняли немало времени. Предстояло совершить изнурительные санные походы по дрейфующим льдам через разводья и торосы в район Северного полюса Ф. Куку (1908 г.) и Р. Пири (1909 г.). Были рискованные полеты на самолетах со Шпицбергена до $87^{\circ}43'$ с. ш. и $10^{\circ}20'$ з. д. Р. Амундсена (1925 г.) и Р. Берда на полюс (1926 г.). Состоялся полет дирижабля «Норге» из Европы в Америку через полюс и полюс относительной недоступности, а также полеты Г. Уилкинса и Б. Эйельсона с мыса Барроу на Аляске в точку $77^{\circ}46'$ с. ш., 175° з. д. (1927 г.).

Эти походы по льдам и полеты над ними укрепили уверенность в том, что в западной части Арктического бассейна, между полу-

ом и окраиной североамериканского континента больших про-
гранств суши ожидать не следует. Измерение с помощью эхо-
та, выполненное Г. Уилкинсом в районе полюса относительной
едоступности, показало глубину 5540 м.

Некоторый спад научных исследований в центральной части
рктического бассейна, наступивший после экспедиции на «Фра-
е», сменился во второй половине 30-х годов беспрецедентной
ктивностью, приведшей к быстрому расширению знаний о ее при-
оде. Толчком послужило успешное завершение плавания
/п «А. Сибиряков» вдоль всего сибирского побережья летом
932 г., осуществленное по инициативе Всесоюзного Арктического
нститута. По результатам этого плавания Правительство СССР
риняло постановление об освоении в кратчайшие сроки морского
ути, связывающего северные и восточные окраины страны с ее
ападными экономически развитыми районами.

Практическая реализация этой важной народнохозяйственной
дачи, возложенная на только что созданное Главное Управле-
ие Северного морского пути, началась без каких-либо промедле-
ий. За несколько лет, последовавших после 1932 г., Арктика
рала неузнаваемой. Быстро пополнился арктический флот, во
ного раз увеличилось число плаваний судов и ледоколов вдоль
обережья Сибири, были построены порты и полярные станции,
озведены первые промышленные объекты.

Но организация регулярного мореплавания в Арктике с самого
ачала сталкивалась с трудностями, преодолевать которые прихо-
лось на ходу. Среди них не последнее место занимали трудно-
и, связанные со слабым знанием природных условий. Особенно
ного неприятностей доставляли морякам арктические льды, ко-
рые не только затрудняли плавание, но нередко делали его
осто невозможным. Стало ясно, что без организации система-
ических наблюдений за льдами и погодой, без выяснения зако-
мерностей их развития во времени и в пространстве не обой-
сь. А так как льды окраинных морей — это лишь внешняя часть
лярной «ледяной шапки», которая зимой выходит за пределы
верного Ледовитого океана и достигает 16 млн. км², то, не
учив, как развивается эта «шапка», нельзя понять и изменения
края в той или иной части Арктики.

Эта задача была возложена на Арктический научно-исследо-
тельский институт, который стал главным научным центром
раны по изучению природы северной полярной области. Реали-
ция этой задачи в полной мере не могла осуществиться без
ганизации исследований в центральной части Арктического бас-
йна. О. Ю. Шмидт и В. Ю. Визе поддерживали идею Ф. Нансена
создании в районе географического полюса научной станции.
ыт жизни и работы на дрейфующем льду во время челюскин-
ой эпопеи, возросшие технические возможности делали эту идею
олне осуществимой. Особенно привлекательной казалась сама
зможность выполнения длительных наблюдений за явлениями
процессами в околполюсном пространстве. Успех экспедиции

предполагал быстрое расширение знаний в ряде научных дисциплин о Земле.

Но какие бы перспективы ни открывало в изучении Северного Ледовитого океана создание дрейфующей станции, оно не могло заслонить те огромные технические трудности и высокую степень риска, которые были неизбежны при ее осуществлении. И тем не менее, эти трудности технического и психологического плана не оставили и не уменьшили решимость ученых создать научную станцию в самом сердце Арктики.

В феврале 1936 г. по докладу О. Ю. Шмидта правительство СССР принимает решение о подготовке экспедиции к Северному полюсу, а 21 мая следующего года самолет М. В. Водопьянов с И. Д. Папаниным, Э. Т. Кренкем, П. П. Ширшовым, Е. К. Федоровым производит посадку в точке $89^{\circ}26'$ с. ш., 78° з. Первое же измерение глубины, выполненное с дрейфующей льдины, показало 4290 м. Таким образом, большие глубины, измеренные по пути дрейфа «Фрама», действительно, распространились до самого полюса.

Планируя создание станции, ученые исходили из того, что она пробудет в приполюсном районе не менее года. Этого, как известно, не произошло. Ледяное поле, на котором она размещалась медленно, а затем с нарастающей скоростью стало удаляться от полюса в сторону пролива между Гренландией и Шпицберген. В течение первых пяти месяцев льдину отнесло к 85 параллели. Наступила осень, усилились ветры, и станция стала быстро приближаться к гренландским берегам. В ноябре она уже втянула в пролив, оказалась в Восточно-Гренландском течении, которое понесло ее все дальше и дальше на юг.

По пути дрейфа из района полюса до точки $85^{\circ}33'$ с. ш., 1° в. глубина океана повсюду превышала 4000 м. Первое же измерение, сделанное участниками дрейфа южнее 85 параллели, принесло неожиданный результат. «8 ноября на широте $83^{\circ}54'$ мы вдруг обнаружили, что глубина океана уменьшилась до 2380 м. Это было очень неожиданно. Можно было предположить, что льдина подшла к склону материковой ступени, идущей от Гренландии. В любом же было наше удивление, когда, отнесенные дрейфом еще ближе к материку, мы снова обнаружили глубину, равную 3500 метров!» [6, с. 78].

Подъем дна, обнаруженный папанинцами, прекратился так же неожиданно, как и начался. Вскоре глубина снова упала до 4000 м и более и оставалась такой до гренландской материковой отмели. Характеризуя в целом результаты всех измерений глубин от полюса до пролива «Фрам», можно считать, что они полностью подтвердили вывод Ф. Нансена о глубоком Полярном море, занимающем все околополюсное пространство в евразийском секторе Арктики.

Осенью 1937 г., когда станция «Северный полюс» приближалась к проливу «Фрам», далеко на востоке от нее, в море Лаптевых, начался дрейф л/п «Г. Седов». Судьба уготовила ему повт

ать трансарктический дрейф Норвежской полярной экспедиции почти 40 лет спустя. Интерес к этому событию был огромным не только у нас в стране, но и в мире, так как дрейф был вынужденным и какой-либо подготовки к нему заранее не проводилось. Л/п «Г. Седов» имел прямостенный корпус, крайне невыгодный при сжатиях льдов, что, конечно, не могло не обострить драматизм ситуации.

Ледовая обстановка, сложившаяся к концу навигации 1937 г. на западном участке Северного морского пути, оказалась довольно сложной. Плавание транспортных судов и ледоколов из-за отсутствия ледовой информации осуществлялось «вслепую». К этому добавились серьезные трудности со снабжением судов топливом. В результате почти половина всего флота Главсевморпути оказалась в критическом положении. 26 судов, в том числе и ледокола, не смогли своевременно покинуть Арктику и вынуждены были остаться на зимовку там, где их застала зима. В восточной части моря Лаптевых, недалеко от о-ва Бельковского в ледовом плену оказались суда «Садко», «Малыгин» и «Г. Седов». Освободиться от него не удалось, и под влиянием южных и юго-западных ветров их понесло за пределы моря. В начале весны 1938 г. они находились в точке $78^{\circ} 24' \text{ с. ш.}, 153^{\circ} 26' \text{ в. д.}$ Ветры переменились и теперь «Садко», «Малыгин» и «Г. Седов» дрейфовали вместе со сковавшими их льдами на север и северо-запад, удаляясь от сибирского берега.

Летом 1938 г. были предприняты энергичные меры по выводу затертых судов. В конце августа, когда в результате таяния ледовая обстановка улучшилась, ледокол «Ермак» под командованием капитана М. Я. Сорокина сумел пробиться к ним за 83 параллелью. Два судна «Г. Седов» и «Малыгин», удалось вывести в чистую воду. «Г. Седов» остался, так как не мог самостоятельно двигаться из-за поврежденного рулевого управления. Его пришлось оставить на вторую зимовку. Для обеспечения живучести судна и выполнения научных наблюдений во время дрейфа было сохранено на борту небольшую команду под руководством К. С. Бадигина. Основная тяжесть по выполнению научных наблюдений легла на плечи тогда еще студента 5 курса гидрографического института В. Х. Буйницкого.

Дрейф «Г. Седова» продолжался 812 суток. В январе 1940 г. был вынесен в Гренландское море и здесь, в точке $80^{\circ} 30' \text{ с. ш.}, 1^{\circ} 50' \text{ в. д.}$ освобожден подошедшим к нему на выручку ледолом «И. Сталин». Систематические наблюдения, проводившиеся на пути дрейфа, продвинули знания о природных условиях в центральной части Арктического бассейна. В равной мере это относится и к глубинам океана. Дрейф «Г. Седова», как известно, проходил севернее дрейфа «Фрама». Самая северная точка, достигтая л/п «Г. Седов», имела координаты $86^{\circ} 40' \text{ с. ш. и } 47^{\circ} 55' \text{ в. д.}$, «Фрамом» — $85^{\circ} 56' \text{ с. ш.}, 66^{\circ} 31' \text{ в. д.}$ Поэтому измерения глубин могли либо подтвердить, либо опровергнуть мнение Ф. Нансена о глубоком Полярном море, по крайней мере, по эту сторону по-

люса. Они показали, что преобладающие глубины океана в 84 параллелью по линии дрейфа превышают 4000 м. В точке 86° 26' с. ш., 39° 25' в. д. была зафиксирована глубина, превышающая 5180 м*. Точное значение ее не удалось установить, так как лотиль был вытравлен на всю длину [1].

Подводя итог изучению рельефа морского дна в центральной части Арктического бассейна по результатам измерений различных экспедиций, в том числе и на судне «Г. Седов», Ю. М. Шенкальский, выражая общее мнение, писал: «Значительные глубины (свыше 4000 и даже 5000 м) свидетельствуют о том, что от линии дрейфа „Фрама“, вдоль которой были найдены глубины до 3000 м далее к северу океаническое ложе заметно понижается. В совокупности с промерами дрейфующей полярной станции и уединенно стоящим промером Вилькинса к северу от о. Врангеля можно почти наверное предполагать, что и все понижение ложа Северного Ледовитого океана отличается такими же значительными глубинами, т. е. от 4000 до 5000 м и даже больше» [1, с. 34—35].

Следует отметить, что состоявшаяся весной 1941 г. экспедиция на самолете «СССР Н-169» в район полюса относительно незначительности принесла неожиданные результаты. Измерения в трех точках (81° 27' с. ш., 181° 15' в. д.; 78° 31' с. ш., 176° 54' в. д.; 79° 56' с. ш., 190° 05' в. д.) обычным лотовым способом обнаружили здесь глубины от 1856 до 3370 м. Этот результат поставил под сомнение измерение Г. Уилкинса с помощью эхолота (5440 м). Измерения, выполненные в 1949 г. П. А. Гордиенко, обнаружили здесь глубины 2048 и 1928 м.

Экспедиция на самолете «СССР Н-169» (командир И. И. Черевичный, штурман В. И. Аккуратов и научная группа в составе Я. С. Либина, М. Е. Острейкина и Н. Т. Черниговского) — событие несомненно, первостепенного значения в истории исследования центральной части Арктического бассейна [13]. Начавшаяся вскоре Великая Отечественная война заслонила этот яркий эпизод в жизни страны и помешала по достоинству оценить его новаторский характер. Экспедиция завершилась интересными научными данными, полученными из труднодоступного района и успешным принципиально новым методом исследования покрытого льдом полярного океана. Послевоенный быстрый прогресс знаний о центральной части Арктического бассейна стал возможен благодаря массовому использованию этого метода, предложенного И. И. Черевичным и успешно опробованного им весной 1941 г.

Первая послевоенная Высокоширотная воздушная экспедиция состоялась весной 1948 г. и сразу же увенчалась географическим открытием, радикально изменившим представление о глубинах рельефа и строении дна Северного Ледовитого океана. Изображаемая на картах глубоководная впадина с монотонным рельефом

* Глубина 5180 м, как показали позднейшие измерения, является ошибочной.

занимающая якобы все околополюсное пространство, в действительности оказалась расчлененной и усложненной подводными хребтами и поднятиями. Огромная подводная страна в одном из самых недоступных районов Земли предстала в истинном свете, благодаря самоотверженной работе летчиков и ученых.

По числу занятых в экспедиции людей (в ней принимали участие 72 члена летно-подъемного состава и 28 научных работников), самолетов, по объему работ и значению в последующем изучении Арктического бассейна она, несомненно, может быть отнесена к выдающимся полярным экспедициям. Научная программа была разработана в Арктическом институте и предусматривала продолжение исследований в районах, которые ранее не посещались человеком. Это — приполюсное пространство к северу от Новосибирских островов и о-ва Врангеля. Для этого предполагалось широко использовать метод, успешно зарекомендовавший себя в экспедиции на самолет «СССР Н-169» и предусматривавший доставку экспедиционных групп в заранее намеченные пункты и выполнение там в течение нескольких суток серии научных наблюдений.

В экспедиции участвовали восемь самолетов полярной авиации (шесть ЛИ-2 на лыжах — командиры И. И. Черевичный, И. С. Котов, М. И. Козлов, Б. Н. Агров, М. Н. Каминский, В. И. Масленников; один ИЛ-12 — командир М. А. Титлов и переоборудованный для перевозки авиабензина четырехмоторный бомбардировщик ПЕ-8 — командир В. Н. Задков). Научный состав экспедиции, подобранный в основном из сотрудников Арктического института, включал: А. Ф. Трешникова, М. М. Сомова, Я. Я. Гаккеля, В. Т. Тимофеева, П. А. Гордиенко, Н. А. Волкова, М. М. Никитина, И. С. Песчанского, П. К. Сенько, Б. Е. Брюнелли, Н. А. Миляева, К. К. Федченко и др. Возглавлял экспедицию начальник Главного управления Северного морского пути А. А. Кузнецов. Его заместителем по научной программе был участник экспедиции на полюс относительной недоступности 1941 г. М. Е. Острекин.

Экспедиция была не только тщательно спланирована, но и обеспечена всем необходимым для работы на дрейфующем льду. Для проживания экипажей и экспедиционного состава была сконструирована легкая и вместительная палатка КАПШ. Для обогрева и приготовления пищи впервые предполагалось использовать природный газ. В практику экспедиционных исследований внедрялась новая научная аппаратура: портативная магнитно-вариационная станция Б. Е. Брюнелли, маятниковый прибор для определения силы тяжести С. Е. Александрова, приборы для изучения физико-механических свойств льда и др.

В конце марта — начале апреля подготовительные работы были закончены, и воздушная экспедиция вступила в стадию своего практического осуществления. Самолеты с экспедиционным составом и многочисленными грузами стали покидать подмосковный аэродром Захарково и брать курс на арктический поселок

Тикси. Отсюда, с побережья моря Лаптевых, должен был начаться штурм высоких широт. На припае в бухте Темп на о-ве Котельном была подготовлена взлетно-посадочная полоса для дозаправки самолетов перед тем, как им лететь дальше на север. Вскоре сюда прибыли первые самолеты и среди них ЛИ-2 (командиры И. И. Черевичный и И. С. Котов). Им предстояло выполнять наиболее ответственную задачу экспедиции — находить в океане пригодные для посадки льдины для дрейфующих баз.

9 апреля И. И. Черевичный и И. С. Котов совершили посадку на дрейфующий лед к северу от Новосибирских островов за 80-й параллелью. Находившиеся на борту этих самолетов океанологи М. М. Сомов и П. А. Гордиенко, геофизики М. Е. Острекин и П. К. Сенько приступили к выполнению программы научных наблюдений. Между тем географическое положение льдины позволяло использовать ее в качестве промежуточного пункта для полетов еще дальше, в самое сердце Арктики. Вскоре на эту льдину совершил посадку четырехмоторный ПЕ-8 В. Н. Задкова, доставивший авиабензин.

Через несколько дней льдину за 80-й параллелью покинули самолеты И. И. Черевичного и И. С. Котова, чтобы открыть еще одну станцию на пути к Северному полюсу. За 86-й параллелью самолеты благополучно совершили посадку на лед для выполнения научной программы в этой части Арктического бассейна. Океанологи В. Т. Тимофеев и Я. Я. Гаккель зафиксировали здесь резкое поднятие дна океана, послужившее началом открытия хребта Ломоносова. Измеренная несколько ранее глубина 2700 м уменьшилась в точке $86^{\circ}26'$ с. ш. и $154^{\circ}53'$ в. д. до 1290 м, т. е. почти на 1,5 км. Это могло произойти лишь при условии, что под толщей воды в данном месте находилось поднятие с крутым склоном.

Хотя единичное измерение глубины океана, как показывает весь опыт исследовательских работ, является весьма шаткой основой для суждения о рельефе дна, оно все же дает почву для размышлений в определенном направлении. К тому же один из участников этого события В. Т. Тимофеев допускал возможность открытия сравнительно небольших глубин в центральной части Арктического бассейна. В своих предположениях В. Т. Тимофеев исходил из различий в физическом состоянии глубинных вод, которые были обнаружены при сравнении вертикального распределения температуры в океане в районе полюса относительной недоступности, с одной стороны, и в районе дрейфа судов «Фрам» и «Г. Седов», — с другой. Участники экспедиции на самолете «СССР Н-169» Я. С. Либин и Н. Т. Черниговский [4, 11] обратили внимание на то, что на горизонтах свыше 2000 м и температура, полученная на борту судна «Фрам», составляла около $-0,8^{\circ}\text{C}$, тогда как в районе полюса недоступности $-0,4^{\circ}\text{C}$. Анализируя этот интересный факт, авторы не могли понять причину, которая поддерживает горизонтальный контраст температуры на больших глубинах между этими станциями. В 1945 г., сравнивая

температуру донной воды по станциям, выполненным л/п «Г. Седов» и экспедицией на самолете «СССР Н-169», В. Т. Тимофеев пришел к выводу, что такая большая разница $-0,38$ и $-0,78^{\circ}$ в температуре в этих двух районах может быть объяснена подъемом рельефа дна между меридианами 140 и 175° в. д. Этот подъем препятствует проникновению холодных донных вод на восток.

Среди специалистов, научные взгляды которых допускали по тем или иным соображениям возможность существования поднятия дна к северу от Новосибирских островов еще до В. Т. Тимофеева, в первую очередь следует назвать Э. В. Толля. Опираясь на результаты своих полевых исследований в 1885—1886 и 1893 гг., Э. В. Толль пришел к убеждению, что «Новосибирские острова представляют собой продолжение горной страны материка Сибири на восток от Лены или отторженную часть Верхоянской дуги. Вся тектоника этой дуги обуславливается двумя системами тектонических линий, разбивающих эту часть Сибири на ряд горстов и грабен. Мы имеем основание думать, что эти тектонические линии могут быть прослежены подобно тому, как на Новосибирских островах и на неоткрытом до сих пор архипелаге, лежащем вероятно к северу от них...» [8, с. 16]. Сами Новосибирские острова, о-ва Де-Лонга и Земля Саникова, по его мнению, это лишь небольшая часть древнего материка («страны мамонтов»), который, соединяясь с нынешним материком, достигал, быть может, через полюс американского архипелага [7].

Серьезные аргументы в пользу существования преграды, разделяющей в недавнем прошлом Арктический бассейн по линии Новосибирские острова—Гренландия, были представлены Е. Ф. Гурьяновой, исходя из биологических данных. Обработка коллекций бокоплавов и изопод, собранных на л/к «Садко» в 1935 и 1937 гг., показала наличие среди них видов-близнецов, разделенных Новосибирскими островами. Эти острова выступают в роли преграды, разделяющей шельфовую фауну карского и чукотско-американского центров друг от друга. Некоторые виды этих животных в настоящее время имеют ареал в форме полукольца в западной части Арктики, охватывающей шельфы морей Карского и Лаптевых и северо-восточный шельф Гренландии, разорванного в ряде мест большими глубинами. К востоку от Новосибирских островов северотихоокеанские иммигранты, имеющие сплошной ареал от дальневосточных морей до о-вов Де-Лонга, где они концентрировались у края материковой отмели. Здесь, у о-вов Де-Лонга, проходит западная граница ареала шельфовых видов восточной части Арктического бассейна. Общность видов гренландского шельфа и Карского и Лаптевых морей свидетельствует о том, что была преграда, по которой эти животные перемещались и контактировали друг с другом [2, 3].

Примерно в те же дни, когда В. Т. Тимофеев и Я. Я. Гаккель обнаружили в океане резкое уменьшение глубин, летчики М. И. Козлов и М. Н. Каминский открыли станцию в районе

80-й параллели к северу от о-ва Врангеля. Научную часть программы на этой станции выполняли А. Ф. Трешников, М. М. Никитин, К. К. Федченко, И. С. Песчанский и др. 23 апреля три самолета ЛИ-2 И. И. Черевичного, И. С. Котова и В. И. Масленникова совершил посадку на ледяное поле вблизи Северного полюса. Научный персонал отряда, включающий М. М. Сомова, П. А. Гордиенко, М. Е. Острекина и П. К. Сенько, в течение нескольких суток выполнил наблюдения на вершине земного шара. Измеренная тросом глубина в точке полюса оказалась равной 4039 м.

По окончании работ в районе полюса самолеты И. И. Черевичного и И. С. Котова совершили посадку вблизи 86° с. ш., 180° в. д., где, по предположениям некоторых геофизиков, находился второй магнитный полюс северного полушария. Наблюдения М. Е. Острекина и П. К. Сенько, выполненные здесь в течение трех суток, показали, что в действительности такого полюса не существует, однако отмечено явное сгущение магнитных меридианов, сжатие их в узкий направленный пучок. Изучение вертикального распределения температуры в океане в этой же точке показало, что температура глубинных вод близка к $-0,4^{\circ}$, т. е. существенно не отличается от данных, полученных А. Ф. Трешниковым и М. М. Никитиным.

В мае Высокоширотная воздушная экспедиция, выполнив наблюдения в восьми точках к северу и северо-востоку от Новосибирских островов, возвратилась в Москву и Ленинград. Успешный опыт полетов в сложных условиях, посадок на дрейфующие льды, жизни и работы при низких температурах служили залогом дальнейших успешных исследований в Арктическом бассейне. Интерес к продолжению работ подогревался открытием сравнительно небольшой глубины всего в 380 км от полюса и наличием горизонтального градиента температуры на глубинах свыше 2000 м, поддерживать который могла лишь преграда, мешающая свободному обмену вод.

После экспедиции Я. Я. Гаккель на основе прямых измерений глубины в Арктическом бассейне построил карту рельефа дна, на которой впервые было изображено подводное поднятие, разделяющее этот бассейн на две глубоководные котловины. Тогда же подобную карту подготовил В. Т. Тимофеев.

В отличие от карты Гаккеля хребет на ней был расположен ближе к его действительному положению и был ориентирован от Новосибирских островов через полюс к Земле Элсмира. Устранить эти расхождения могли лишь прямые измерения. Поэтому Ученый совет Арктического института высказался за продолжение и расширение исследовательских работ в высокоширотной Арктике. Работы были продолжены во все возрастающем объеме весной 1949 и 1950 гг. К восьми измерениям глубины в 1948 г. эти два года добавили еще 72. В 1949 г. А. Ф. Трешников и Л. Л. Балакшин измерили глубину 1005 м и в точке, расположенной еще ближе к полюсу.

Прямые измерения глубин, выполненные Высокоширотными воздушными экспедициями 1948—1950 гг. дрейфующей станцией «Северный полюс-2» под руководством М. М. Сомова (станция была создана весной 1950 г. в точке $76^{\circ}10'$ с. ш., 167° з. д.) и всеми довоенными экспедициями, составили необходимую фактическую основу для первой батиметрической карты Арктического бассейна. Эта карта была подготовлена Арктическим институтом и опубликована в 1951 г. На ней нанесен подводный хребет, правда, пока еще в первом, но вполне реальном приближении, протянувшийся от Новосибирских островов к Земле Элсмira и разделивший Арктический бассейн на два суббассейна: Евразийский и Амеразийский. Длина этого грандиозного горного сооружения 1800 км, ширина 60—200 км, возвышение вершинной части над ложем океана на 3300—3700 м. По предложению Арктического института Президиум Академии наук СССР присвоил ему имя М. В. Ломоносова.

Открытие хребта явилось прологом к дальнейшим открытиям в строении дна глубоководной части Северного Ледовитого океана, завершившимся созданием детальных карт всего околополюсного пространства. Интенсивные исследования, проводимые в первую очередь СССР в центральной части Арктического бассейна в 50 и 60-е годы с дрейфующих станций и воздушными экспедициями, выявили новые важные особенности рельефа дна и подняли его изученность на уровень, характерный для наиболее доступных районов Мирового океана.

В процессе их выполнения было установлено, что, наряду с хребтом Ломоносова, в Арктическом бассейне простираются еще два трансокеанических хребта: Срединно-океанический хребет Гаккеля, являющийся частью планетарной системы срединно-океанических хребтов, а также хребет Менделеева и орографически единое с ним поднятие Альфа.

Эти хребты отделены друг от друга и от континентальных окраин глубоководными котловинами Нансена, Амундсена, Макарова и Канадской с максимальными глубинами в них соответственно 3975, 4485, 4007 и 3909 м. Таким образом, реальная батиметрия Арктического бассейна оказалась довольно сложной и непохожей как на мелководный бассейн, так и глубоководную чашу с монотонным рельефом дна.

Выяснение подлинного рельефа дна Арктического бассейна открыло путь к формированию правильного представления о соотношении основных морфоструктур дна всего Северного Ледовитого океана (табл. 1), отражающее его природное своеобразие.

Послевоенные исследования в центральной части Арктического бассейна — результат совместных усилий ученых и летчиков. Полярные летчики внесли огромный вклад в успех всего дела, совершая с риском для жизни сотни посадок на заснеженные и неровные ледяные поля. Назвать здесь имена этих людей (ученых и летчиков), к сожалению, нет возможности, ибо несть им числа. Многие ушли из жизни, другие, к счастью, здравствуют. И долг

Таблица

Площади основных морфоструктур дна Северного Ледовитого океана [9], %

Подводные окраины материков				Переход- ная зона	Лже океана			Срединно- океанические хребты
шельф	материко- вый склон	материко- вое под- ножие	всего		дно котловин	подня- тия	всего	
50,3	18,4	5,5	74,6	—	15,4	7,0	22,4	3,0

тех, кто пришел им на смену, не забывать о свершенных им делах.

В заключение необходимо отметить, что географические открытия Арктического и антарктического научно-исследовательского института за 75 лет своей деятельности в Арктике, конечно же, не исчерпываются хребтом Ломоносова. Экспедиции института открыли и нанесли на карту за эти годы многие острова, заливы, проливы, ледники, озера, реки и горы. Стерты многие «белые пятна», на картах сибирского побережья и в арктических водах к северу от него.

Особенно богатыми на открытия были 30-е годы. Экспедиция на л/п «Г. Седов» в 1930 г. открыла в северной части Карского моря о-в Визе, географическое положение которого было предсказано ученым, чье имя он получил. Продолжая плавание в этом море, «Г. Седов» открыл в то лето также острова Исаченко, Воронина, Длинный, Домашний и Шмидта. На о-ве Домашнем была построена база для зимовки группы Г. А. Ушакова и Н. Н. Урванцева для описи архипелага Северная Земля, состав и положение которого до конца не были известны. Главным результатом работы этой экспедиции 1930—1932 гг. явилась первая полная карта этого архипелага со всеми его островами и проливами. В 1932 г. л/п «А. Сибириков» открывает в Карском море о-в Сидорова и группы островов Арктического института л/п «Русанов» — группы островов Известий ЦИК. Экспедиция Арктического института на л/п «Садко» в 1935 г. открывает на севере Карского моря о-в Ушакова. Нет необходимости дальше расширять этот список, так как и того, что перечислено, достаточно, чтобы оценить роль ААНИИ в географических открытиях в Арктике.

Поступила 21.09.93 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буйницкий В. Х. Результаты измерения глубин//Тр. дрейф. экспед. Главсевморпути на л/п «Г. Седов» 1937—1940 гг., 1951, т. IV. — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1951. — С. 58—73.
2. Гурьянова Е. Ф. Фауна Полярного бассейна и пути ее обмена с фаунами соседних районов Мирового океана//Тр. Второго географического съезда. — М.: Государственное издательство географической литературы, 1949. — С. 202—204.

3. Гурьянова Е. Ф. Особенности фауны Северного Ледовитого океана и их значение для понимания истории ее формирования/Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — С. 126—155.
4. Либин Я. С. Гидрологические наблюдения/Экспедиция на самолете «СССР Н-169» в район Полюса недоступности. — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1946. — С. 74—123.
5. Нансен Ф. «Фрам» в полярном море. Т. I, II. — М.: Гос. изд-во географ. литературы, 1956. — 368 с., 352 с.
6. Папанин И. Д. Дрейфующая станция//Тр. дрейф. станции «Северный полюс». — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1940. — С. 21—114.
7. Толль Э. В. Ископаемые ледники Новосибирских островов и их отношение к трупам мамонтов и к ледниковому периоду//Зап. РГО, 1897. — Т. XXXII. — № 1. — 133 с.
8. Толль Э. В. Очерк геологии Новосибирских островов и важнейшие задачи исследования полярных стран/Зап. АН по физ.-мат. отделению. — 1899. — № 1. — 20 с.
9. Уровень, берега и дно океана. — М.: Наука, 1978. — 191 с.
10. Хенниг Р. Неведомые земли. Т. II. — М.: Иностранная литература, 1962. — 472 с.
11. Черниговский Н. Т. У полюса недоступности//Природа. — 1943. — № 5. — С. 33—38.
12. Шокальский Ю. М. «Г. Седов», его дрейф и география Северного полярного бассейна//Проблемы Арктики. — 1940. — № 2. — С. 34—38.
13. Экспедиция на самолете «СССР Н-169» в район Полюса недоступности. Научные результаты. — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1946. — 198 с.

ПОЛЯРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ: СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ

Основные этапы работ отдела. Идея проведения Первого Международного полярного года (МПГ) была основана на ничтожно малой эффективности метеорологических наблюдений, проводимых в экспедициях с различными целями. Карл Вайпрехт — австрийский полярный исследователь и инициатор проведения этого международного мероприятия, считал, что проведение всех метеорологических наблюдений в Арктике должно быть синхронным и по согласованным программам. Этот принцип и в настоящее время является одним из основных в деятельности Всемирной Метеорологической Организации (ВМО).

Таким образом, начало проведения Первого МПГ в 1882 г. следует считать годом официального становления полярной метеорологии. Начало ее формирования в России было положено Главной физической (ныне Геофизической) обсерваторией (ГГО).

После образования АНИИ в его структуре формируется подразделение, ведущее метеорологические наблюдения в экспедициях на морских судах. Поэтому все материалы полярных станций поступали в ГГО, она осуществляла подготовку полярных наблюдений и официально представляла полярную метеорологию во время подготовки и проведения Второго МПГ (1932/33 г.). Однако к этому времени в АНИИ сформировалась довольно сильная группа специалистов-метеорологов: В. А. Березкин, И. П. Русина, Н. Н. Калитин, консультантом работал П. А. Молчанов. Много внимания полярной метеорологии уделял известный ученый В. Ю. Визе. Поэтому не случайно по докладу В. А. Березкина 20 мая 1933 г. Ученый Совет принял решение о сосредоточении материалов по метеорологии в стенах института.

К этому времени сеть метеорологических станций значительно увеличилась, наряду с этим на четырех станциях велись регулярные радиозондирования свободной атмосферы. Однако все полярные станции располагались вдоль побережья, поскольку проблема обеспечения мореплавания по трассе Северного морского пути являлась главной для деятельности института.

В центральной части Арктического бассейна отсутствовала регулярная сеть, к этому времени имелись лишь данные наблюдений, полученные во время дрейфа судов «Фрам» (1893—1895 гг.) и «Мод» (1922—1924 гг.). В 1931 г. состоялся полет дирижабля «Граф Цеппелин», с борта которого П. А. Молчанов впервые в мире осуществил выпуск четырех радиозондов, достигших стратосферы.

В 1933 г. институт уже располагал собственными печатными органами, архивами метеорологических, актинометрических и аэрологических наблюдений. Но главное, в институте уже имелись

высококвалифицированные кадры полярных метеорологов. Это стало основанием для определенной структурной перестройки, связанной с необходимостью камеральной обработки наблюдений, проведения инспекций, подготовки кадров, развития научно-исследовательских и методических работ. В печатных изданиях института появились публикации, обобщающие материалы наблюдений, правда все они были связаны с трассой Северного морского пути.

В 1937 г. была организована дрейфующая станция «Северный полюс-1» под руководством И. Д. Папанина. Наблюдения в центральной части Арктического бассейна были продолжены во время рейфа л/к «Г. Седов» (1938—1939 гг.). Эти наблюдения позволили Б. Л. Дзержевскому «ликвидировать» стационарный антициклон над центральными районами Арктики. Наряду с этим многие исследователи (Н. Т. Черниговский, А. С. Каледкина, Г. Г. Гутерман, Е. А. Леонтьева, Е. И. Тихомиров, М. И. Гольцман, М. П. Козлов) опубликовали работы, посвященные различным аспектам арктической метеорологии. Большинство из них носило предварительный характер, так как они были выполнены на небольшом объеме наблюдений, полученных на станциях или экспедициях.

С 1936 г. по 1947 г. отделом метеорологии руководил профессор Е. И. Тихомиров. За это время отдел существенно укрепился новыми научными позициями, пополнился кадрами, была налажена четкая связь с полярными станциями, расширена научная тематика, однако значительный объем работ был связан с камеральной обработкой материалов наблюдений, подготовкой их к изданию.

Великая Отечественная война внесла существенные коррективы в планы работы отдела. Эвакуация в Красноярск и проблемы сохранения фондовых материалов в блокадном Ленинграде происходили на фоне расширенных работ по обеспечению Северного флота и авиации, а также народнохозяйственных организаций метеорологической информацией, в том числе прогностической. Большое значение имела тогда вышедшая в 1940 г. книга Ю. Визе «Климат морей Советской Арктики». В 1941 г. им же была опубликована работа, посвященная потеплению климата Арктического бассейна. Е. А. Леонтьева закончила работу над важной проблемой по климату советского сектора Арктики.

После окончания Великой Отечественной войны отдел реорганизовался. Работы в области верхней атмосферы выделились в отдел Геофизики, исследования в области прогноза погоды — самостоятельный отдел. Сотрудники отдела Н. Н. Шпаковский,

Н. Шпаковский, И. М. Долгин, В. М. Шапаев, З. М. Прикрас защитили кандидатские диссертации, что, несомненно, повысило уровень работ в области полярной метеорологии.

В то же время профессор М. И. Гольцман начал работы по созданию комплекса самолетной метеорологической аппаратуры тающей метеорологической обсерватории (ЛМО). В 1948 г. работы ЛМО были начаты в качестве методических, а с 1950 г.

регулярных. Целью таких полетов на гражданских самолетах являлась разведка погоды в период навигации на трассе Северного морского пути. Кроме разведки погоды, на борту самолетов ЛМО выполнялся большой объем наблюдений в области микрофизики атмосферы. Наблюдения ЛМО до настоящего времени являются актуальными при выполнении работ по программе Всемирной климатической программы. Ряд результатов анализа этих материалов, выполненных в начале 60-х годов, до настоящего времени считаются в нашей стране и за рубежом уникальными.

Однако в период 1947—1956 гг., когда отделом руководил Н. Н. Шпаковский, работы ЛМО по удельному весу были очень незначительны, основной состав отдела был занят камеральной обработкой наблюдений полярных станций. Объем наблюдений, поступающий в отдел на обработку, все время увеличивался в связи с увеличением числа станций и расширения видов наблюдений. Существовавшая в то время политика изоляции наших работ в Арктике резко сократила число публикаций. Количество ведущих специалистов значительно уменьшилось. Кроме камеральной обработки материалов наблюдений, отдел выполнял большой объем работ, связанных с представлением различных климатических справок народнохозяйственным и оборонным организациям.

С 1956 г. отделом руководил И. М. Долгин, который до 1960 г. проводил ту же практику формирования научно-исследовательского плана работ. Создание в институте вычислительного центра, осуществлявшего многие виды обработки материалов наблюдений, привело к новой реорганизации отдела — отделению научно-методических работ (1961 г.).

В 1959 г. институт стал называться Арктическим и антарктическим научно-исследовательским, однако отдел метеорологии в 1964 г. не привлекался к формированию метеорологического отряда антарктических экспедиций. Более того, материалы метеорологических наблюдений, которые курировала ГГО, были переданы в ААНИИ с большим объемом отставания в обработке. Отдел метеорологии устранил это отставание.

В 1960 г. руководство антарктической экспедиции получило согласие правительства для создания авиационного моста Москва — Антарктида. Отдел метеорологии (А. И. Воскресенский, О. М. Кузнецова) установили метеорологическую аппаратуру на самолете ИЛ-18 (на время прилета) и АН-10 (для полетов в Антарктиде). Эта экспедиция выполнила полет по маршруту Москва — Ташкент — Дели — Джакарта — Дарвин — Сидней — Крайсчерч — Мак-Мердо — Мирный и обратно в декабре 1960 г., феврале 1961 г. Полетов внутри континента Антарктиды не было. Итоги метеорологических наблюдений во время перелета опубликованы А. И. Воскресенским отдельной книгой в трудах Советской антарктической экспедиции.

В 1963 г. З. М. Прик опубликовала «Первый климатический Атлас Арктики», климатические материалы которого выдвину

е в число лидеров полярной климатологии. Ее работы были переведены и многократно использовались в публикациях советских зарубежных исследователей. Наряду с подготовкой и изданием справочников, которые в значительной мере сократили объем запросов народнохозяйственных и оборонных организаций, в отделе ачаты работы по исследованию климата зарубежной Арктики. были опубликованы три монографии (метеорологический, радиационный режим и климат свободной атмосферы).

В начале 80-х годов отдел стал постепенно терять позиции ведущего в области полярной метеорологии, что было связано как с активизацией работ зарубежных ученых, так и с падением научного потенциала. В отделе превалировали мелкие работы работ крупных тем других отделов института или других учреждений страны. Экспедиционная деятельность была сокращена, новые направления работ, характерные для того периода, развивались.

В 1977 г. отдел стал возглавлять А. И. Воскресенский, который начал перестройку работы отдела с укрепления его кадрами высшей квалификации. В отдел были приняты кандидаты физико-математических наук Л. Н. Юрганов, В. В. Майстрова, И. Баранов, кандидаты географических наук Г. Г. Сакунов, А. Дементьев, Н. В. Колосова, защитили кандидатские диссертации Л. П. Бурова, Е. И. Александров, В. В. Субботин, И. Долгин, А. С. Александров, Э. П. Лысаков. В основу орческого метода было положено умение выявлять физическую природность процессов, трудно поддающихся на данный период математическому описанию и находить методы расчета количественных характеристик ранее изучавшихся только с качественной стороны или не изучавшихся вообще.

Была разработана обширная программа работ, которая предусматривала организацию экспедиционных работ в Арктике и Антарктике, а также на научно-исследовательских судах института по контролю за газовым и аэрозольным загрязнением. Эти работы проводились в тесном сотрудничестве с институтом Физики Атмосферы АН СССР, Главной Геофизической обсерваторией, Центральной аэрологической обсерваторией, Институтом экспериментальной метеорологии, Институтом космических исследований АН СССР и др. Были развернуты работы в области динамической метеорологии (лагооборотные процессы, вертикальные движения, приземный слой и т. д.) мониторинга климата, прозрачности атмосферы, спутниковой и радиолокационной метеорологии. Большое внимание уделялось работам в области ветроэнергетики, осадкам, снежному покрову и т. д.

Сотрудники отдела метеорологии принимали активное участие в работах международных, всесоюзных и региональных конференциях и семинарах. В их числе проведение Советско-американских совещаний по программе «ПОЛЭКС» (СССР, 1976 и 1978 гг.), VII сессия комиссии ВМО по специальному примечанию метеорологии (Женева, 1978 г.), Специальная ассамблея «Про-

гресс антарктической метеорологии (Австралия, 1979 г.), Техническая конференция ВМО по климату для Азии и западной части Тихого океана (Китай, 1980 г.), Советско-американское совещание по атмосферному озону (СССР, 1987, 1989 гг.), Симпозиум по исследованию средней атмосферы (Япония, 1992 г.); всесоюзные совещания, симпозиумы, конференции: V Всесоюзный метеорологический съезд (Ленинград, 1972 г.), Физические основы изменения современного климата (Москва, 1982 г.), Климатология прикладная актинометрия (Томск, 1980 г.), Медико-географическое районирование и география здоровья популяций (Петрозаводск, 1981 г.), Прогноз развития науки и охрана природных ресурсов Арктики (Норильск, 1985 г.), Изучение природных условий низовьев и устьев рек арктической зоны для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства (Ленинград, 1985 г.). Взаимосвязь региональных и глобальных процессов в атмосфере и гидросфере (Тбилиси, 1968 г.), III Всесоюзная конференция по аэрологии (Москва, 1985 г.). Три года отдел руководил работами семинара Мониторинг природной среды полярных областей.

Возросший научный авторитет отдела способствовал привлечению его к работе большого числа международных и всесоюзных научно-общественных организаций. Росту научного авторитета способствовал сильно возросший объем публикаций. За период 1977—1989 гг. было опубликовано более 500 статей в различных в том числе академических, изданиях, климатические разделы атласов «Северный Ледовитый океан», «Арктика», сдан в печать раздел климат Нового Атласа Антарктики. Опубликованы монографии «Радиационный режим Антарктиды», «Влагооборот в атмосфере Арктики», ГОСТ 25650-83, «Мониторинг климата Арктики», «Современное состояние климата Арктики».

В 1989 г. Воскресенский А. И. оставил пост руководителя отдела. Новое руководство (А. П. Нагурный 1989—1991 гг. В. Ф. Радионов с 1991 г.) в значительной мере утратило творческую и организационную инициативу, пока еще не нашло место полярной метеорологии в новых экономических условиях.

Антропогенное воздействие на элементы природной среды и через них на параметры климата, отмеченное во второй половине нашего столетия, привлекло внимание многих ученых. Модельные оценки антропогенного воздействия на климат позволили получить количественные оценки повышения глобальной температуры воздуха. Это повышение особенно значимым оказалось для высоких широт, где сосредоточены мировые запасы покрывающего оледенения и морских льдов. Таяние этих объектов в своей очередь повысит уровень Мирового океана и затопит значительную часть прибрежной суши. Исчезновение вечной мерзлоты приведет к потере обширных площадей в Азии и формированию новых ландшафтов.

Дальнейшие работы в области теории климата и моделирования возможных его изменений в результате антропогенного воздействия на природную среду позволили получить меньшие ве

ины потепления и, более того, возникли сомнения не только относительно величин, но и знака изменений температуры воздуха. Эти вопросы достаточно полно проанализированы в обзорной работе А. П. Резникова. Научные дискуссии по этой проблеме начинают принимать более спокойный, а главное, конструктивный характер.

Первая работа в области прогноза климата Арктики была выполнена в связи с планами строительства атомного ледокольного флота. Этот неофициальный прогноз указывал на стабильность существующих климатических условий до 2000 г. Есть все основания надеяться на то, что прогноз оправдывается полностью.

Проблема изменения климата Арктики в условиях антропогенного влияния на все элементы климатической системы имеет глобальное значение, так как регион является «холодильником» тепловой машины «экватор — полюс», определяющей общую циркуляцию атмосферы. Климат Арктики, формируясь в системе глобального, оказывает существенное влияние на его динамику. Этот эффект обратной связи обусловлен отсутствием в регионе собственных энергетических ресурсов для поддержания существующих там современных климатических условий и их зависимостью от величины стока туда тепла, влаги и загрязняющих веществ в системе атмосферной циркуляции. Доминирующая роль атмосферной циркуляции в динамике климата Арктики проявляется климатически значимой повторяемостью теплоядерных зим, климатической оппозиции запада и востока региона, компенсации затрат тепла при радиационном выхолаживании в период полярной ночи, обеспечение 60 % осадков за счет водяного пара адвективного происхождения.

Атмосферная циркуляция является не только важнейшим фактором современного климата региона, но и потенциальным источником его дестабилизации за счет транспортировки туда загрязняющих веществ как радиационно, так и экологически активных. Структурные особенности атмосферы региона и сезонные различия интенсивности межрегионального воздухообмена приводят к формированию в холодное время года слоя атмосферы с высоким содержанием промышленного аэрозоля — «арктической ямки». Климатический эффект дополнительного нагрева этого слоя после восхода солнца (апрель) отсутствует ввиду слабого турбулентного обмена.

Согласно наземным наблюдениям основными антропогенными компонентами аэрозоля в Арктике являются сульфаты (до 10 мкг/м), органика (0,1 мкг/м) и сажевый углерод (0,3—1 мкг/м). Сульфаты и органика стимулируют закисление осадков, а сажевый углерод существенно влияет на радиационные токи.

Пути переноса загрязняющих веществ в регион рассмотрены в большом числе публикаций, однако представленные материалы в работе К. И. Чуканина являются более предпочтительными, так как в основе их положена типизация процессов по Г. Я. Ванген-

гейму и А. А. Гирсу, содержащая прогностические аспекты. Согласно этой схеме, построенной для холодного периода, в атлантическом секторе средние меридиональные траектории достигают акватории Норвежского моря, архипелага Шпицберген, Баренцева и Карского морей. В тихоокеанском секторе они достигают восточной половины Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Таким образом, эти районы должны быть наиболее загрязненными.

Однако наземные наблюдения указывают, что минимальные величины загрязнения снежного покрова отмечаются на островах Земли Франца-Иосифа, Визе, Голомянном, мысе Желания, на севере Якутии и на Чукотке. В этом перечне пунктов имеются и те, что расположены в зоне активного межширотного обмена. Это не соответствие имеет достаточно хорошее физическое объяснение. Поскольку перенос загрязняющих веществ осуществляется в основном от промышленных объектов, расположенных на значительном удалении от региона, транспортировка их (более мелких по размеру) осуществляется выше слоя инверсий нижней тропосферы. Это подтверждается и наличием слоя максимального загрязнения — арктической дымки на высотах более 3 км. Таким образом, вымывание загрязняющих веществ осадками ограничивается более низкими высотами. Следовательно, северная полярная область в большей степени является транзитной территорией, чем областью конвергенции загрязняющих веществ. Регион теряет свое прежнее значение — глобального резервуара чистого атмосферного воздуха.

Следует отметить еще один важный вопрос, связанный с закислением пресноводных объектов в регионе. Анализ многочисленных данных показывает, что существенное закисление этих объектов отмечается в районах с большой повторяемостью осадков и небольшой повторяемостью инверсий температуры в нижней тропосфере. Для районов, где повторяемость инверсий значительна, что характерно для территории Российской Арктики, эффект закисления водоемов не является в настоящее время проблемой. В этой связи отметим ошибочность утверждения А. А. Тимерева с соавторами о связи мощности и интенсивности инверсий с уровнем загрязнения. Такая связь существует только для местных источников загрязнения, что подтверждается данными ряда работ, в которых указывается, что вблизи пунктов наблюдений величина сульфатов в 2—3 раза превышает отмечаемую пределами пункта. Подтверждением этому может служить информация о суммарной концентрации углеводов в снежно-ледном керне на «Куполе Вавилона» (архипелаг Северная Земля) за период 1910—1980 гг. Анализ снежно-ледяных кернов этого региона показал возрастание в 8 раз содержания углеводов за период 1930—1980 гг. по сравнению с 1910—1920 гг. Такой рост может быть связан с организацией здесь постоянной полярной станции и переходом от ветровой энергии на энергию органического топлива.

Данные этих работ показывают, что в арктическом регионе местные источники загрязнения — коммунальные службы — существенно ухудшают качество природной среды. Альтернативой этому может служить возврат на новой технической базе к использованию экологически чистого источника энергии — ветра. Выполненные в отделе метеорологии работы в этой области показывают не только потенциальную возможность обеспечения такой энергией малонаселенные полярные метеорологические станции, но и производство водородного топлива для вывоза.

При рассмотрении вопросов транспортировки в северную полярную область загрязняющих веществ необходимо отметить еще одну особенность региона в целом, которая заключается в наличии арктического фронта на его южных границах. В зоне этого фронта создаются благоприятные условия для вымывания загрязняющих веществ из воздуха умеренных широт. Здесь нет необходимости приводить материалы, характеризующие параметры этого фронта и его временную миграцию. Отметим главное — отсутствие количественных оценок его роли в загрязнении атмосферы региона существенно ограничивает наше понимание проблемы.

Приведенные выше данные указывают на необходимость организации исследований в области аэросиноптических условий переноса загрязняющих веществ, самоочищения атмосферы, балансовых оценок, транзита и снижения уровней загрязнения в населенных пунктах за счет внедрения экологически чистых источников энергии, климатически значимых оценок загрязнения атмосферы.

Необходимость разработки и выполнения целенаправленных исследований климата становится очевидной еще и потому, что печати все чаще появляются публикации по климату, в которых вторы их нечетко представляют основы полярной климатологии части пространственного положения Арктики, сезонов года и других основ климатологии. Комплексная программа исследований климата каждой полярной области должна дать генеральную направленность работ на основе научно обоснованной методики диагноза и прогноза климата в координации с зарубежными учеными.

Радиационные исследования. Солнечная радиация в общем энергетическом балансе полярных областей занимает следующее место. Низкое положение Солнца в теплый сезон года в значительной степени компенсируется высокой прозрачностью атмосферы и малым содержанием водяного пара, а наличие полярного дня приводит к тому, что потоки солнечной радиации в летний сезон года являются доминирующими в формировании термического режима обширных районов обеих полярных областей. Главным регулятором потоков солнечной радиации является облачность, ее пространственные и микрофизические параметры, которые количественно по-разному влияют на потоки радиации.

Поскольку принятые в климатологии параметры облачности недостаточны для оценок энергетических ресурсов солнечной радиации, а число актинометрических станций в обеих полярных областях мало, целесообразно прежде всего воспользоваться редко используемым параметром — продолжительностью солнечного сияния.

Н. Н. Брызгин и Л. С. Петров достаточно полно в климатическом плане проанализировали записи продолжительности солнечной радиации более чем на 100 станциях в Арктике и на 40 станциях в Антарктике. В Арктике годовое распределение продолжительности солнечного сияния составляет около 1200 ч (20—25 % от возможной). Максимальное количество часов отмечается на о-ве Гренландия (2400 ч), над Канадским Арктическим архипелагом и побережьем Восточно-Сибирского моря (около 1600 ч). Область минимальных величин расположена над акваторией Баренцева моря (800 ч). В целом, характер распределения имеет черты меридиональности.

В Антарктиде характер распределения линий равной продолжительности солнечного сияния имеет хорошо выраженный зональный характер, повторяющий конфигурацию континента. Область максимальных величин (3500 ч — более 90 %) расположена над высокогорной частью материка. По направлению к побережью продолжительность солнечного сияния уменьшается и составляет 1500 ч (30—40 % возможного). Над акваторией Южного океана расположены области минимальных величин, составляющие всего 10 % от возможного.

Изучению радиационного климата Арктики отдел уделял всегда особое внимание. Актинометрические наблюдения в первые годы организации отдела велись в экспедициях на судах. В 1941 при полете в район полюса относительной недоступности эти наблюдения проводились Н. Т. Черниговским. В последующие годы в изданиях института было опубликовано много работ по этой тематике.

Материалы наблюдений на сети советских актинометрических станций были обобщены Н. Т. Черниговским и М. С. Маршуновой, по зарубежной Арктике — М. С. Маршуновой и Н. Т. Черниговским и по Антарктиде — М. С. Маршуновой. После выхода этих монографий было опубликовано значительное число работ, посвященных различным аспектам этой проблемы.

Основные результаты этих исследований сводятся к следующему. Радиационные притоки тепла в полярных областях имеют большой сезонный ход, причем из-за астрономических факторов южная полярная область получает их на 7 % больше, чем северная. Высокая прозрачность атмосферы способствует увеличению прямой солнечной радиации на 2 %, а особенность пространственной и микрофизической структуры облаков и наличие снежного покрова приводят к возрастанию потоков рассеянной радиации в 1,5 раза. Эти особенности отражаются в величинах суммарной радиации, которая в среднем в год составляет в Арктике

0—35·10² МДж/м², а в Антарктиде 50·10² МДж/м², т. е. достигает величин, сравнимых со значениями, характерными для умеренных и даже тропических широт. Радиационный баланс в Арктическом бассейне и на ледниках Арктики и Антарктиды отрицательный. Над паковыми льдами Арктического бассейна он составляет от 0 до —120 МДж/м², а над Гренландией до —400 МДж/м² год.

В Антарктиде изолиния нулевого значения радиационного баланса совпадает с летним положением кромки морских льдов, на материке его значение составляет от —200 до —400 МДж/м² год. На побережье Северного Ледовитого океана, на поверхности морей с сезонными изменениями ледовитости, открытой водной поверхности и в оазисах Антарктиды радиационный баланс положителен от 400 до 1200 МДж/м². Таким образом, в полярных районах отмечены максимальные для земного шара контрасты радиационного баланса.

Кроме выявленных климатически значимых характеристик радиационного режима, в указанных работах исследованы условия формирования аномалий суммарной рассеянной радиации и радиационного баланса, оценена роль термической стратификации баланса длинноволновой радиации.

Температура воздуха. Она является наиболее информативным показателем климата, в полярных областях формируется большим числом факторов, каждый из которых может стать определяющим конкретный временной интервал. Сложное взаимодействие этих факторов определяет исключительное своеобразие, пространственную неоднородность и изменчивость полей температуры в Арктике. Циркумполярное положение и связанный с этим режим притока солнечной радиации, разнообразие подстилающей поверхности, резко отличающейся своими теплофизическими и отражательными свойствами, сезонные изменения положения центров действия атмосферы, отепляющее воздействие океанических вод наконец, орографические эффекты и энергия фазовых превращений воды на поверхности и в атмосфере формируют реальное поле температуры.

Естественно, что эта совокупность факторов стала достоянием временных исследований, но первые успехи полярных метеорологов, изучавших термический режим, состоял в подготовке климатических карт для Большого советского атласа мира 1935 г. Хотя набор параметров, представленных в этом атласе, включал только изотермы и розы ветров за январь и июль. Служащей успешной работой полярных климатологов является составление ими «потепления» Арктики.

В послевоенные годы, несмотря на продолжавшиеся интенсивные исследования, публикации были весьма ограничены и только в 1960 г. З. М. Прик опубликовала работу, посвященную основным результатам в области метеорологических исследований Арктики. Опубликованные З. М. Прик материалы в этой статье, также изданный ею Атлас, в последующие годы многими исследова-

дователями дополнялись и уточнялись, но принципиально не менялись.

В целом, можно отметить, что поле температур воздуха в Антарктике более спокойное и простое, в то время как в Арктике четко проявляется многофакторность его формирования. Второе отличие состоит в том, что значения температур летнего периода Антарктики близки зимним значениям Арктики.

Тенденция понижения температуры воздуха в Арктике характеризуется числом дней безморозного периода. На станции Диксон, мысе Челюскин и мысе Шмидта продолжительность безморозного периода сокращается за счет более раннего формирования отрицательных температур осенью. Для станций Антарктиды знак и величина трендов не постоянны в пространстве.

Вертикальное распределение температуры воздуха в обеих полярных областях имеют сходство, связанное с наличием инверсий. Хотя природа формирования их различна, сам факт их климатической значимости очень важен не только для климата, но и для процесса самоочищения атмосферы. Особенно значительны инверсии мощностью до 1,5 км отмечаются в центральных районах Арктики и Антарктиды.

В тропосфере Арктики наличие очага холода является основной особенностью годового хода температуры. В холодную половину года конфигурация изотерм характеризуется двумя очагами. В январе один из них располагается над Канадским Арктическим архипелагом, а второй — над п-овом Таймыр (-41°C). В теплый сезон одноцентровый очаг холода расположен между о-вом Элмюр и Северным полюсом. В стратосфере (100 гПа) одноочаговая область холода (-66°C) расположена между о-вом Гренландия и архипелагом Новая Земля в зимнее время года, а летом — в районе Северного полюса (-41°C).

Пространственное положение изотермических поверхностей в Антарктиде характеризуется их наклоном, замыкающихся в ледниковом щите материка. Это принципиальное отличие в пространственном положении изотерм в тропосфере Антарктиды по сравнению с положением изотермических поверхностей над Арктикой. В тропосфере различия между средней температурой января и июля составляют в слое 500—700 гПа около 12°C , а в стратосфере достигают $40\text{--}45^{\circ}\text{C}$ на уровне 10—20 гПа. Изменения термических полей в первой половине осеннего периода наиболее выражены в стратосфере (35°C), в тропосфере (4°C) и в приземном слое (20°C). В середине зимы над Антарктидой на высоте 20—25 км расположена область холода с температурой около -90°C , летом стратосферная область тепла занимает высоту от 30 до 35 км, а область низких температур — на уровне тропопаузы. Указанная характеристика термических полей относится к среднему состоянию, которое весьма часто анализировалось в работах К. И. Чуканина, А. И. Воскресенского и др.

В работах С. М. Дониной по обеим полярным областям количественно оценены величины межсуточных и внутрисуточных и

менений температуры и показана их связь с широтой места. Вывод этих работ весьма важен, так как в ряде публикаций встречаются случаи, когда одноразовые в сутки наблюдения, выполненные в синоптический срок, анализируются как выполненные в единое солнечное время.

Весьма ценными являются результаты работ А. И. Воскресенского, посвященные роли атмосферной циркуляции в формировании аномалий температуры воздуха климатического масштаба, которых показано, что только в условиях установившейся одной формы атмосферной циркуляции соответствует высокая степень связи с температурой воздуха. В связи с проблемой атмосферного зона весьма актуальными являются исследования условий весенних преобразований термических полей в нижней стратосфере.

Циркуляция атмосферы — основной климатообразующий фактор. Атмосферная циркуляция является доминирующим фактором формирования климата различного временного масштаба. Такая роль циркуляции связана с тем, что регион не располагает собственными энергетическими ресурсами для поддержания существующего там климата. Солнечная радиация, адвективное тепло океана и тепловый сток рек в сумме составляют меньшую часть тепла, поступающего в регион.

Согласно имеющимся расчетам различных авторов, адвекция тепла океанических вод в Северном Ледовитом океане составляет всего 7 % от атмосферной адвекции, а выхолаживание зимой превышает приток тепла от океана в 20—25 раз.

До организации дрейфующих станций в Арктическом бассейне среди ученых было распространено мнение, что над центральной частью Арктического бассейна расположен антициклон. Арктический антициклон долгое время представлялся господствующим барическим образованием, охватывающим центральные районы Арктики. Исследованиями барических систем в Арктике на базе временной метеорологической сети весьма успешно занимались М. Прик, К. И. Чуканин, А. И. Рагозин, Л. А. Гаврилова, И. Князева и др.

Уже первые климатические карты, подготовленные З. М. Прик, позволили установить, что Арктический антициклон представляет собой перемышку высокого давления, соединяющую Сибирский и анадский антициклоны (в ноябре-декабре), или как небольшой с площади антициклон, расположенный над Арктическим бассейном, а над Канадским арктическим архипелагом — с января по март. Таким образом, в большей части Арктического бассейна зимой наблюдается интенсивная циклоническая деятельность.

Исследованием циркуляции атмосферы в южной полярной области занимались А. И. Воскресенский, Э. П. Лысаков, Г. П. Мищенко, К. И. Чуканин. Их работы относятся к периоду, когда спутниковая информация уже достаточно хорошо освещала акваторию морей Южного океана. Основными элементами, которые формируют атмосферную циркуляцию в этом регионе, следует считать кольцевую циклоническую зону, циркуляционный вихрь и

систему приземной антициклонической циркуляции, включая сток

Разница в объемах массы атмосферы Антарктиды и Арктики приводит к тому, что холодные воздушные массы Антарктиды не распространяются далеко на север, в то время как воздушные массы Арктики проникают до субтропических широт северного полушария. Регулярный прием спутниковой информации позволил Э. П. Лысакову и Г. П. Милашенко установить, что зональные траектории циклонов над Южным океаном располагаются в довольно обширной зоне.

Циркуляция атмосферы в обеих полярных областях существенно различна. Единственным сходством их является годовой ход: усиление зимой и ослабление летом циклонических вихрей, в системе которых транспортируется тепло и влага. Зарождающиеся за пределами полярных областей циклоны проходят длительный путь, во время которого воздушные массы наряду с трансформацией, «обогащающейся» промышленными выбросами (в северной полярной области) или «разгружаются» от промышленных выбросов (в южной полярной области).

Стратосферный перенос промышленных выбросов в Антарктиду, как это следует из работы А. И. Воскресенского и Э. П. Лысакова, посвященной исследованию атмосферы южного полушария с помощью уравновешенных шаров-зондов, реален. Этот же перенос стал основной причиной формирования и «озоновой дыры».

Атмосферные осадки и снежный покров. Одной из характерных особенностей климата северной полярной области является частое выпадение осадков и длительные сроки снегозалегания. Однако количественные показатели этих характеристик получить долгое время не удавалось вследствие низкой точности измерений осадков. Это является проблемой не только для российских метеорологических станций в Арктике, но и для метеорологов всех стран, что подтверждает и ВМО. Особенно плохо измеряются зимние осадки: выпадение которых сопровождалось сильными ветрами. В 1952 г. в Советской Арктике была начата замена приборов на новый осадкомер. Новый прибор, как показала практика наблюдений, также обладает рядом погрешностей измерений, которые устраняются введением соответствующих поправок.

Характерной особенностью осадков в Арктике является и слабая интенсивность и большая продолжительность. По данным Н. Н. Брызгина, в среднем за год на большинстве станций Российской Арктики каждый второй день характеризуется осадками, а на станциях Амдерма и Диксон число дней с осадками — 208. Суммарная годовая продолжительность осадков в среднем за год достигает 34 % (2870 ч) на о-ве Диксон, а в мае она превышает 45 %.

Интенсивность осадков зависит от сезона года (жидкие осадки всегда большей интенсивности и составляют от 0,06 до 0,15 мм/ч в январе и апреле, 0,22—0,34 мм/ч в июле и от 0,6 до 0,25 мм/ч в октябре).

В многолетнем ходе количества осадков в основном отмечается их понижение, особенно четко выраженное в последние 10—15 лет. В западном районе Арктики отрицательное значение тренда характеризует весь период с 1936 по 1980 г. Здесь среднее количество осадков уменьшилось на 75 мм, что составляет 25 % от среднемноголетнего значения. Выполненные авторами расчеты показывают, что число дней со снежным покровом в Российской Арктике составляет от 233 до 300 дней в году, т. е. от 62 до 84 % годового времени. Колебания продолжительности залегания снежного покрова значительны и достигают в различные годы до 25—30 дней. Ход числа дней со снежным покровом обнаруживает длительный с 1935 по 1980 г. тренд повышения во всех трех районах Арктики. Таким образом, летний период в Российской Арктике неуклонно сокращался.

Отмеченные выше для региона Арктики особенности формирования поля осадков характерны и для Антарктиды. Облакообразовательные процессы в регионе развиты слабо, особенно во внутренних районах, где значительную роль в общей сумме осадков играют сублимационные осадки (40—60 %). Такая большая доля этих осадков связана с перенасыщением воздуха влагой (до 115—20 %) над льдом и низкой поверхностной влажностью снежного покрова в течение всего года. Вторым источником служат ледяные иглы, выпадение которых на станции Восток отмечается более, чем 250 дней в году. Годовое количество осадков в Антарктиде характеризуется большой межгодовой изменчивостью. Так, например, на станциях Антарктического полуострова годовые суммы осадков достигают от 200 до 500 мм, на станции Восток — от 5 до 40 мм.

Осадки в Антарктиде выпадают реже, чем в Арктике. Если на всех ледниках Арктики (за исключением центральной части Гренландии) осадков выпадает больше, то в Антарктиде, наоборот, чем выше ледниковый покров, тем меньше выпадает осадков. Даже по сравнению с куполом Гренландия в Центральной Антарктиде осадков выпадает в 4—5 раз меньше. Последнее обстоятельство находит свое подтверждение и в значениях влагосодержания этих регионов. Интенсивность выпадения осадков в центральной части Антарктиды составила 0,006 мм/ч, на побережье — от 0,1 до 0,2 и на Антарктическом полуострове — 0,3 мм/ч.

Продолжительность осадков в регионе отмечается от 150 до 80 ч в месяц, что составляет 25 % месячного времени. Однако местные условия могут вносить существенные изменения. Так, на станции Новолазаревской продолжительность осадков всего 40—0 ч в месяц.

Характерной особенностью залегания снежного покрова в Антарктиде является вынос его за береговую черту в океан. Экспедиционные исследования, проведенные в районе обсерватории Мирный, позволили Н. Н. Брызгину и А. И. Воскресенскому оценить интенсивность снегопереноса на различных высотах (до 5 м) по градиентам скорости ветра (до 25 м/с) при метелях и позем-

ках. Используя эти зависимости и располагая данными наблюдений о продолжительности общих и низовых метелей, а также по земок, была оценена величина сноса снега в океан со всего периметра Антарктиды, равная $12,5 \text{ км}^3$ водного эквивалента, что составляет около 0,5 % годовых сумм осадков всего континента. Анализ распределения количества переносимого снега показывает, что наибольший снегоперенос наблюдается в районе станции Русской, где он составляет около 1 млн т снега в год. В районе обсерватории Мирный были проведены оценки прироста значений толщины снега на расстоянии 8—9 км от берега (в сторону океана) по отношению к среднему значению толщины снежного покрова на морском льду. Оказалось, что эти значения весьма близки и составляют около 1,4 млн т снега.

Региональный мониторинг климата и проблемы качества атмосферного воздуха. Мониторинг климата в полярных областях является важнейшей составной частью глобального мониторинга климата и вместе с тем по чисто экономическим соображениям глобальный мониторинг должен опираться на региональный. Высшим приоритетом регионального мониторинга являются экономические и социальные аспекты, поскольку он решает задачи оперативного обслуживания хозяйственных организаций и научных учреждений, социальной сферы и является информационной основой прогнозов короткопериодных колебаний климата. Климатическая информация мониторинга содержит крайне важные параметры экологического мониторинга.

Проблемы климатического мониторинга в Антарктиде впервые были рассмотрены в работе А. И. Воскресенского в 1983 г., где были сформулированы основные положения мониторинга для этой климатической области. Основные идеи мониторинга климата Арктики также были сформулированы А. И. Воскресенским в 1988 г. при издании тематического сборника «Мониторинг климата Арктики». Основная идея этих работ заключается в том, что в основу регионального мониторинга климата должны быть заложены те параметры, которые наиболее ярко представляют климат региона.

Так, дополнительно к параметрам, принятым для характеристики глобального климата, в Арктике необходим контроль в отношении облачности, особенно летней, продолжительности снеготаяния, дат перехода температуры воздуха через 0°C , влагосодержания атмосферы, инверсионной стратификации атмосферы потоков суммарной и прямой радиации. Все эти параметры обладают большой специфической информацией. Например, контроль за переходом температуры воздуха через 0°C не только позволяет оценить динамику безморозного периода, но и определить, за счет весны или осени она изменяется. Кстати, в настоящее время сокращение дней с положительной температурой воздуха происходит за счет более ранней осени, а это уже не только климатический, но и экологический показатель. Безусловно, проводимые на полярных станциях метеорологические наблюдения необходимы

дополнить фенологическими. Этот вид наблюдений всегда проводили метеорологи в начальный период организации полярных станций. Возобновление его актуально.

Естественно также, если мониторинг климата связывать с экологией, обеспечением оперативной климатической информацией, то должны возникнуть вопросы включения в мониторинг и других показателей. Например, в зонах интенсивного оленеводства важен контроль за высотой снежного покрова и гололедно-изморозевых явлений. В районах, где имеются промышленные предприятия, связанные с выбросом в атмосферу отходов, важными показателями будут наличие инверсий и скорости ветра, так как эти параметры влияют на вентиляцию воздуха и его очищение. Следовательно, необходима четкая связь между потребителями климатической информации и метеорологами, при этом потребителям необходимо повышать климатическую грамотность, а метеорологам знать специфику промышленного и коммунального производства.

Климатические параметры регионального мониторинга не решают проблемы, связанной с антропогенным влиянием на окружающую среду, поэтому в мониторинге необходим контроль за атмосферным аэрозолем и малыми газовыми примесями. Первые наблюдения за атмосферным аэрозолем были проведены А. И. Воскресенским в 1962 г. с борта самолета в Арктике и в 1965 г. в приземном слое в обсерватории Мирный в Антарктиде. Полученные им данные свидетельствуют о незначительных концентрациях атмосферного аэрозоля в приземном слое и нижней тропосфере. Косвенно это подтверждено и наблюдениями при взятии проб аэрозоля в приземном слое специальным фильтром для его последующего анализа на элементный состав. Время прокачки воздуха при взятии проб для анализа в Арктике было увеличено в несколько раз по сравнению с другими районами России, так как при нормальной экспозиции количество осевшего аэрозоля недостаточно для выполнения анализа. Интегральная оценка замутненности атмосферы аэрозолем рассчитывается по наблюдениям за прямой радиацией на сети станций в Российской Арктике и на станциях Российской антарктической экспедиции эти расчеты проводились М. С. Маршуновой, В. Ф. Радионовым и др.

Как известно, обе полярные области не имеют местных источников загрязнения атмосферы промышленным аэрозолем. Поступающий туда аэрозоль транспортируется атмосферной циркуляцией, которая, как было показано выше, существенно различна. Это обстоятельство, а также близость к северной полярной области источников промышленных выбросов в атмосферу способствует тому, что уровень ее загрязнения в 7—10 раз выше, чем южной полярной области. Годовой ход уровня загрязнения северной полярной области характеризуется максимумом зимой и минимумом летом, в южной — годовой ход противоположен. Коэффициент прозрачности атмосферы (P_2) в северной полярной об-

ласти в марте — мае составил 0,76, в июле — августе 0,79; в южной полярной области P_2 весной составляет 0,84 и 0,82 — летом.

Вулканические извержения существенно (до 30 %) снижают энергетический потенциал прямой радиации, но благодаря возращению рассеянной — суммарная сохраняет свой показатель. Отмеченные выше особенности циркуляции атмосферы и характер вертикальных движений способствуют очищению атмосферы южной полярной области значительно быстрее, чем очищению атмосферы северной полярной области.

Специальные наблюдения за прозрачностью атмосферы полярных областей проводили Г. Г. Сакунов, В. Ф. Радионов и др. Эти измерения проводились на 13 участках спектра от 350 до 3650 нм. Многочисленные наблюдения, проведенные в Антарктиде (обсерватория Мирный, АМЦ Молодежная, станция Восток) в 1983—1986 гг., а также на дрейфующей станции «Северный полюс-22» (1973—1983 гг.), на Северной Земле (1979—1986 гг.) о-ве Врангеля (1986 г.) и дрейфующей станции «Северный полюс-28» (1987 г.) позволили выявить многие особенности в спектральных характеристиках атмосферного аэрозоля. Анализ этих материалов наблюдений выполнен в монографии, посвященной этой проблеме.

Другим направлением контроля за загрязнением атмосферы полярных областей являются измерения малых газовых составляющих. Около 90 % теплового излучения земной поверхности поглощается водяным паром, углекислым газом и облаками тропосферы. Контроль углекислого газа (CO_2) решается в рамках глобального мониторинга (станции Южный Полюс и Барроу). Оставшиеся 10 % теплового излучения поглощаются метаном (CH_4), тропосферным озоном (O_3) и другими газами.

В содружестве с Институтом физики атмосферы АН СССР в 1977 г. в Антарктиде были начаты измерения метана (CH_4), окиси углерода (CO_2) и закиси азота (N_2O). Аппаратура и методики наблюдений за этими газовыми примесями были разработаны в указанном институте. Публикации по этой проблеме практически всегда осуществлялись совместно сотрудниками отдела метеорологии ААНИИ и Института физики атмосферы АН СССР.

Исследования макро- и микроструктур облаков и туманов. Облака и туманы относятся к числу метеорологических параметров, которые однозначно характеризуют термодинамическое состояние атмосферы, т. е. относятся к числу ярко выраженных диагностических признаков, широко используемых в прогнозе погоды. В то же время, являясь элементами климата, они выполняют функции самого мощного, но изменчивого регулятора лучистого теплообмена. С наличием определенных форм облачности связано образование осадков, влагооборотные процессы, условия видимости и т. д.

Согласно модельным расчетам, увеличение облачности нижнего и среднего ярусов вызывает эффект понижения температуры приземного слоя воздуха, а верхнего — повышение. Влияние облачности нижнего яруса на формирование приземного термиче

ского режима настолько велико, что увеличение его на 10 % (1 балл) может привести к компенсации эффекта возможного потепления, обусловленного увеличением в атмосфере концентрации CO₂. Аналогичный эффект можно ожидать и при увеличении альбедо средней повторяемости облаков нижнего яруса всего на 5 %. Роль облачности, особенно осадкообразующей, в настоящее время существенно возросла в связи с проблемой «кислотных дождей», самоочищением атмосферы и химических превращений промышленного аэрозоля. Исследованию облачного покрова и туманов Арктики уделяли внимание Н. Н. Шпаковский, М. П. Козлов, Т. В. Покровская, В. Ю. Визе, Е. А. Леонтьева, В. М. Прик, И. Н. Завьялова, А. И. Воскресенский, Л. С. Петров, Н. Н. Брызгин и др.

В период становления отдела и отсутствия сетевых наблюдений экспедиционные наблюдения на судах позволили получить информацию об облаках и туманах только вдоль трассы Северного морского пути. Первое обобщение сетевых и экспедиционных наблюдений за облачностью опубликовал В. Ю. Визе в 1940 г. в книге «Климат морей Советской Арктики». Им было отмечено несколько большая повторяемость облаков нижнего яруса по сравнению с данными, полученными во время дрейфа судов «Фрам» (1893—1895 гг.) и «Мод» (1922—1924 гг.). Эти различия В. Ю. Визе объяснял усилением атмосферной циркуляции в 40-е годы. В последующие годы климатическая информация об облаках и туманах публиковалась в лоциях, а также в трудах по региональной климатологии Арктики. Достаточно полные сведения об облаках и туманах на территории Советской Арктики опубликовала Е. А. Леонтьева.

После Великой Отечественной войны сеть полярных станций Арктике была не только восстановлена, но и существенно расширена. В 1951/52 г. в центральной части Арктического бассейна работала дрейфующая станция «Северный полюс-2», материалы наблюдений которой существенно дополнили ранее полученные на рейфующей станции «Северный полюс-1» (1937—1938 гг.). Дополнительно к сетевым наблюдениям отдел метеорологии с 1948 г. вряду с выполнением разведки погоды приступил к комплексным исследованиям облачности, включающим не только макро-, но и микроструктуру. Исследования облаков Антарктики были начаты на всех антарктических станциях по мере их открытия. С 1980 г. с 1990 г. в АМЦ Молодежная работала метеорологическая радиолокационная станция, с помощью которой был собран уникальный материал по пространственной протяженности облаков различных форм. Исследованию облаков Антарктики уделяли внимание И. Н. Завьялова, Э. П. Лысаков, Г. П. Милашенко, А. И. Воскресенский, А. С. Александров и др.

Пространственная структура облаков Арктики привлекала внимание многих исследователей своей явной противоположностью районам умеренных широт. В зимний сезон года общая и нижняя облачность от 40—50 % над побережьем и экваторией Баренцева

моря и 20—30 % над побережьем Чукотского моря уменьшается по направлению к полюсному району до 10 %. В летнее время года от 90 % в полюсном регионе она уменьшается до 40—50 % на побережье. При этом повторяемость нижней облачности составляет 70—80 % от общей. Основными формами облаков этого яруса являются St и Sc, образующиеся в результате взаимодействия относительно теплого и влажного воздуха и холодной подстилающей поверхности, т. е. в результате трансформации воздушной массы. При этом наличие температурной инверсии ограничивает вертикальную мощность образующихся облачных слоев. Не менее важной особенностью этих форм облаков в летнее и осеннее время года является преобладание их сплошности 9—10 баллов суммарная повторяемость которой составляет 70—90 %.

Средние и максимальные высоты облаков нижнего яруса, полученные по данным инструментальных наблюдений на станции Амдерма, ранее не публиковавшиеся, представлены в табл. 1

Таблица

Средняя изменчивость высот нижней границы облаков в различные интервалы времени, м

Форма облаков	Интервал времени, мин											
	5			10			30			60		
	средн.	макс.	число случаев	средн.	макс.	число случаев	средн.	макс.	число случаев	средн.	макс.	число случаев
Sc	68	240	89	86	250	123	93	340	184	108	630	386
St	41	70	97	38	130	105	42	220	175	44	450	410
Cb	30	70	74	75	100	87	71	200	103	130	500	123
Ns	40	60	86	47	60	93	72	300	114	84	360	184
Fb	10	20	68	18	50	74	37	100	89	47	110	128

Всего к анализу привлечено более 2000 наблюдений, произведенных с интервалами 5, 10, 30 и 60 мин.

В 1991—1992 гг. отдел провел подспутниковый облачный эксперимент, во время которого форма и балльность облачности определялись синхронно с прохождением ИСЗ над пунктами наблюдений станций Амдерма и Тикси. Особо следует отметить значительную повторяемость по данным ИСЗ облаков Cb, в то время как наземными наблюдениями они не отмечались. Такие случаи были и при полетах самолета ЛМО, что свидетельствует об определенной независимости в развитии конвекции выше слоистой инверсии, ниже которой расположены слоистообразные облака. Второй вывод, вытекающий из результатов этого эксперимента, заключается в необходимости совместного анализа спутниковой и наземной информации для реальной оценки облачных полей в регионе.

В южной полярной области расположение общей облачности характеризуется четко выраженной зональностью с большим

градиентами вблизи побережья. Максимальная облачность (9 баллов и более) отмечается на 55—65° ю. ш., т. е. там, где проходят основные пути циклонов. Минимальная облачность (1—3 балла) наблюдается над центральной частью Антарктического плато. Антарктический полуостров является орографическим препятствием, в результате чего на его западном побережье облачность на 1—2 балла больше, чем на восточном. Годовой ход облачности в отличие от Арктики выражен слабо. Пространственное положение облаков различных форм Антарктиды отличается от такового в Арктике. По данным наблюдений метеорологической радиолокационной станции, работавшей в районе АМЦ Молодежная в 1980 по 1990 г., были получены следующие статистические параметры облаков различных ярусов (табл. 2).

Таблица 2

Средние характеристики облаков в АМЦ Молодежная по данным МРЛ

Параметры облачности, км	Нижний ярус		Средний ярус		Верхний ярус	
	$H_{вг}$	$H_{нг}$	$H_{вг}$	$H_{нг}$	$H_{вг}$	$H_{нг}$
$H_{ср}$	1,7	0,4	4,3	3,0	7,0	5,8
$H_{макс}$	2,8	1,0	5,8	5,0	8,0	7,8
$H_{мин}$	0,5	0,0	2,7	1,6	5,7	4,9
$H_{мод}$	1,8	0,0	5,0	3,0	6,7	5,1

Учитывая, что по этому региону самолетных исследований облаков не проводилось, данные табл. 2 являются первыми, характеризующими высоты верхних границ облаков всех трех ярусов. Кроме того, эти наблюдения позволили установить одновременно многоярусность облаков при прохождении фронтов вблизи побережья Антарктиды и наличие достаточно мощных Сб, закрытых от наземного наблюдателя облаками нижнего яруса.

Микроструктура облаков Арктики исследовалась с самолета ЛМО в период 1954—1964 гг. Эти исследования включали измерения размера облачных капель, влажности, числа ядер конденсации, агрегатное состояние, видимость и пульсации температуры на верхней границе облаков. Этот комплекс наблюдений осуществлялся в слое от 8—10 м до 5000 м попутно с выполнением разведки погоды и при проведении двух целевых экспедиций по изучению облачности в 1956 и 1957 гг. До работ ЛМО измерения ядер конденсации были проведены в 1931 г. А. П. Молчановым во время его полета на дирижабле «Граф Цеппелин». Им было получено значение около 200 на 1 см³ воздуха на уровне полета. Во время программы Второго МПГ Шольцем на Земле Франца-Иосифа было проведено 103 серии измерений, которые дали среднюю конденсацию ядер Айткена, равную 795 см³, при максимальном значении — 152 000 см³. Измерения, проведенные с самолета,

значительно расширили ареал измерений не только в пространстве (от районов тундры до паковых льдов), но и по высотам (от поверхности до 3000 м). Над сушей максимальное количество ядер было отмечено на станции Тикси во время выноса в этот район продуктов горения тайги и составило 20 000 см³.

Минимальное количество ядер в приземном слое над тундрой составило 580 см³. С увеличением высоты число ядер резко уменьшалось и на высоте 10—15 м составляло всего 40 % приземного значения. На высоте 100 м над поверхностью число ядер конденсации было менее 25 % приземного значения. В приземном слое над тундрой, среднее количество ядер было оценено в 644 см³ а над открытой частью водной поверхности — 331 см³. Вертикальное распределение ядер конденсации над тундрой в слое от 25 до 85 м характеризуется уменьшением их в 2 раза, в то время как над морем это уменьшение составило всего 25 %.

Анализ гистограмм, характеризующих распределение капель по размерам в различных частях тумана показал, что спектр капель в нижней и средней частях туманов отличаются в значениях максимума, повторяемость капель в верхних частях тумана несколько сдвинута в сторону больших размеров капель. Максимум повторяемости капель (27 %) отмечается в интервале 5,0—7,5 мкм. Во всех частях туманов капли размером от 2,6 до 12,5 мкм встречаются в 90 % случаев.

Водность туманов, т. е. содержание капельно-жидкой фракции в 84 % случаев не превышает 0,2 г/м³, а максимальная величина составляет 0,6 г/м. В среднем для туманов в интервале температур 5 до —10 °C водность туманов составляет 0,2 г/м³, что на 20 % больше, чем в St и соответствует среднему значению для Sc. Отметим, что туманы над льдом характеризуются водностью на 40—50 % меньше, чем в туманах над тундрой. Дать обобщенную схему распределения водности в туманах весьма затруднительно поскольку каждому типу туманов на различных стадиях эволюции соответствует свое распределение.

Для St и Sc характерны преимущественно мелкокапельные спектры. Основная масса капель укладывается в интервале радиусов до 20—25 мкм. Значения модальных радиусов в слоистых облаках составляет от 1,7 до 14 мкм с максимумом повторяемости (48 %) в интервале 4—6 мкм. Слоисто-кучевые облака характеризуются большим диапазоном величин модальных радиусов (2,0—16,7 мкм) с максимумом (39 %) в интервале 5—7 мкм.

Водность слоистых и слоисто-кучевых облаков примерно на 40 % меньше средней водности аналогичных форм облаков умеренных широт и составляет 0,10 для St и 0,12 г/м³ для Sc. Выполненный тщательный анализ более 1100 измерений водности в слоистых и 700 измерений в слоисто-кучевых облаках позволил выявить ряд закономерностей как в ее распределении внутри облачной массы, так и в условиях различных климатических областей, при различных синоптических условиях. В интервале рассмотренных температур как средние, так и одиночные измерения

водности не имеют устойчивой связи с температурой облака. При одном и том же значении температуры разности зарегистрированных величин водности могут достигать одного порядка. Фазы жизни облака в большей степени определяют его водность. Установлена связь между водностью и значениями турбулентного обмена.

Средняя водность системы облаков As—Ns не превышает 75 % водности умеренных широт облаков этого типа. Максимальная водность этой облачной системы в 2 раза меньше чем аналогичное значение в облаках умеренных широт и составляет 0,77 г/м³.

Наибольшая средняя водность облаков отмечена над акваторией Баренцева моря, а наименьшая — над Арктическим бассейном. Разность между значениями водности этих географических областей составляет 50 %.

Водяной пар и влагооборот в атмосфере полярных областей. Наличие водяного пара в атмосфере обеспечивает современные гермические условия на Земле за счет парникового эффекта. Модельные расчеты показывают, что удвоение содержания водяных паров в атмосфере приводит к повышению глобальной температуры воздуха на 1,5—4,0 °C (удвоение CO₂ дает 1,2 °C), однако водяной пар посредством облачного покрова в большей степени охлаждает, чем нагревает. Проблема водяного пара в полярных областях является скорее глобальной, чем региональной, поскольку эти районы являются обширными областями конвергенции влаги в планетарном масштабе. Она также тесно связана с пресноводным балансом, питанием северных и сибирских рек и, главное, питанием ледников Антарктиды и Гренландии, где заключено около 90 % мировых запасов пресной воды.

Водяной пар, в отличие от других атмосферных газов, при наблюдаемых в атмосфере различных температурах может менять свое агрегатное состояние, переходя в жидкое или твердое состояние. При этом все три фазы воды: газообразное (пар), жидкое (капли) и твердое (лед) характеризуются существенно различными физическими свойствами. Учитывая современный уровень загрязнения атмосферы нельзя не отметить высокую растворяющую способность воды и ее химическую активность. Фазовые превращения воды на поверхности арктических морей связаны с большим выделением (поглощением) тепла, что существенно влияет на годовой ход температуры нижнего 500 м слоя атмосферы над этими морями.

Содержание водяных паров в атмосфере полярных областей оценивается двумя противоположными показателями: водяных паров для данной температуры воздуха там много, но абсолютное содержание их исключительно мало.

Проблематичный характер стандартных измерений влажности воздуха в полярных районах известен. Эта проблематичность включает два аспекта: один из них связан с ошибками измерений при низких температурах воздуха, а второй заключается в том,

что воздух в приземном слое часто бывает в состоянии перенасыщения относительно льда. Так, при температуре воздуха -40°C и измеренной влажности относительно воды 80 %, относительно льда она составляет 120 %.

Отмеченное перенасыщение в значительной мере способствует образованию наземных гидрометеоров, которые чаще характеризуются термином — горизонтальные осадки. Не менее важным для полярных областей является внеоблачное образование ледяных кристаллов, явления широко распространенного в центральных районах Антарктиды и Арктики. Эти проблемы в теоретическом и приборном аспектах решались многими учеными разных стран. В отделе метеорологии этой проблеме много внимания уделили Е. И. Тихомиров и М. И. Гольцман. Последний разработал конденсационный гигрометр, нашедший широкое применение в работах ЛМО.

В работе З. М. Прик сделана первая попытка картирования значений относительной влажности, рассчитанные «над льдом». Эти работы в дальнейшем были развиты И. Н. Завьяловой, в которых наряду с традиционным представлением пространственно-временного распределения относительной влажности воздуха, определенной по отношению к воде, даны карты распределения относительной влажности воздуха, рассчитанные по отношению к льду. Согласно И. Н. Завьяловой, в январе над Гренландией перенасыщение составляет 105 %, а над Арктическим бассейном — 102—104 %. Над Канадским Арктическим архипелагом отдельные районы характеризуются значениями 100—102 %.

Распределение перенасыщения воздуха в Антарктиде носит более простой характер. От 100 %, отмеченных на побережье, значения перенасыщения возрастают до 115 % над самым высоким участком континента, т. е. здесь отмечается довольно хорошая корреляция с изогипсами континента. Анализ пространственно-временного распределения упругости водяного пара и удельной влажности позволил сделать И. Н. Завьяловой вывод о том, что приземный воздух в Антарктиде суше, чем в Арктике. Исследования влагосодержания и влагооборотных процессов в полярных областях связаны с работами Л. П. Буровой и А. И. Воскресенского.

Поскольку до внедрения в практику радиозондирования временного датчика влажности измерения ее в свободной атмосфере были столь несовершенны, что только с начала 60-х годов представилась возможность закрыть «белые пятна» в общей цепи знаний влагооборота в атмосфере Земли. Поэтому первые отечественные исследования водных ресурсов атмосферы полярных областей, количества переносимой влаги, происхождения осадков (из адвективного или местного водяного пара) и ряд других характеристик влагооборота были получены в 70-е годы в связи с работами по программе «Международное гидрологическое десятилетие», которое завершилось публикацией монографии, изданной также на иностранных языках.

Выполнение работ по этой программе осуществлялось в рамках единой методической основы, региональные особенности которой не учитывались. Поэтому дальнейшие работы в данном направлении позволили учесть такие особенности. Это прежде всего относится к оценкам влагосодержания в инверсионных слоях. Как известно, нижняя тропосфера и приземный слой в полярных областях характеризуется большой (до 100 %) повторяемостью инверсий температуры и влажности воздуха.

По оценкам Л. П. Буровой, в этих слоях содержится до 50 % атмосферной влаги столба атмосферы до 5 км. Необходимо было также учесть водный эквивалент ледяных кристаллов, присутствующих в атмосфере, что на примере Антарктиды было сделано А. И. Воскресенским.

После завершения работ в рамках Международного гидрологического десятилетия в отделе были продолжены работы по более полному учету региональных особенностей региона и уточнению на этой базе составляющих влагооборота. Л. П. Буровой и А. И. Воскресенским были исследованы вопросы содержания и переноса влаги в атмосфере над северной полярной областью. В работе Л. П. Буровой были оценены горизонтальные потоки влаги в Арктике. Этот вид исследований связан с использованием большого объема информации не только влажности, но и ветровой компоненты.

Методическое обоснование и оценки интегрального влагосодержания в атмосфере над Антарктидой дано А. И. Воскресенским. Он количественно оценил некоторые региональные особенности атмосферы Антарктиды, влияющие на влагосодержание. К их числу относится водный эквивалент облаков, ледяных кристаллов, наземной сублимации. Уточненная методика расчетов позволила оценить интегральное влагосодержание в 2,52 мм в среднем за год, что в 2,3 раза меньше, чем влагосодержание атмосферы Арктики. Полученное столь низкое содержание атмосферной влаги, несмотря на редкую сеть наблюдений и в целом невысокую точность измерений, тем не менее достаточно хорошо согласуется с данными ИСЗ «Космос-243».

В последние годы были выполнены исследования современных изменений интегрального влагосодержания Арктики. В качестве критерия в этих работах использованы величины и знак линейных трендов по Арктике за 22 года и Антарктиде за 25 лет. Для Арктики линейные тренды в январе в основном указывали на незначительное повышение общего влагосодержания (0,1—1,5 мм). При этом в Российской Арктике из 16 станций восемь характеризовались отрицательным трендом. В зарубежной Арктике на Аляске и станциях Канадского Арктического архипелага знак трендов был положительным. В июле на 20 из 25 станций знак трендов был отрицательным (от —0,5 до —3,2 мм). Это явилось определяющим в изменении годовых значений, которые за исключением четырех станций Аляски, были отрицательными (от —0,1 до —1,2 мм). В Антарктиде из 17 аэрологических станций, работав-

ших на континенте, непрерывные наблюдения имеют только две Новолазаревская и Мирный.

На остальных 15 станциях по различным причинам имеют место или достаточно большие перерывы в наблюдениях, или начало работы станции относится к более поздним годам. Анализ знаков трендов по семи станциям, характеризующих в основном атлантический сектор побережья Антарктиды, можно отметить отсутствие единой направленности в происходящих от года к году изменений влагосодержания атмосферы. Однако данные станций Мирный и Новолазаревская указывают на увеличение влагосодержания атмосферы в летний период (0,8 мм). На станции Восток расположенной в центральной части континента значение тренда составляет 00. Указанные значения трендов в обеих полярных областях находятся в хорошем согласии с оценками изменений температурных режимов нижней и средней тропосферы.

Со времени вышедших в свет работ по данной проблеме потребности в оперативной информации о влагосодержании значительно возросли. Это относится к учету показателей влагосодержания при контроле за радиационным режимом, процессами похолодания и потепления в тропосфере, химическими преобразованиями в атмосфере, самоочищением атмосферы и т. д. Следовательно, разработанные методические основы оценок влагосодержания и влагооборотных процессов могут быть объективными в региональном мониторинге климата полярных областей.

Атмосферный озон в полярных областях. В период МГГ была осуществлена идея единой системы международных глобальных наблюдений за озоном (O_3). Отделом метеорологии были организованы систематические измерения общего содержания озона (ОСО) на станции Диксон и о-ве Хейса в Арктике и в обсерватории Мирный в Антарктиде. Поглощая ультрафиолетовую радиацию (УФР), озон не пропускает к поверхности земли опасную для жизни радиацию с длинами волн короче 290 нм.

Применительно к полярным областям это влияние O_3 имеет принципиальное значение, поскольку в высоких широтах Арктики располагается область максимального содержания озона в глобальном масштабе. В южном полушарии область максимальных значений O_3 расположена в широтном поясе $50-60^\circ$ ю. ш., но значение этого максимума на 10 % меньше, чем в области максимума северного полушария. К югу от этой зоны ОСО уменьшается и составляет в среднем за год 70 % от значения зоны максимума (400 DE).

Г. У. Каримова отмечает, что годовой ход ОСО в Арктике характеризуется ростом его содержания от октября — ноября (250—300 DE) к марту — апрелю (400—450 DE), после чего на всех станциях отмечено понижение его до минимума, отмеченного с августа по декабрь (220—250 DE).

Общей закономерностью годового хода озона в Антарктиде являются незначительные изменения от месяца к месяцу в осенне-зимний сезон, быстрое увеличение в октябре — ноябре до 350—

370 DE и последующее интенсивное уменьшение в марте — июне до 265 DE. Незначительные вариации этих показателей годового хода, обусловленные различными метеорологическими факторами, весьма часто публиковались, пока не выяснилось, что отмеченная Г. У. Каримовой еще в 1981 г. тенденция некоторого понижения озона на станциях Западной Антарктиды (Халли-Бей, Арджен-сайд-Айлендс), в сентябре — ноябре превратилась в «озонную дыру».

Дальнейшие наблюдения позволили английскому ученому Фарману в 1985 г. сделать вывод о формировании над Антарктидой «озоновой дыры». Проблеме «озоновой дыры» была посвящена советско-американская встреча (1986 г.) специалистов двух стран. Наша гипотеза о динамической первопричине формирования «озоновой дыры» на этой встрече не получила поддержки. Только в 1988 г., когда наша гипотеза получила подтверждение, ЗМО в своем заявлении динамический фактор формирования «озоновой дыры» назвала первопричиной. Таким образом, проблема формирования «озоновой дыры» в Антарктиде вернулась в плоскость аэроклиматических исследований, которые в настоящее время в отделе прекращены. Что же касается состояния озосферы над Арктикой, то здесь, несмотря на многочисленные прогнозы о возможности образования «озоновой дыры» в этом регионе, наше мнение сводится к невозможности этого явления ввиду принципиальных различий в стратосферной циркуляции.

Новый аспект влияния уменьшения содержания стратосферного озона на малые газовые составляющие тропосферы в Антарктиде исследован Л. Н. Юргановым и др. Полученные ими выводы свидетельствуют о заметном влиянии на концентрацию кислорода углерода в тропосфере через вариации УФ излучения и гидроксила.

Прикладные исследования отдела. Климат всегда оказывал существенное воздействие на деятельность человека, и климатология как наука возникла в связи с необходимостью удовлетворения практических запросов человеческого общества. Учитывая большую эффективность использования климатической информации в экономике, Всемирная метеорологическая организация включила программу по прикладной климатологии в качестве одного из основных компонентов во Всемирную климатологическую программу.

Особенно велика роль климата в полярных областях. Правильный учет воздействия климатических факторов, выявление и рациональное использование климатических ресурсов является необходимой предпосылкой успешного освоения природных ресурсов этих областей. Исходя из этого, отдел метеорологии осуществляет широкую программу исследований климатических ресурсов полярных областей применительно к обеспечению запросов различных отраслей хозяйственной деятельности.

Прикладная деятельность отдела осуществлялась по четырем основным направлениям:

— составление общих климатических пособий: атласов, справочников, климатических описаний и монографических исследований;

— оперативное обеспечение потребителей климатической информацией по запросам;

— составление специализированных пособий для отдельных отраслей хозяйственной деятельности;

— прогноз изменения климатических условий под воздействием естественных и антропогенных факторов.

Общеклиматические пособия. Эти пособия дают наиболее общие сведения о климате рассматриваемого района и позволяют решать вопросы крупномасштабного характера. В последние годы выполнена фундаментальная работа по созданию климатических карт Арктики. Эти карты позволяют удовлетворить самые разнообразные запросы потребителей. Создание их потребовало решения ряда принципиальных методических вопросов, направленных на получение корректных рядов метеорологических элементов. Что касается Антарктиды, то в 1981 г. была завершена публикация трехтомного «Справочника по климату Антарктиды», не имеющего аналогов в мировой литературе. В Справочнике обобщены метеорологические и актинометрические наблюдения 54 антарктических и субантарктических станций.

Материалы по климату и циркуляции атмосферы в Антарктике, полученные на основе обобщения данных ИСЗ, нашли широкое применение в оперативной работе по обслуживанию морского и воздушного флотов, рыбопромысловых флотилий. Эти материалы используются также и в службе прогнозов погоды, поскольку в них впервые представлены данные о повторяемости траекториях барических образований в южной полярной области.

Подготовлены к печати климатические карты нового атласа Антарктики. Объем и номенклатура представленных в ней климатических карт не имеет аналогов в мировой практике. Информативность представленных карт возросла во много раз за счет увеличения объема информации в 10—15 раз. Всего в разделе представлено более 300 видов информации, из них более половины подготовлены впервые. Принципиальное отличие карт Нового атласа — их трехмерность.

Для лучшей координации работ в области прикладных исследований и выявления потребностей в климатической информации в 1987 г. было проведено Первое Всесоюзное совещание на тему «Полярная метеорология на службе народного хозяйства». На совещании было заслушано и обсуждено более 100 научных докладов.

Специализированные пособия. Основная часть составляемых в отделе пособий по климату Арктики и Антарктики направлена на обеспечение мореплавания по Северному морскому пути в Южном океане, изыскательских и гидротехнических работ в шельфе арктических морей. Регулярно, 1 раз в 5—10 лет обновляются метеорологические очерки для лоций арктических морей.

с учетом новых требований потребителей, расширением сроков навигации по Северному морскому пути и т. д.

Особое внимание было уделено изучению условий обледенения судов в Арктических морях. Обеспечению мореплавания в Южном океане климатической информацией посвящена монографическая работа, в которой обобщена вся имеющаяся информация, необходимая для безопасного судовождения на акватории этого океана.

Для обеспечения деятельности полярной авиации издан Авиационный климатический справочник, содержащий ценную информацию о пространственной и микрофизической структуре облаков Арктики, полученную на основе многолетней работы ЛМО. Для удовлетворения нужд строительных организаций, работающих

в Арктике, выполнен ряд исследований по строительной климатологии. При этом основное внимание уделено анализу повторяемости и пространственно-временному распределению комплексных характеристик климата температурно-ветровых и температурно-влажностных.

Выполнено районирование Арктики по этим показателям, построены карты эффективных температур, которые характеризуют совместное влияние температуры воздуха и скорости ветра на теплопотери зданий. Проведено районирование Арктики применительно к расчетам ветровых нагрузок на сооружения. Комплексные температурно-ветровые и температурно-влажностные характеристики находят широкое применение при организации работ на открытом воздухе, а также при оценках биоклиматических характеристик Крайнего Севера и Антарктиды и адаптации человека к экстремальным условиям. Большое внимание отдел уделял технической климатологии.

Климатические данные полярных областей, вошедшие в фундаментальные исследования мирового водного баланса Земли имеют исключительно научно-прикладной характер. Большое хозяйственное значение имеет исследование светового режима поверхности. Эти работы позволили создать серию карт, характеризующих естественную освещенность поверхности в различные месяцы года и различные часы суток. Комплекс климатических карт и данных, характеризующих радиационный и температурно-ветровой режим Арктики и Антарктики, составлен для подготовленного Н.Р.С. «Атласа снежно-ледовых ресурсов мира».

В последние годы отдел уделял много внимания использованию ветровой энергии в качестве экологически чистой и возобновляемой. Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что от этой энергии может стать основным для большинства населенных пунктов Российской Арктики.

Оперативное обеспечение. Обеспечение различных хозяйственных отраслей климатической информацией занимает существенное место в деятельности отдела. Число поступающих в институт запросов в целом обратно пропорционально количеству публикуемых пособий. Характер запросов связан, как правило, с получением данных, отсутствующих в справочниках. Так, гидрофизиче-

ское предприятие ММФ интересуется информация о режиме солнечной радиации определенной интенсивности в связи с разработкой солнечных энергосистем для питания навигационных огней. Министерству сельского хозяйства необходима дополнительная информация для решения вопросов, связанных с акклиматизацией овцебыков в Таймырском заповеднике, сведения о световом режиме североатлантических морей необходимы для определения районов концентрации рыб, их миграционных путей и т. д.

Кроме сторонних организаций, разнообразную информацию отдел представляет в смежные отделы, в частности, при составлении ледовых и гидрометеорологических прогнозов различной заблаговременности, также направленных на обслуживание хозяйственных организаций. Так, при составлении прогнозов вскрытия сибирских рек в их низовьях широко применяются данные о солнечной радиации и ее проникновении в снежно-ледяной покров. Непременным предиктором в долгосрочных прогнозах являются климатические данные о датах устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C . Существует еще много других видов информации, подготавливаемой в отделе для успешной работы специалистов института.

Климатические прогнозы. Одной из наиболее важных областей обслуживания народного хозяйства являются расчеты, связанные с оценкой возможных изменений климата в результате естественных факторов и антропогенного воздействия. Такая оценка была проведена для различных объемов изъятия стока северных и сибирских рек. Проработка вопросов возможного изменения климатических условий, как и других природных факторов, была проведена по заданию Правительства в связи с программой строительства атомного ледокольного флота.

Как первый, так и второй пример характеризуются многими миллиардными затратами (в масштабе цен 80-х годов). Поэтому требовались значительные усилия для объективных прогностических оценок. Решение проблемы осложнялось обилием прогнозов глобального потепления, исчезновения морских льдов в Арктике. Как известно, атомный ледокольный флот построен. До 2000 (на срок 15 лет) был дан прогноз о сохранении современных климатических условий в Арктике. В 1991 г. впервые были опубликованы прогностические соображения о климатическом режиме Арктики до 2005 г. Авторским коллективом этой работы были даны прогностические соображения о элементах климатической системы Арктики.

Таким образом, научно-исследовательская деятельность климатологов отдела тесно связана с удовлетворением запросов хозяйственных организаций. Следует признать, что климатическая информация в отличие от прогностической синоптической обладает важным достоинством — возможностью многократного использования в течение нескольких лет. Следовательно, применение климатических данных в конкретном случае за счет этого дает значительный эффект.

Закключение. Полярная метеорология достигла определенных успехов в решении научных и научно-прикладных задач в обеих полярных областях. Она достойно заняла свое место в отечественной метеорологии и климатологии. Вместе с тем, научные заделы в области метеорологии и климатологии позволяют ей более уверенно решать имеющиеся в настоящее время организационные и финансовые трудности. Реализация имеющегося потенциала должна базироваться на более инициативной деятельности как непосредственно в Арктике, так и в области международного сотрудничества. Для этого прежде всего необходимо выработать программу «Климатических исследований», включающую всю климатическую систему, направленную не только на диагноз современного климата, но прежде всего на его прогноз. Вторым направлением деятельности должна быть разработка программы «Регионального климатического мониторинга» (включая всю климатическую систему). Третьим направлением должно стать крупное аэросиноптическое исследование нижней стратосферы полярных областей в связи с проблемой атмосферного озона.

Большим резервом у метеорологов и климатологов отдела является создание серии описаний климата городов и крупных населенных пунктов, а также сырьевых районов шельфа и островов. При правильной организации дела финансирование этих работ может быть осуществлено за счет местных органов власти в регионе. Принципиально должна быть изменена идеология работ области контроля за уровнем загрязнения атмосферы в населенных пунктах Арктики. От фиксирования уровней загрязнения необходимо перейти к разработке природоохранных рекомендаций на базе метеорологической информации. Выполненное в отделе исследование в области ветроэнергетики необходимо довести до непосредственно возможных потребителей. Ветроэнергоресурсами Российской Арктика не уступает США (Калифорния), Нидерландам, Швеции, где эти ресурсы используются весьма успешно.

Необходимо также решить и некоторые организационные вопросы, связанные с воссоединением методических групп по аэрологии, метеорологии и актинометрии с отделом метеорологии. Эта проблема не решается руководством многие годы, существенно ухудшено обеспечение института материалами наблюдений. В результате этого утеряны особенности региональных наблюдений, некоторые атмосферные явления, присущие регионам, выпали из поля зрения наблюдателей. По согласованию с Министерством охраны природы должны быть восстановлены фенологические наблюдения на избранной сети станций. Эти наблюдения будут как бы мостиком, соединяющим наблюдения за окружающей средой и ее чувствительными элементами.

Поступила 17.01.95 г.

МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ДОЛГОСРОЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Одной из важных и сложных проблем макрометеорологии имеющих огромное научное и практическое значение, до сих пор является разработка и внедрение методов метеорологических прогнозов различной заблаговременности. Трудности в решении этой проблемы обусловлены прежде всего большим количеством факторов, влияющих на формирование и изменение погоды и климата, изменением роли этих факторов во времени и недостаточным количеством данных наблюдений, особенно над океаническими районами. Кроме того, решая указанную проблему применительно к отдельным регионам, мы сталкиваемся со специфическими трудностями, связанными с физико-географическими особенностями рассматриваемого района.

Так, например, для полярных областей, специфическими трудностями являются высокая степень изменчивости атмосферных процессов, недостаточное количество наблюдений в этих суровых и труднодоступных районах и требования практики составлять прогнозы на различные сроки длительности (от нескольких дней до года), необходимые для учета характера атмосферных процессов при планировании и осуществлении ряда народнохозяйственных задач в данных регионах.

В истории макрометеорологических исследований было немало попыток построить методы долгосрочных прогнозов большой и малой заблаговременности для различных районов. Они основывались главным образом на учете разного рода зависимостей установленных статистическим путем, а также на учете таких свойств атмосферных процессов, как периодичность, ритмичность, инерция. Нередко эти попытки были основаны и на учете ряда внешних факторов (солнечная активность, приливообразующие силы Луны и Солнца и др.). Разнообразие подходов к решению проблемы долгосрочных прогнозов привело к тому, что было предложено много методов прогноза, основанных на различных принципах и учитывающих те или иные (не всегда главные) особенности атмосферных процессов в отдельных районах северного полушария. Естественно, поэтому оправдываемость прогнозов, составленных с помощью этих методов, была неодинаковой и, как правило, невысокой.

Необходимо было сформулировать основные принципы и главные пути решения проблемы, которые могли бы явиться объединяющими для различных подходов. И они были сформулированы на рубеже 30-х годов текущего столетия. Главный из них состоял в том, что процессы, наблюдаемые в ограниченных районах полушария, необходимо изучать и предсказывать на фоне процессов

по крайней мере, всего северного полушария, рассматривая их как процессы взаимосвязанные и взаимообусловленные. Иначе говоря, процессы, наблюдаемые в отдельных, сравнительно небольших районах полушария, необходимо рассматривать как результат проявления общей циркуляции атмосферы в конкретных физико-географических условиях рассматриваемого района. По мере более широкого признания указанной выше идеи расширились исследования общей циркуляции атмосферы не только в плане изучения ее средних многолетних характеристик (норм), но и с целью установления закономерностей преобразования одного ее состояния в другое, т. е. закономерностей, имеющих прогностическое значение.

Наиболее широко в этом плане исследования проводились Г. Я. Вангенгеймом, который выдвинул ряд новых идей, направленных на развитие синоптических методов. Так, еще в 1935 г. он писал, что деятельность атмосферы никогда не изучалась с точки зрения фактов, последовательно развертывающихся в течение длительных промежутков времени, поэтому необходимо рассмотрение синоптических процессов в их последовательном ходе таким образом, чтобы процессы всего изучаемого длительного промежутка времени могли быть расчленены на последовательно идущие друг за другом синоптические ситуации, так как только изучение всего полученного таким образом ряда синоптических ситуаций позволит установить, в какой мере все разнообразие встречающихся синоптических процессов может быть сведено к ограниченному числу типовых положений.

Отсюда следует, что научным кредо Г. Я. Вангенгейма является изучение атмосферных процессов в их непрерывном развитии с расчленением их на реальные стадии (типы) и установление закономерностей их смены, изучение процессов малого масштаба как стадий развития более крупных процессов, изучение процессов в ограниченном районе на фоне и в связи с макропроцессами, по крайней мере, в северном полушарии — вот та рабочая гипотеза и те принципы, на основе которых в 30-х годах начал вести исследования Г. Я. Вангенгейм для разработки нового метода долгосрочных прогнозов погоды. Эти исследования в конечном итоге привели к созданию самостоятельной научной школы, нававшей функционировать в 1945 г. в Арктическом научно-исследовательском институте (АНИИ).

Одной из основных задач института является изучение характера атмосферных процессов, состояния гидросферы в полярных областях и их взаимодействия. При этом ставилась цель установить такие закономерности, которые позволили бы строить научно обоснованные методы долгосрочных гидрометеорологических прогнозов и составлять своевременно прогнозы, необходимые для планирования и проведения навигации прежде всего на Северном морском пути, а также для решения некоторых других народнохозяйственных задач в северных районах страны (горнодобывающие предприятия, рыбопромысловые, строительные работы и др.).

Специфика практических задач определила во многом содержание, форму, заблаговременность таких прогнозов и пути разработки методов их составления. Так, для составления ледовых и гидрологических прогнозов по арктическим морям были необходимы прогнозы распределения среднемесячных значений давления и температуры воздуха, преобладающих направлений береговых ветров и воздушных потоков с заблаговременностью от 3—10 дней до нескольких месяцев. Эти же виды прогнозов нужны были остальным потребителям для непосредственного учета роли атмосферного фактора при производстве ряда народнохозяйственных работ.

Поставленные задачи решались отделом долгосрочных метеорологических прогнозов, созданном в АНИИ, как указывалось выше, в 1945 г. под руководством профессора Г. Я. Вангенгейма. Исследования начались на основе разработанных им еще в 1935—1939 гг. принципов макроциркуляционного метода. В целом, по характеру ставящихся задач и последовательности их решения весь период исследований состоит из нескольких этапов.

На первом этапе (1945—1951 гг.) согласно принципа учета процессов в ограниченном районе в качестве результата проявления общей циркуляции атмосферы изучались и предсказывались атмосферные процессы в Арктике на фоне макросиноптических процессов всего северного полушария. В качестве конкретных форм проявления этого фона были приняты типы W, E и C циркуляции, установленные в 1939 г. Г. Я. Вангенгеймом для атлантико-евразийского сектора северного полушария, а затем девять их разновидностей на полушарии, установленных в 1948 г. А. А. Гирсом.

В указанный период прогнозы большой заблаговременности составлялись на три-пять месяцев вперед и содержали характеристики распределения барикотермического поля. Среднесрочные прогнозы или прогнозы малой (как их называли ранее) заблаговременности по своему содержанию имели общий вид. Из прогностических показателей в них указывались только преобладающие направления ветра на декаду и средние декадные температуры.

В эти годы рос опыт прогнозирования, рос и объем получаемой информации из Арктики. В становлении и укреплении позиций метода немалая заслуга, наряду с его авторами, принадлежит таким исследователям, как М. Х. Байдал, Л. А. Дыдина, Т. М. Хорева, Н. А. Анискина и др.

Вторым важным и наиболее значимым этапом (1952—1963 гг.) явилось изучение закономерностей преобразования форм атмосферной циркуляции различного временного масштаба и связанного с этими преобразованиями изменения режима погоды в северном полушарии и Арктике. Для решения проблемы прогноза малой заблаговременности изучались закономерности «малых преобразований циркуляции, т. е. преобразований элементарных синоптических процессов (ЭСП). Прежде всего, следует отметить усилия в этом плане Л. А. Дыдиной. Сначала это были закон-

мерности смены исходного элементарного процесса, а в дальнейшем — нескольких ЭСП, составляющих определенную цепь элементарных стадий развития общей циркуляции атмосферы и их проявления в Арктике.

В итоге были получены следующие результаты.

1. Показана зависимость различных характеристик типов атмосферных процессов в Арктике от характера циркуляции в северном полушарии и особенности их коротких и длительных преобразований.

2. Выявлены условия формирования ветровых характеристик (направление, скорость и усиление) в различных районах Арктики (показана их связь с типами атмосферных процессов в этом районе, формой циркуляции в северном полушарии и характером более длительных их преобразований).

3. Установлено, что некоторые зависимости, применяемые краткосрочной синоптике, могут быть распространены на срок до трех-четырех дней, дан способ их использования при составлении прогнозов на три-десять дней макроциркуляционным методом для Арктики. Этот период отличается наиболее существенным расширением содержания прогнозов погоды малой заблаговременности. Они стали дополняться прогнозами синоптического положения в виде карт распределения полей давления в Арктике по трех-пятидневным промежуткам времени. Увеличилось число районов прогнозирования и возросло число погодных прогностических характеристик.

В последние годы рассматриваемого периода стало возможным составление трехсуточных прогнозов непосредственно в Арктике, научно-оперативных группах. Этому обстоятельству способствовал приток в ОДМП свежих сил. Н. Д. Виноградов, В. Г. Шестаков, С. И. Кондратюк, Р. Г. Панчугин вели активную работу по внедрению метода прогнозов малой заблаговременности в практику обеспечения мореплавания по трассе Северного морского пути.

При разработке и совершенствовании метода большой заблаговременности решались следующие три задачи.

1. Удлинение заблаговременности прогнозов до 10 месяцев тем, чтобы в конце декабря текущего года можно было составить фоновый прогноз в виде среднемесячных характеристик на январь—октябрь следующего года.

2. «Скользжащее» уточнение и детализация фонового прогноза во внутримесячным периодам однородной циркуляции на три предстоящих месяца.

3. Изучение закономерностей многолетних колебаний форм атмосферной циркуляции и связанных с ними изменений климата ледяной области для получения возможности предвидеть длительные (10—20 лет) тенденции в изменении характеристик атмосферы Арктики, необходимые для перспективного планирования которых народнохозяйственных задач на Крайнем Севере нашей страны.

Результатом решения указанных задач явилось установление семи фоновых (15-месячных) групп однородного развития макропроцессов в северном полушарии и в Арктике, обобщившим развитие макропроцессов за истекшие 70 лет, построение групповых характеристик метеорологических элементов для каждого месяца этих групп.

Был выявлен ряд важных закономерностей в цепи непрерывного развития макропроцессов на протяжении 6—10-месячных периодов, закономерностей формирования и преобразования циркуляционных эпох. Все это позволило с 1964 г. начать регулярный выпуск фоновых метеорологических прогнозов на январь—октябрь с их скользящим уточнением и детализацией на три предстоящих месяца, разработать пути построения научно обоснованного метода сверхдолгосрочных прогнозов. В получении указанных результатов принимали участие А. А. Гирс и Г. Я. Вангенгейм, М. Ш. Болотинская, В. С. Рогозина, Л. Ю. Рыжаков, Н. Д. Виноградов, Г. А. Макурина, А. С. Томская, В. В. Иванов, Т. Г. Вангенгейм, С. А. Рабцевич.

Следующий (третий) этап изучения атмосферной циркуляции и развития макроциркуляционного метода прогнозов для Арктики охватывает 1964—1969 гг. Дальнейшее совершенствование методов прогнозов малой заблаговременности (особенно на вторую половину 8—10-дневного периода) решалось путем:

- изучения закономерностей эволюции барических образований в Арктике;

- использования расчетных физико-статистических схем прогноза низомного и высотного поля давления;

- более тесной увязки прогнозов малой заблаговременности с детализированными прогнозами большой заблаговременности;

- распространения метода на холодное время года и на субарктические районы;

- выявления условий формирования некоторых экстремальных значений метеорологических элементов и особо опасных явлений (обледенений, метелей и др.).

По указанным вопросам получены результаты, позволившие усовершенствовать процесс составления прогнозов на три-десять дней, с использованием дополнительных прогностических связей и указаний. Работа велась под руководством д-ра геогр. наук Л. А. Дыдиной группой специалистов А. В. Кузнецовым, М. В. Мозалевской, А. А. Дмитриевым, В. А. Белязо, Г. Б. Савицким, В. К. Куражовым, М. П. Евсеевым, П. А. Сельцером, С. И. Коздратюк.

Усовершенствование метода фоновых метеорологических прогнозов велось путем:

- учета внутригодовых особенностей циркуляции;

- учета влияния внутригодовых периодов развития, свойственных циркуляционным эпохам и их стадиям, на внутригодовые стадии в прогнозируемом году;

— выявления основных физических факторов, определяющих характер каждой из семи однородных цепей развития, их стадий и циркуляционных эпох:

— разработки и учета в официальных прогнозах физико-статистических схем прогнозов аномалий температуры и давления заблаговременностью до десяти месяцев.

Таким образом, основной задачей этого этапа являлось установление физических причин групповых процессов и их основных стадий, учет которых позволил повысить качество фоновых прогнозов и выделить внутригодовые периоды в прогнозируемом году. В результате исследований рассматриваемого этапа установлено следующее.

1. Развитие атмосферных процессов в каждом году во многом определяется фоном стадии эпохи, в которую входит рассматриваемый год. Под этим фоном понимаются не только средние характеристики каждой стадии эпохи, но и свойственный им фон внутригодовых преобразований циркуляции и режима погоды. Тем самым доказана важная роль учета длительных тенденций изменения характеристик атмосферы и гидросферы и взаимодействия стадий различного временного масштаба в методах долгосрочных прогнозов различной заблаговременности.

2. Основным фактором, определяющим возникновение циркуляционных эпох и их стадий, является комплекс космико-геофизических факторов (солнечная активность, нутация полюсов, изменения скорости вращения Земли, 19-летний прилив и др.). При этом установлено, что комплекс земных факторов определяет основной характер реальных процессов, а повторяемость последних и многолетние ее изменения определяются в основном комплексом внешних факторов.

3. Средние групповые характеристики показывают наиболее крупные ведущие особенности рассматриваемых цепей развития их стадий. Эти особенности свойственны также отдельным годам, вошедшим в каждую группу. Именно по этим особенностям произведено объединение лет в группы. Вместе с тем, в каждом году имеется специфика, учет которой при составлении фонового прогноза можно выполнить с помощью подбора внутригрупповых аналогов к процессам исходного периода (август—декабрь).

С 1970 г. отдел начал новый этап исследований. Его основной целью являлось дальнейшее усовершенствование макроциркуляционного метода большой и малой заблаговременности для получения дополнительных прогностических зависимостей, позволяющих предсказывать крупные стадии развития макропроцессов в северном полушарии и обусловленные ими экстремальные значения метеорологических элементов и явлений в Арктике. Постановка этой очень важной и весьма сложной задачи была подготовлена методическом и фактическом отношении исследованиями предыдущих трех этапов.

Как следует из изложенного, изучение атмосферной циркуляции и решение проблемы долгосрочных прогнозов для Арктики

в Арктическом и антарктическом институте базировалось на учете основных принципов макроциркуляционного метода, сформулированных Г. Я. Вангенгеймом, развитых в дальнейшем последователями его научной школы. Важнейшим из этих принципов является необходимость изучения атмосферных процессов в их непрерывном развитии, выделяя различные стадии и изучая их взаимосвязь и взаимообусловленность.

На основании этих принципов удалось получить ряд закономерных цепей развития макропроцессов в различные периоды и охарактеризовать основные стадии этих цепей комплексом характеристик атмосферы и гидросферы. Среди этих стадий имеются и такие, которые обуславливают крупные аномалии метеорологических условий в Арктике, а нередко одновременно и в других районах полушария. Такие стадии названы крупными или экстремальными стадиями. Причины их возникновения невозможно установить, если их рассматривать в отрыве от закономерностей развития всей цепи развития.

К сожалению, во многих работах, посвященных изучению экстремальных аномалий метеорологических элементов и явлений были рассмотрены подобные ситуации лишь как случаи, а не стадии длительных цепей развития макропроцессов в северном полушарии и в прогнозируемом районе. Поэтому все экстремальные случаи объединялись в одну группу по признаку лишь их экстремальности, а не их генезиса. Такой подход не может привести к установлению закономерностей возникновения указанных экстремальных ситуаций. Это, по-видимому, является одной из причин того, что полученные прогностические связи имеют еще недостаточную эффективность. По указанным причинам вопрос о прогнозе экстремумов в макроциркуляционном направлении откладывался до того времени, когда будут получены основные цепи развития макропроцессов и выяснены хотя бы важнейшие факторы (физические причины), их определяющие.

Именно эти задачи были решены в основном на предыдущих трех этапах, что и позволило поставить проблему прогноза экстремумов в программу работ нашей школы в предстоящем периоде.

Второй важной задачей данного этапа исследований являлось дальнейшее изучение циркуляционных эпох, выяснение закономерностей их преобразования с учетом стадий эпох и их влияния на характер внутригодовых преобразований в годах, вошедших в каждую стадию эпохи.

Кроме того, перед творчески активным коллективом ученого отдела был поставлен еще ряд важных задач.

1. Распространение принципов макроциркуляционного метода на Антарктику для разработки и совершенствования метода долгосрочных прогнозов для южнополярной области.

2. Изучение роли длительных тенденций в изменении характеристик атмосферы и гидросферы и разработка способа их учета при составлении долгосрочных прогнозов различной заблаговременности для Арктики и Антарктики.

3. Удлинение заблаговременности фонового прогноза до 12 месяцев.

К сожалению, на рубеже 70-х и 80-х годов сначала из отдела, затем и из жизни ушел человек, с именем которого связаны дело создания научной школы в области прогностической макрометеорологии, успехи и неудачи развития, совершенствования и внедрения в практику макроциркуляционного метода исследований и долгосрочного прогноза. И тем не менее, планы и принципы их реализации по дальнейшему развитию и совершенствованию макроциркуляционного метода, намеченные в свое время профессором Александром Александровичем Гирсом, успешно выполняются его учениками и последователями.

Была решена проблема удлинения фонового метеорологического прогноза до 12 месяцев, на более совершенной информационной основе решена задача скользящего уточнения этого прогноза. Разработан и внедрен в практику метод прогноза крупных аномалий основных метеозадающих элементов в Арктике. Разработан и успешно применяется в практике метод метеорологического прогноза для Антарктики. Разработан прием выявления и учета в долгосрочных прогнозах длительных тенденций в изменении характеристик атмосфер. Последнее обстоятельство дает надежду на возможность остроты метода прогноза климатической изменчивости на сверхдолгосрочный период (до 20—30 лет).

В настоящий момент успешно продолжается работа по созданию метода детализации фонового метеорологического прогноза с естественным внутригодовым стадиям развития ожидаемого макропроцесса, изучению структуры общей циркуляции атмосферы и характера ее многолетней изменчивости.

Научный багаж коллектива отдела состоит из многочисленных сборников трудов ААНИИ и монографий. Его сотрудники были постоянными участниками внутригосударственных и межгосударственных симпозиумов и совещаний по проблеме макрометеорологии.

Мы располагаем на предстоящий длительный период четко разработанным планом по дальнейшему развитию и совершенствованию макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей. При этом приоритет отдается вопросам изучения интенсивности развития составляющих длинной термобарической волны, взаимодействию процессов в обоих полушариях, получения количественных характеристик атмосферных процессов, объективизирующих методы их анализа, расчленения на стадии различного временного масштаба, использованию всех средств изучения атмосферных процессов (синоптических, математических, климатических и др.) для получения более широкого комплекса закономерностей изучаемой среды, имеющих прогностическое значение.

В заключение следует отметить, что за истекшие годы коллектив отдела долгосрочных метеорологических прогнозов проде-

лал большую научно-исследовательскую работу по изучению атмосферной циркуляции и построению метода долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности для полярных областей. Кроме того, отдел выполнял большую и важную работу по составлению различных долгосрочных прогнозов с целью обеспечения нужд народного хозяйства нашей страны.

Положительные результаты всей этой работы свидетельствуют о правильности и перспективности макроциркуляционного направления исследований.

Поступила 19.01.94 г.

ПОЛЯРНАЯ ГЕОФИЗИКА В ААНИИ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННЫЙ СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ

Введение. Фундаментальная проблема изучения природы полярных областей Земли не может быть решена без всесторонних исследований геофизических процессов в высоких широтах, оказывающих заметное влияние на весь ход атмосферных процессов в этих регионах Земли. Характерная геофизическая особенность высоких широт — полярные сияния — с давних пор привлекали особое внимание философов и ученых, они стали как бы «фирменным знаком» Арктики и Антарктики. Разнообразие видимых форм полярных сияний и характера их движения, их связь с другими природными явлениями на «макушках» нашей планеты и до настоящего времени являются предметом пристального изучения ученых многих стран мира.

Задачи безопасного обеспечения мореплавания в высоких широтах поставили проблему тщательного изучения вариаций магнитного поля в этих районах, поскольку магнитный компас был и остается самым надежным навигационным прибором любого судоводителя, особенно вблизи геомагнитных полюсов.

Интенсивное внедрение радиосредств в практику деятельности человека выявило ряд принципиальных трудностей использования этой техники в высоких широтах, что определило необходимость серьезного изучения высокоширотной ионосферы. Использование искусственных спутников Земли не сняло этой проблемы, а лишь подчеркнуло важность исследования физических процессов в магнитосфере и ионосфере полярных регионов нашей планеты. Естественно, что решение этих проблем требовало создания оригинальных специализированных технических средств наблюдения за полярными геофизическими явлениями.

Интенсивное промышленное и транспортное освоение арктического региона России, начавшееся в 30-е годы нашего столетия, потребовало оперативного решения проблем освоения полярного региона, примыкающего к северу к территории России. Важно отметить, что по протяженности этот регион очень велик: он занимает 10 часовых поясов от Кольского полуострова до Берингова пролива. Таким образом, задача изучения полярных геофизических явлений в России становилась уже не региональной, а глобальной проблемой, что предопределило важность и жизненную необходимость международного сотрудничества ученых в деле освоения природы Арктики.

С вышеперечисленными проблемами связаны место и роль геофизических исследований в таком комплексном научно-исследовательском институте, каким был задуман и каким стал Арктический научно-исследовательский институт. В его составе отдел

геофизики является одним из самых первых самостоятельных подразделений. В 1939 г. отдел геофизики выделился из отдела метеорологии и с тех пор неизменно находится в числе важнейших подразделений института. Его задачей стало исследование геомагнитного поля, ионосферы и условий распространения радиоволн (на первом этапе также полярных сияний и космических лучей) в полярных регионах Земли. В 1952 г. по специальному правительственному постановлению в отделе геофизики была образована лаборатория по изучению условий распространения радиоволн, призванная решать задачи разработки специально наблюдательской техники для изучения условий распространения радиоволн. В 1977 г. усилиями сотрудников отдела геофизики с помощью Росгидромета в институте под эгидой отдела геофизики была создана экспериментально-наблюдательская геофизическая станция «Горьковская». Тем самым отдел геофизики получил современную экспериментальную базу для испытания новых образцов наблюдательской техники.

Основным направлением работы отдела геофизики за все эти годы был натурный эксперимент, т. е. сбор экспериментальных данных по полярной геофизике, их анализ и обобщение. Базой для получения таких данных является сеть геофизических наблюдений. На этой основе разрабатывались научные концепции, физические основы прогнозирования и диагностики геофизических возмущений, модели этих возмущений, а также прикладные научно-методические разработки. Наряду с созданием новых образцов наблюдательской техники все это является основной научной продукцией отдела, которая получила широкое признание в отечественных и международных научных кругах.

В разные годы отдел геофизики ААНИИ возглавляли кандидаты географических наук М. Е. Острекин, доктора физико-математических наук А. П. Никольский и В. М. Дриацкий, кандидат физико-математических наук А. В. Широчков, доктор физико-математических наук О. А. Трошичев.

Геомагнитные наблюдения. Первой практической задачей, поставленной в Арктике перед магнитологами, была необходимость составления магнитных карт Арктического бассейна, жизненно необходимых для безопасного мореплавания в этих районах. До 1917 г. постоянные магнитные наблюдения в Арктике не проводились. Только в 1923 г. в проливе Маточкин Шар (Новая Земля) была организована первая отечественная постоянно действующая геомагнитная обсерватория, в то время — самая северная в мире. В период Второго Международного полярного года (1932/33 г.) к ним добавились магнитные обсерватории в бухте Тихой (Земля Франца-Иосифа) и на о-ве Диксон. Первую зиму в бухте Тихой провел в качестве магнитолога А. П. Никольский, его сменил будущий академик и глава Роскомгидромета Е. К. Федоров. Эти обсерватории работали под научным и методическим руководством Арктического института.

В центральной части Арктического бассейна геомагнитные наблюдения были впервые проведены на дрейфующей станции «Северный полюс-1» (Е. К. Федоров), в период дрейфа ледокола Г. Седов» в 1937—1940 гг. (В. Х. Буйницкий) и в 1941 г. в районе полюса относительной недоступности (М. Е. Острекин). Результатом этих наблюдений стали составленные в Арктическом институте магнитные карты евразийского сектора Арктики на эпохи 1940 и 1945 гг., а затем с использованием новых наблюдений, а эпохи 1950 и 1955 гг. В те годы это были уникальные навигационные пособия, не имевшие аналогов в мире.

Дальнейшее развитие геомагнитных исследований в Арктике связано с работой дрейфующих станций «Северный полюс», а также открытием в период Международного геофизического года (1956/57 г.) новых геомагнитных арктических обсерваторий (бухта Тикси, мыс Челюскин, о-в Хейса, Уэлен и т. д.). В период МГГ были начаты геомагнитные исследования в Антарктиде (обсерватория Мирный и станция Восток, позднее АМЦ Молодежная и станция Новолазаревская). К 70-м годам достижения магнитологов ААНИИ выглядели достаточно впечатляюще. А. П. Никольский развил представление о спиральности изохрон максимумов утренних магнитных возмущений и показал существование второй зоны максимума магнитных возмущений, расположенной приполюсной области и характерной для летних месяцев. Им же обнаружена зависимость интенсивности утренних, дневных и ночных возмущений от географического положения пункта наблюдения. Эти исследования приблизили фундаментальное открытие полярной геофизике — существование аврорального овала.

Впервые было обнаружено и доказано влияние толщи океана на вариации Z-компоненты геомагнитного поля (эффект Жигалова). Построены синоптические карты магнитной активности разных сезонов и времени суток для эпох максимума и минимума солнечной активности (Л. Н. Жигалов и Н. Н. Жигалова). Обнаружен «береговой эффект» в геомагнитных вариациях (П. К. Сенько). Начаты работы по исследованию магнитной сопряженности вариациях геомагнитного поля (Н. А. Миляев и Б. С. Моисеев). Проведены исследования природы «гигантских» микропульсаций геомагнитного поля РС-5 (А. И. Оль). Определены и районированы локальные аномалии геомагнитного поля в центральной части Арктического бассейна (Н. А. Миляев и Р. М. Галкин).

Все эти исследования были проведены на оригинальной магнитометрической аппаратуре, разработанной в ААНИИ под руководством Д. А. Низяева. При анализе геомагнитных данных, полученных в антарктической обсерватории Восток, сотрудником ЗМИРАН С. М. Мансуровым был впервые в мире обнаружен эффект непосредственной связи межпланетного магнитного и геомагнитного полей. Успешному развитию геомагнитных наблюдений в ААНИИ способствовала подготовка высококвалифицированных полевых наблюдателей, обеспечивающих получение переклассного научного материала в трудных экспедиционных усло-

виях Арктики и Антарктики. Здесь следует отметить В. Г. Белоусова, А. Ф. Малолеткина, А. Н. Носова, Б. П. Решетова, Н. П. Ярыша, Л. Т. Метляева, Ю. О. Латова, В. П. Серова, М. Г. Гудкова и многих других.

В 80—90-е годы в ААНИИ получили развитие исследования ориентированные на изучение физики магнитосферных процессов и связанных с ними геомагнитных явлений. С учетом характера распределения магнитных станций в Арктике и Антарктике геомагнитные исследования проводились по двум направлениям.

1. Изучение связи геофизических процессов в полярных шапках с параметрами солнечного ветра и возможности прогнозирования магнитосферных суббурь.

2. Исследование тонкой структуры и динамики геофизических процессов в авроральной зоне.

Основным достижением, полученным Б. Г. Андресеном, О. А. Трошичевым в рамках первого направления, является разработка метода расчета по магнитным данным одной околополюсной станции (Восток в южном полушарии или Туле — в северном полушарии) специального диагностического индекса *PC*, характеризующего глобальное состояние магнитосферы. В последние годы издано два каталога *PC* индексов (один в Москве, другой в Боулдере — США), охватывающие период от 1977 до 1993 г. В настоящее время *PC* индекс широко признан мировой научной общенностью как один из наиболее информативных диагностических индексов, свидетельством чему является включение его в перечень оперативных характеристик, используемых в ряде спутниковых проектов.

По данным наблюдений за полярными сияниями на станции Восток М. Г. Гусевым и О. А. Трошичевым была изучена морфология и физика специфических форм сияний, наблюдающихся в полярных шапках только в периоды северной ориентации межпланетного поля. Результаты этих исследований позволили авторам сделать вывод о замкнутой структуре магнитосферы в периоды продолжительного воздействия северного ММП. Была установлена зависимость характера распределения дуг сияний в полярной шапке не только от азимутальной и радиальной компонент ММП, но также и от типа его секторной структуры. Изучение одновременных наблюдений сияний на станции Восток и измерения выпадающих частиц на спутнике «*DMSP*» показало, что спектр частиц (ионов и электронов) в сияниях полярной шапки имеет такой же характер, как и в сияниях ночного овала, что позволяет судить об источнике частиц, формирующих эти сияния.

Данные измерений выпадающих частиц, полученные на американских спутниках серии «*DMSP*» и японском спутнике «*EXOS-D*», были использованы Е. М. Шишкиной и О. А. Трошичевым для изучения особенностей электронных и ионных вторжений в области аврорального овала и полярной шапки. В итоге эти исследования были развиты метод идентификации границы полярной шапки по характеристикам выпадающих ионов. В 1994

ААНИИ было разработано и подготовлено для внедрения программное обеспечение автоматического определения границ полярной шапки по спутниковым данным. С использованием этого алгоритма по данным спутниковых измерений высыпающихся частиц на спутнике «EXOS-D» и данным о РС индексе была выведена статистическая зависимость диаметра полярной шапки и разности потенциалов в полярной шапке от величины РС индекса. Этот результат открывает возможность мониторинга столь важного диагностического параметра, как разность потенциалов и размер полярной шапки по данным магнитных измерений в одной наземной точке, такой как станция Восток в Антарктиде.

С использованием спутниковых измерений высыпающихся частиц была исследована также структура дневного каспа (Е. М. Шишкина, Б. Д. Болотинская и О. А. Трошичев) и ее изменения под влиянием межпланетного магнитного поля (А. С. Бесрозванная, Т. И. Щука). Развита соответствующая эмпирическая модель структуры дневного каспа.

Одним из наиболее важных результатов, полученных в рамках второго направления, является разработка метода и расчет электрических полей и токов, генерируемых в высокоширотной ионосфере продольными электрическими токами магнитосферного происхождения, и разработка эмпирической модели продольных магнитосферных токов как функции вертикальной и северной компонент межпланетного магнитного поля (В. А. Гизлер, О. А. Трошичев). Другим важным результатом явился метод определения структуры ионосферных токов, ответственных за возмущения в авроральной зоне с использованием данных меридиональных цепочек магнитных станций (Б. Д. Болотинская, А. Л. Котиков). Использование этого метода позволило обнаружить развитие слоистой структуры электроджетов во время суббури и их связь с авроральным поглощением и полярными сияниями (А. Л. Котиков, О. А. Трошичев, А. В. Франк-Каменецкий, Е. М. Шишкина). С использованием спутниковых измерений высыпающихся частиц были проведены расчеты распределения ионосферной проводимости в авроральной зоне во время суббури и показано, что западные струи ионосферных токов соответствуют зонам повышенной проводимости (А. Л. Котиков, Е. М. Шишкина). По данным меридиональных цепочек был рассчитан джоулев разогрев и диссипация энергии для разных фаз суббури при различной ориентации ММП.

Третьим результатом является разработка численной модели глобального распределения электрического потенциала в ионосфере обеих полусфер Земли. Отличительной особенностью модели является учет асимметрии между зимним и летним полушариями в распределении проводимости и продольных токов. Это позволяет корректно рассчитывать электрические поля не только для условий равноденствия, и продольных токов зон 1 и 2, но и для условий солнцестояния, когда полярные шапки находятся в совершенно различных сезонных условиях, и для асимметричных продоль-

ных токов, контролируемых B_y компонентой ММП (В. М. Уваров Р. Ю. Лукьянова).

Наряду с научными исследованиями в отделе геофизики проводилась большая работа по разработке новой магнитометрической аппаратуры. Эта работа была начата Ю. О. Латовым, продолжена В. П. Серовым и успешно завершена под руководством А. В. Франк-Каменецкого. Разработанные цифровые магнитовариационные станции установлены и успешно работают в обсерваториях Диксон и Тикси.

В ближайшем будущем планируется установка цифровых магнитовариационных станций на сети полярных станций Росгидромета с целью создания базы для развития системы мониторинга полярной ионосферы.

Ионосферные исследования. Первые отечественные нерегулярные исследования полярной ионосферы и условий распространения радиоволн через эту среду были проведены в период Второго Международного Полярного года (1932/33 г.). Эти наблюдения представляли собой инструментальное количественное измерение напряженности поля, создаваемого удаленными радиопередатчиками. Позднее этот метод в несколько усовершенствованной форме получил международное обозначение как метод АЗ измерения поглощения в ионосфере. Пионером этих исследований был Б. Ф. Архангельский, работавший в бухте Тихой (Земля Франца Иосифа). Эти наблюдения наглядно показали, что авроральные явления (появление полярных сияний и возмущения геомагнитного поля) значительно ухудшают качество радиосвязи. Нерегулярный характер появления и высокая интенсивность этих явлений определили необходимость проведения регулярных ионосферных наблюдений в высоких широтах. По этой причине один из первых вертикальных ионозондов в России был установлен именно в Арктике (бухта Тихая — 1939 г.). Позднее подобные ионозонды были установлены в бухте Тихой (1944 г.), а также в Мурманске (Лопарская), на о-ве Диксон и мысе Шмидта (1950—1955 гг.). Ионосферные наблюдения в этих пунктах обеспечивали сотрудники Арктического института В. М. Дриацкий, Б. Ф. Архангельский, Г. Н. Егоров, Л. П. Куперов, Ф. Я. Заборщиков.

Важнейшие вехи развития ионосферных исследований в Российской Арктике неразрывно связаны с сотрудниками Арктического института (впоследствии Арктического и антарктического НИИ). Можно отметить следующие этапы.

1954—1955 г. Первые регулярные наблюдения по вертикальному зондированию ионосферы в течение года на дрейфующей станции «Северный полюс-3». Вся траектория дрейфа льдины пролегла в диапазоне инвариантных широт, превышающих 80° . На одном из участков дрейфа станция прошла в нескольких километрах от точки географического полюса. Фактически это были первые в мире регулярные наблюдения приполюсной ионосферы.

1956 г. Начало регулярных наблюдений по вертикальному зондированию на антарктических станциях Мирный и Восто

Позднее такие же наблюдения были организованы на станции Молодежной (1972 г.).

1959—1961 гг. Первые эксперименты по зондированию ионосферы с самолета (в Арктике и Антарктике). Разработчик ионзонда и экспериментатор — В. Б. Смирнов.

1963—1964 гг. Организация в Арктике и Антарктике сети наблюдений за поглощением космического радиоизлучения в нижней ионосфере (риометрические наблюдения).

1963 г. Впервые в России осуществлено регулярное наклонное зондирование на скользящей частоте в диапазоне 3,5—27,5 МГц на радиотрассе Ленинград—Мурманск.

1969—1975 гг. Создание отечественной сети радиотрасс наклонного зондирования ионосферы в Арктике, Антарктике, а также в среднеширотной части России.

1977 г. Создание постоянно действующей научно-исследовательской геофизической станции в составе ААНИИ с полным циклом зондирования ионосферы.

За выполнением этих этапов стоит самоотверженный труд нескольких поколений исследователей ионосферы — сотрудников ААНИИ. Многие этапы этого пути выводили ученых ААНИИ на передовые позиции в исследовании физики высокоширотной ионосферы в мире. Здесь в первую очередь необходимо отметить уникальный опыт и годичный цикл зондирования ионосферы в области полярной шапки (на станции «Северный полюс-3»). Подобных наблюдений в таком полном объеме никто не проводил до Международного Геофизического года (1956/57 г.). Отечественная сеть риометрических наблюдений в 70-е годы была самой разветвленной в мире, и ее данные позволили получить результаты глобального характера.

На научных данных, полученных в ходе наблюдений за высокоширотной ионосферой, выросло несколько поколений исследователей, широко известных у нас в стране и за рубежом. Исследователи физики ионосферы в ААНИИ решили ряд крупномасштабных проблем, имеющих важное научное и практическое значение.

— Проведены фундаментальные исследования физики, морфологии и природы аномального поглощения радиоволн в ионосфере высоких широт. Эти исследования получили заслуженное мировое признание.

— Исследована морфология и природа крупномасштабных структурных особенностей верхней высокоширотной ионосферы обоих полушарий Земли. Составлены карты распределения электронной концентрации в слое F для различных уровней солнечной и геомагнитной активности.

— Подробно исследованы закономерности распределения спорадической ионизации в слое E высокоширотной ионосферы различных видов. Построены карты распределения E_s в высоких широтах для различной солнечной и магнитной активности.

— Впервые подробно исследованы общие закономерности поведения ионосферы в приполюсных областях. Был сделан важный вывод о различной природе аномальной ионизации в ионосфере приполюсных областей и аврорального овала.

— Проведены исследования природы и динамики регулярного поглощения радиоволн в высокоширотной ионосфере.

— Проведены исследования природы и динамики главного ионосферного провала — одной из важнейших структурных особенностей высокоширотной ионосферы.

— Выполнен ряд основополагающих работ по физике взаимодействия солнечных космических лучей с высокоширотной ионосферой.

— Создана современная научно-методическая база интерпретации данных ионосферных измерений методами вертикального зондирования, риометрических наблюдений, поглощения радиоволн методом $A1$, наклонного зондирования ионосферы.

— Решен ряд важных вопросов физики магнитосферно-ионосферного взаимодействия.

Все эти и другие проблемы были решены в трудах исследователей физики ионосферы В. М. Дриацкого, Г. Н. Горбушиной, Ф. Я. Заборщикова, А. С. Беспрозванной, Т. И. Шуки, Н. И. Федякиной, В. М. Лукашкина, А. В. Широкова, В. А. Ульева, А. В. Франк-Каменецкого, Ч. Л. Ходжа-Ахмедова, В. С. Игнатова. В отделе геофизики была создана группа опытных интерпретаторов сложных высокоширотных ионограмм, куда в разные годы входили Л. И. Коровина, В. С. Боровикова, М. С. Сидорова, И. М. Зборовская, М. А. Дубатовка. Отличное качество полевых наблюдений обеспечивали И. И. Петров, О. Е. Змачинский, И. Х. Кучуберия, О. Н. Струин, Ю. Г. Иванов, Ю. И. Корнеев, М. С. Кошурко.

В 80-ые годы в исследованиях ионосферы в АНИИ стало активно развиваться новое направление — моделирование ионосферы. Таким образом, был начат качественно новый этап в изучении высокоширотной ионосферы. У истоков этого направления стояли Л. Н. Макарова, В. М. Уваров, Т. М. Крупицкая, А. В. Широков, С. А. Мауритс. В отделе была создана высокоширотная часть охватывающая область замкнутых силовых геомагнитных линий глобальной модели СМИ-88, принятой в нашей стране в виде ГОСТа. Были разработаны также две версии теоретической модели высокоширотной ионосферы, успешно описывающей крупномасштабные структурные особенности высокоширотной ионосферы.

Особо следует выделить цикл работ, выполненных на протяжении 70—90-х годов, посвященных влиянию ионосферно-магнитосферных возмущений на нейтральную атмосферу высоких широт. Эти работы в основном носили неплановый, инициативный характер и в них были получены впечатляющие результаты. Особо внимания заслуживает цикл работ А. И. Оля по разработке метода долгосрочного прогноза уровня солнечной активности путем анализа долговременных рядов геомагнитных наблюдений.

Большое внимание в работах А. С. Беспрозванной, Т. И. Шуки совместно с Б. И. Сазоновым было уделено влиянию потоков высокоэнергичных частиц солнечного и магнитосферного происхождения на процессы в нейтральной атмосфере. Несколько позже эта же тематика была отражена в работах А. В. Широчкова, Л. Н. Макаровой, С. А. Мауритса и В. А. Ульева. В последние годы в отделе начаты работы по влиянию вариаций динамического давления солнечного ветра на состояние нейтральной атмосферы высоких широт. Несомненно, что этот аспект солнечно-земной физики имеет хорошие перспективы для плодотворного исследования.

Исследования условий распространения радиоволн. Технические аспекты исследования ионосферы. Как указывалось выше, отечественные исследования полярной ионосферы начались именно с изучения условий распространения радиоволн в период Второго Международного полярного года (1932/33 г.).

С появлением первых вертикальных ионозондов в Арктике наступил новый этап изучения условий распространения радиоволн (1938—1949 гг.). Этот период отмечен интенсивным развитием коротковолновой (КВ) радиосвязи, появлением крупных радиоцентров с магистральными радиoliniями, работающими круглоосуточно. Возникла необходимость построения синоптических карт состояния ионосферы и составления на их основе радиопрогнозов различной заблаговременности.

Выбор оптимального диапазона частот радиосвязи стал еще более актуальным с внедрением быстродействующих систем связи, необходимостью поддержания связи с подвижными объектами, перемещающимися с большой скоростью. В этот период в ААНИИ ежегодно составлялись и издавались справочники по выбору рабочих частот КВ радиосвязи для арктических магистральных радиотрасс. Эту работу вели В. М. Дриацкий, Л. П. Куперов, С. Н. Горбушина, Г. Н. Егоров. Развитие работ в Антарктике поставило вопрос об изучении условий радиосвязи между Россией и Антарктикой, т. е. на трансэкваториальных радиотрассах.

Широкое развитие получил метод радиокомпарирования, т. е. количественная оценка напряженности поля удаленных радиопередатчиков. Большой вклад в эти исследования внес Л. П. Куперов. Наряду с этим проводились исследования уровня пурговых и других радиопомех в Арктике, что было крайне важно для определения оптимальной энергетики радиосвязи (В. С. Игнатов).

Принципиально важным был этап учета аномального поглощения радиоволн в высоких широтах. Это стало возможным после организации сети рнотрических измерений в Арктике и Антарктике. Эта работа, начатая Ф. Я. Заборщиковым, была продолжена под руководством В. М. Дриацкого и В. Б. Смирнова. Комплексное использование данных всех имеющихся измерений ионосферы в высоких широтах позволило создать современную инструкцию по расчету КВ радиолний в высоких широтах (В. М. Дриацкий, Г. Н. Горбушина и Е. М. Жулина).

Заметным этапом в исследованиях новых видов радиосвязи в высоких широтах, проводимых специалистами ААНИИ, стали работы по изучению распространения коротких и ультракоротких радиоволн методом рассеяния в ионосфере (УКВ ИР). Эти работы, осуществленные в 1960—1970 гг., завершились практическим созданием и сдачей в постоянную эксплуатацию радиолинии между о-вом Диксон и бухтой Тикси, действующей в обоих направлениях. Этот вид связи оказался наиболее эффективным в периоды авроральных возмущений. Данные работы проводились при активном участии В. С. Игнатова и А. В. Широкова. Исследования условий распространения сверхдлинноволновых радиосигналов в Арктике были проведены Н. И. Федякиной.

Наиболее важным достижением отдела геофизики явилось создание аппаратуры и метода наклонного зондирования ионосферы на скользкой частоте в диапазоне 3,5—27,5 МГц. Эта разработка явилась пионерской в нашей стране и сразу же выдвинула отдел геофизики ААНИИ на ведущее место в отечественных высокоширотных исследованиях условий распространения радиоволн. Необходимо отметить, что первые опыты по наклонному зондированию высокоширотной ионосферы были проведены в ААНИИ еще в 50-е годы Ф. Я. Заборщиковым. В создание современного комплекса аппаратуры наклонного зондирования ионосферы наибольший вклад внесли В. М. Дриацкий, В. Б. Смирнов, А. В. Кондрашов, Ч. Л. Ходжа-Ахмедов, В. Я. Вовк, В. М. Выставной, И. Н. Костерин и другие сотрудники отдела.

Практическим с нулевой отметки в отделе была создана методика интерпретации и анализа ионограмм наклонного зондирования ионосферы высоких широт и развернут обширный цикл исследовательских работ на базе материалов наблюдений по наклонному зондированию. Впервые были выполнены исследования модовой структуры радиоволны, распространяющейся в ионосфере. При этом выявлено большое количество аномальных мод, обусловленных сложным характером структуры высокоширотной ионосферы. В сотрудничестве со специалистами ИЗМИРАН было проведено моделирование модовой структуры КВ радиосигналов на сверхдлинных (более 10000 км) радиотрассах. Активное участие в проведении этих исследований принимали В. М. Лукашкин, Ч. Л. Ходжа-Ахмедов, В. Я. Вовк, В. М. Выставной, Л. В. Егорова.

Естественно, что наклонное зондирование ионосферы, способное определить фактический диапазон частот для осуществления радиосвязи в данный конкретный момент, является незаменимым методом для центров управления радиосвязью, загоризонтной радиолокацией и т. д. Данные наблюдений по наклонному зондированию являются важным инструментом для реальной оценки и тестирования всех существующих моделей ионосферы и распространения радиоволн. В последние годы начаты работы по разработке методов, алгоритмов и программного обеспечения для

исленного моделирования высокоширотных КВ радиоканалов, которые успешно ведет Т. Д. Борисова.

В 80-е годы в отделе геофизики АНИИ начаты исследования о изучению влияния антропогенных воздействий различного происхождения на ионосферу. Новый вид исследований потребовал создания современной диагностической аппаратуры, обладающей высоким пространственным и временным разрешением. Был разработан и создан многоканальный цифровой приемно-регистрационный КВ доплеровский комплекс, позволяющий с высоким временным разрешением (единицы секунд) проводить наблюдения одновременно на восьми радиотрассах. В создание и внедрение того комплекса внесли значительный вклад А. Д. Андреев, Э. И. Комолов, Г. Н. Когтев. На основе использования многоканального КВ доплеровского комплекса в период 1988—1994 гг. проведен цикл уникальных экспериментов по модификации ионосферы мощным КВ радиоизлучением и выбросами плазмообразующих составов, включая эксперименты по международному проекту *CRRES* (Н. Ф. Благовещенская, В. А. Корниенко, А. Д. Андреев, В. М. Выставной, Г. Н. Когтев, В. М. Боровский, М. В. Крысов).

По данным проведенных экспериментальных исследований Н. Ф. Благовещенской, В. А. Колосовым, В. А. Корниенко выполнен цикл научных работ по изучению геофизических явлений, инициированных экспериментами по модификации ионосферы.становлено, что выбросы плазмообразующих составов на высотах 400—500 км, т. е. выше высоты максимума слоя F2 ионосферы, вызывают возмущения в ионосфере, распространяющиеся вдоль силовых линий геомагнитного поля, на которых произведена инжекция, а также инициируют вторичные геофизические эффекты, аналогичные наблюдавшимся при выбросах на высотах 10—160 км. Наиболее интересной особенностью, обнаруженной в нагревных экспериментах, являлось возбуждение мощным КВ радиоизлучением мелкомасштабных волновых процессов в ионосфере в зимний период с периодами, лежащими в диапазоне магнитных пульсаций *РС 3—4*.

Многоканальные доплеровские наблюдения в сочетании с натонным зондированием ионосферы успешно использовались также для изучения естественных возмущений в высокоширотной ионосфере. Необходимо отметить целенаправленные судовые и арктические исследования тонкой структуры и динамических процессов в ночной авроральной зоне в периоды магнитосферных суббурь, а также в околополуденные часы в области клефта/каска. Результаты этих исследований приведены в работах Н. Ф. Благовещенской, В. Я. Вовка, Л. В. Егоровой.

Несколько лет назад научно-технический центр «Юпитер» в тесном сотрудничестве со специалистами отдела геофизики АНИИ изготовил опытный образец цифрового ионозонда многоцелевого назначения нового поколения «Бизон», который по своим техническим характеристикам не уступает лучшим зарубежным

аналогам. Ионозонд «Бизон» обеспечивает работу в стандартном сетевом режиме снятия ионограмм, а также в исследовательском режиме, позволяющим проводить амплитудные, доплеровские и угловые измерения. Испытания ионозонда «Бизон» в различных режимах зондирования (вертикальное, наклонное и наклонное обратное рассеяние) проводились в 1993/94 г. на научно-исследовательской станции ААНИИ «Горьковская». Результаты испытаний свидетельствуют о высокой эффективности нового ионозонда как в стандартном сетевом, так и исследовательском режимах, а также о его пригодности к длительной эксплуатации в сложных условиях высокоширотных геофизических станций. В настоящее время изготовлены два комплекта ионозонда и еще два находятся в процессе изготовления для установки на обсерваториях в Арктике. В 1994 г. был установлен ионозонд и началась его эксплуатация в обсерватории Диксон в сетевом режиме вертикального и наклонного зондирования ионосферы. Создание и внедрение ионозонда «Бизон» проводилось при активном участии О. А. Трошичева, А. В. Широчкова, Н. Ф. Благовещенской, В. Я. Вовка, Г. Н. Когтева, В. В. Рябова.

С начала 1994 г. начаты регулярные экспериментальные исследования неоднородной структуры высокоширотной ионосферы с помощью ионозонда «Бизон», установленного на нис «Горьковская», в режиме наклонного обратного рассеяния (НОР). Использование ионозонда в режиме НОР позволяет проводить диагностику ионосферы на дальностях до 2000 км севернее Санкт-Петербурга в интервале инвариантных широт $\Phi = 56 - 74$, что дает возможность оценить динамику (во времени и пространстве) полюсной стенки главного ионосферного провала, детально исследовать проявления авроральных суббурь в E и F областях высокоширотной ионосферы, а также волновые процессы в ионосфере различных масштабов. Активное участие в проведении экспериментальных исследований, а также в обработке, анализе и интерпретации данных принимают Н. Ф. Благовещенская, В. Я. Вовк, Г. Н. Когтев, В. М. Боровский, В. В. Рябов, И. В. Москвин и М. В. Крылов.

Перспективы развития геофизических исследований в Арктике в современных условиях. Геофизические исследования в Арктике в современном понимании были начаты в 30-е годы и наиболее интенсивно развивались в 1980—1990 гг. Основной целью этих исследований была разработка методов диагностики и прогноза магнитоионосферных возмущений в высоких широтах. Как известно, полярная ионосфера и геомагнитное поле в высоких широтах испытывают регулярные возмущения как результат взаимодействия магнитосферы Земли с солнечным ветром. Магнитоионосферные возмущения, по некоторым своим эффектам в авроральной зоне сопоставимые с эффектами ядерных взрывов, критическим образом влияют на связанные и радиолокационные системы и могут полностью парализовать их работу. В последние годы усиленно развивались также исследования, направленные на диагности-

искусственных возмущений в ионосфере Земли. В новых экономических условиях необходимость сохранения и развития геофизических исследований в Арктике будет определяться актуальными задачами хозяйственного освоения Севера. Основными из них являются следующие.

— Оценка факторов опасности воздействия гелиогеофизических возмущений на энергетические, транспортные и коммуникационные системы и методы компенсации этих воздействий.

— Геофизическое обеспечение Северного морского пути.

Воздействие гелиогеофизических возмущений на энергетические и коммуникационные системы. В периоды магнитных возмущений, возникающих в высоких широтах, в ионосфере на высотах 100 км развивается специфическая система токов. Максимальная интенсивность этих токов (сотни и даже тысячи ампер) имеет место в авроральной зоне — кольцевом поясе шириной 600—700 км, проходящем на широтах 65—75° в Сибири и 46—60° в Северной Америке. Под воздействием быстро меняющихся ионосферных токов на поверхности Земли индуцируются флуктуирующие электрические поля, а в подстилающей поверхности — мощные индуцированные токи с амплитудой до сотен ампер.

Инженерные сооружения, электрически связанные с подстилающей поверхностью, становятся частью электрической цепи, создаваемой индуцированными токами. В результате этого в протяженных проводящих коммуникационных системах могут возникать следующие дефекты:

— неправильное и несанкционированное срабатывание устройств релейной защиты и системной автоматики;

— выход из строя силовых и измерительных трансформаторов;

— появление значительного отрицательного потенциала в системе защиты магистральных трубопроводов от электрохимической коррозии, приводящие соответственно к ускоренному старению трубопроводов.

В связи с широким развитием и усложнением энергетических систем за последние 20—30 лет существенно возросли масштабы неблагоприятных технических, экономических и экологических последствий воздействия высокоширотных геомагнитных возмущений в мировой энергетике. Серьезные нарушения и аварии в энергосистемах США, Канады и Скандинавии имели место в 1940, 1957—58, 1960, 1967—68, 1972, 1978 гг. Самый значительный ущерб был нанесен в 1989 и 1991 гг., когда имели место катастрофическая авария в энергосистеме провинции Квебек (Канада) и выход из строя мощных трансформаторов на атомных электростанциях США.

Систематические целевые исследования воздействия геомагнитных возмущений на коммуникационные системы проводятся рубежом в течение 25 лет. Выполняются обширные фундаментальные теоретические и прикладные исследования, координируемые рабочей группой по геомагнитным нарушениям в энергосистемах в рамках Американского института электро- и радиотехни-

ров и Комитетом № 36 СИГРЗ. По состоянию на 1990 г. мониторингом воздействия охвачено 84 электроподстанции и несколько батарей статических компенсаторов и реакторов.

В России подобные целевые исследования практически не ведутся, хотя те же проблемы обязательно возникнут в ходе промышленного освоения Севера и продвижения энергетических транспортных и коммуникационных систем в авроральные широты.

Геофизическое обеспечение Северного морского пути. Надежное функционирование Северного морского пути будет связано с бесперебойной работой средств связи и авиации. Негативное влияние магнитоионосферных возмущений на эти сферы человеческой деятельности трудно оценить в полной мере в связи с недостаточной изученностью вопроса. Однако приблизительная оценка потерь может быть получена из следующих примеров:

— согласно экспертным оценкам Минсвязи, потери из-за недостаточного учета влияния внешней среды на распространение радиоволн составляли в 1989 г. в расчете только на один 100-киловаттный передатчик 27,5 тыс. руб. в месяц, что в целом по стране дало около 100 млн. руб. в год в ценах 1989 г.;

— из 12 крупнейших авиакатастроф с числом жертв более 220 человек (перечень, приведенный агентством Рейтер) 10 произошли во время сильных магнитных возмущений;

— во время сильных магнитных возмущений в связи с поляризацией геостационарных спутников перестают функционировать спутниковые системы связи.

Концепция геофизического мониторинга в Арктике. Таким образом, для предотвращения отрицательных последствий магнитосферно-ионосферных возмущений необходима информация о состоянии и характере изменений в полярной ионосфере и магнитосфере. Однако характер физических процессов в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера изучен недостаточно, и, как правило, только на качественном уровне. Сильная изменчивость параметров солнечного ветра, генерирующего магнитосферные возмущения, и нелинейный характер системы солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера предопределяет невозможность надежного прогноза состояния полярной ионосферы. В связи с этим проблема получения адекватной информации о состоянии полярной ионосферы решается во всем мире путем создания систем мониторинга, т. е. автоматизированных систем наблюдения, сбора, обработки и анализа геофизической информации.

В свете изложенных выше проблем в основу программы предупреждения опасного воздействия гелиогеофизических возмущений на энергетические и коммуникационные системы в Арктике и геофизического обеспечения Северного морского пути может быть положена концепция геофизического мониторинга, развитая в отделе геофизики ААНИИ, суть которой излагается ниже.

Принимая во внимание твердо установленные общие закономерности поведения крупномасштабных образований в полях

ой ионосфере и особенности географического положения суши Арктическом бассейне, целесообразно иметь в системе мониторинга широтную цепочку обсерваторий для диагностики долготной протяженности зон возмущений и меридиональную цепочку для диагностики широтной структуры этих зон. Оба элемента этой системы (широтная и долготная цепочки) уже существуют. Широтная цепочка состоит из геофизических обсерваторий: Мурманск (ПГИ АН), Норильск (ИСЗФ, г. Иркутск), мыс Шмидта (ИКИР АН) и обсерваторий Росгидромета; Амдерма, Диксон, мыс Челюскин, о-в Преображения, Тикси, Уэлен. В меридиональную цепочку входят станции Росгидромета: о-в Хейса, о-в Визе, о-в Уединения, о-в Извежий, Сопочная Карга.

Вся первичная информация из сети арктических геофизических станций должна собираться в региональном Арктическом геофизическом центре. Туда же должна поступать соответствующая информация из других радиофизических комплексов, независимо от их ведомственной принадлежности, осуществляющих зондирование ионосферы в данном регионе. Целью сбора информации в региональном центре является оперативная обработка обширного объема первичных данных (примерно 50 Мб в сутки по региону). На основании анализа этих данных с привлечением различной дополнительной информации (характеристики солнечной активности, спутниковая информация, данные международных геофизических проектов) Региональный Арктический центр будет оперативно вычислять ряд высокоинформативных индексов, характеризующих геофизическую ситуацию в различных частях региона.

Проблемы мониторинга и методы их разрешения. Первая проблема — модернизация аппаратуры. Вся указанная выше сеть станций использует в течение многих лет устаревшую аналоговую аппаратуру, непригодную для оперативного сбора данных. Следовательно, необходимо переоснащение сети новой современной аппаратурой с регистрацией данных на магниточитаемых носителях.

В целях решения этой проблемы в ААНИИ был разработан и ныне запущен в производство цифровой магнитометрический комплекс «Арктика». Первый образец «Арктики» уже установлен и спешно работает в обсерватории Диксон с конца 1993 г. В 1995 г. будет выпущено 10 экземпляров «Арктики». Для их установки на станциях сети необходимы персональные компьютеры. Кроме того, по ТЗ ААНИИ создан цифровой ионозонд «Бизон», первый экземпляр которого также установлен в обсерватории Диксон.

В 1995 г. будут произведены еще три экземпляра «Бизона», которые предполагается поставить на станции Ловозеро, о-ве Хейса в Амдерме. Таким образом, задача технического перевооружения геофизических станций арктического региона может быть решена уже в 1995 г. при условии соответствующего финансирования производственных и экспедиционных расходов. Вторая проблема — оперативный сбор первичной информации в региональных центрах, для чего необходимы спутниковые (или иные) каналы связи, обеспечивающие надежную передачу данных вне зависимости от

состояния ионосферы. Эта задача требует наибольшего внимания, поскольку она не решалась до сих пор.

Третья проблема — разработка научного обоснования, методов алгоритмов и программ анализа поступающей информации — частично решена, частично решается (ААНИИ, ПГИ, СибИЗМИР, ИКФИА).

Четвертая проблема — создание Регионального Арктического центра геофизической информации. Этот центр следует развернуть в ААНИИ при уже существующем центре ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ). При этом на первой стадии могут быть использованы существующие каналы связи ЦЛГМИ (в том числе спутниковые) с арктическими регионами и Москвой.

Поступила 1.02.95 г.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ СТРАН

В настоящей работе подводятся некоторые итоги по истории исследований природных условий Арктики и Антарктики, которые осуществлялись сотрудниками отдела географии полярных стран на различных этапах организационно-структурных преобразований института.

АРКТИКА

Российская Арктика, являющаяся северной окраиной государства, занимает площадь около 2,5 млн. км². Она обладает богатыми минерально-сырьевыми, биологическими и другими природными ресурсами. Вдоль ее побережья проходит важнейшая транспортная магистраль — Северный морской путь. С учетом большого интереса, проявляемого к нему со стороны международного сообщества, в недалеком будущем следует ожидать более интенсивного экономического освоения арктического побережья всего региона в целом.

Географические исследования Российской Арктики в широком временном масштабе начались до XII в., когда новгородцы проходили в низовья реки Печоры. В XV—XVI вв. русские промышленники на деревянных судах ходили из Белого моря на Шпицберген, Новую Землю и на восток до устьев рек Оби и Енисея. В середине XVII в. русские мореплаватели открыли устья всех сибирских рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, а экспедиция Ф. Алексеева и С. И. Дежнева достигла крайней восточной оконечности Азии. Великая Северная экспедиция (1733—1743 гг.), состоявшая из многих отрядов, описала и нанесла на карту северные берега Европы и Азии от Белого моря до устья реки Колымы, обследовала Охотское море, Камчатку, Сибирь. В. Беринг, Д. Я. Лаптев и Х. П. Лаптев, В. Прончищев, Д. Стерегов, С. Г. Малыгин, Ф. А. Минин, А. И. Чириков, П. Лассиниус, В. Муравьев, Д. Л. Овцын, М. Павлов, А. Скуратов и др.).

В первой половине XIX в. активно велось изучение Новой Земли (Лудлов, Г. Поспелов, А. П. Лазарев, Ф. П. Литке, П. К. Пахусов, К. М. Бэр, А. К. Циволька, С. Моисеев), начались исследования Новосибирских островов (М. М. Геденштром, П. Ф. Анжу), в конце XIX в. помимо этого архипелага исследовалась Северная Якутия (А. А. Бунге, Э. В. Толль, И. Д. Черский), Чукотка (Г. Л. Майдель), были открыты о-в Врангеля, архипелаг Де-Лонга, изучалось побережье Охотского моря (К. И. Богданович). На рубеже XIX—XX вв. состоялись научные исследования п-ова Таймыр, Новосибирских островов и о-ва Беннетта (Э. В. Толль), совместно со шведскими учеными проведены измерения дуги меридиана.

диана на Шпицбергене, где также выполнен обширный комплекс географических исследований (Ф. Н. Чернышев).

В начале XX в. продолжалось изучение Европейского Севера, включая Новую Землю, Землю Франца-Иосифа, о-ва Колгуев, о-ва Вайгач (Б. М. Житков, С. А. Бутурлин, А. А. Борисов, В. А. Русанов, Г. Я. Седов и др.), а также Полярного Урала (Н. Н. Кузнецов и Г. Г. Кузнецов) и п-ова Ямал (Б. М. Житков). Тогда же проводились топографические съемки и географические исследования низовьев реки Хатанги, Лено-Колымского и Чукотского побережий (И. П. Толмачев, К. А. Воллосович, А. И. Неелов и др.), геолого-географические исследования на Шпицбергене (В. А. Русанов, Р. Л. Самойлович), общегеографические — на Камчатке (В. Л. Комаров, П. Ю. Шмидт и др.).

Крупнейшие географические работы в Арктике в начале XX в. были выполнены Гидрографической экспедицией Северного Ледовитого океана (1910—1915 гг.), руководимой вначале И. С. Сергеевым, а затем Б. А. Вилькицким. Экспедиция располагала двумя специально построенными судами ледокольного типа, радиосвязью, новейшими для того времени научными приборами и оборудованием. Она произвела съемку берегов Сибири от мыса Дежнева до мыса Челюскин, сомкнув ее с ранними съемками западного побережья Сибири и Европейского севера, сделала описание островов Медвежьих, Большого и Малого Ляховских, Столбового, Васильевского, Семеновского, Бегичева, Беннетта, обследовала о-в Врангеля, открыла о-в Жохова.

Важнейшим географическим результатом этой экспедиции является открытие в 1913 г. архипелага Земли Николая I (с 1926 г. — Северная Земля) и опись общих очертаний части ее восточного и южного побережий. Кроме выполнения своих главных работ — картографических и гидрографических — экспедиция провела обширные исследования по океанографии и ледовому режиму северных морей, гидробиологии, метеорологии, аэрологии, магнетизму, а также собрала богатые геологическую, зоологическую и ботаническую коллекции, сохранившие свое научное значение до наших дней.

В последующие годы отдельные географические наблюдения в Арктике проводились попутно в многочисленных гидрографических экспедициях на островах и побережье главным образом Европейского севера. Планомерное начало научных исследований было положено созданной в 1920 г. Северной научно-промысловой экспедицией, отряды которой интенсивно работали на Кольском полуострове, в Печорском крае, на Новой Земле, но и в эти работы преобладали исследования, носившие народнохозяйственную направленность — поиски и разведка полезных ископаемых, изучение рыбных и зверобойных промыслов. В 1925 г. Северная научно-промысловая экспедиция была преобразована в Научно-исследовательский институт по изучению Севера с общегеографическим отделом в своем составе, а на основе этого института в 1930 г. был организован Всесоюзный Арктический институт.

(ВАИ). Отрывочные географические наблюдения велись также в специализированных и комплексных экспедициях Плавучего морского научного института, Российского гидрологического института, Полярной и Якутской комиссиями Академии наук СССР.

Начиная с 1921 г., почти ежегодно проводились экспедиционные исследования Новой Земли (Г. В. Горбачкий, М. М. Ермолаев, В. К. Есипов, А. И. Зубков и др.), сыгравшие значительную роль в географическом изучении и промысловом освоении этого региона. Во время первых зимовок на о-ве Врангеля (Г. А. Ушаков, 1926—1929 гг.) и Северной Земле (Г. А. Ушаков и Н. Н. Урванцев, 1930—1932 гг.) были впервые составлены карты этих островов и выполнен ряд наблюдений, на основании которых получены общие представления о природе и ресурсах изучаемых территорий. В 20—30-х годах состоялись экспедиции на Землю Франца-Иосифа, во время работы которых изучалось оледенение и геоморфология архипелага (Т. Н. Спизарский). Серьезные картографические, геоморфологические и геомагнитные материалы были собраны в 1929—1930 гг. геоморфологическим отрядом Якутской комиссии АН СССР, проводившим его исследования в бассейне реки Колымы (С. В. Обручев, К. А. Салищев). Накапливались общегеографические материалы, получаемые попутно в коммерческих транспортных Карских экспедициях (операциях), Калымских рейсах и Ленских экспедициях и рейсах, проводимых с начала века до 1940 г.

В исследованиях Арктики большую роль играла авиация. После первого арктического полета Я. И. Нагурского (1914 г.) состоялись полеты для ледовой разведки в Карском море Б. Г. Чухновского, О. А. Кальвица, М. С. Бабушкина (1924—1926 гг.). В 1926 г. Р. Амундсен и Л. Элсуэрт на двух гидросамолетах, пилотируемых Я. Рисер-Ларсеном и Дитриксеном, пытались совершить трансарктический перелет со Шпицбергена, но после неудачной посадки в разводе между морскими льдами севернее 87° с. ш. на одном самолете вернулись на базу. В том же году Р. Бэрд и Ф. Беннетт на самолете достигли полюса и благополучно вернулись из беспосадочного полета на Шпицберген. С той же шпицбергенской базы Кингсбей летом 1926 г. стартовал дирижабль «Норвегия-1» с Р. Амундсеном и У. Нобиле на борту. Дирижабль пересек Северный Ледовитый океан, пролетел над полюсом и приземлился на Аляске.

Следующий полет дирижабля в Арктике закончился трагически. Экспедиция на дирижабле «Италия» под руководством У. Нобиле в 1928 г. вылетела со Шпицбергена, пролетела над землей Франца-Иосифа и достигла полюса. На обратном пути произошла катастрофа, при попытке спасения участников экспедиции разбился на самолете Р. Амундсен. В разведывательных и поисковых полетах участвовали летчики Б. Г. Чухновский и А. С. Бабушкин.

Серьезной научной воздушной экспедицией был полет интернациональной группы ученых, в которую входил Р. Л. Самойло-

вич, и воздухоплателей на дирижабле «Граф Цеппелин» в 1931 г. В беспосадочном полете, начиная от Ленинграда, над Землей Франца-Иосифа, Северной Землей, п-овом Таймыр и Новой Землей выполнялись аэрофотосъемка, аэрологические и геомагнитные наблюдения.

Героические авиационные операции по спасению челюскинцев, беспосадочные трансконтинентальные и трансполярные перелеты В. С. Молокова, С. А. Леваневского, В. П. Чкалова и М. М. Громова, беспримерная организация на полярных дрейфующих льдах научной станции «Северный полюс» (И. Д. Папанин, П. П. Ширшов, Е. К. Федоров, Э. Т. Кренкель), осуществленная в 1937 г. при помощи переоборудованных военных самолетов, явились апофеозом деятельности российской полярной авиации. В последующие годы и до настоящего времени редкие полярные экспедиции обходятся без авиационной поддержки. Самолеты и вертолеты широко применяются не только для транспортно-грузовых перевозок, но и для выполнения научных исследований как с воздуха (дистанционные), так и путем десантирования научных групп в труднодоступных местах.

Базами для выполнявшихся географических исследований служили созданные ранее и создаваемые в 20—30-х годах научные полярные станции на о-ве Врангеля (1926 г.), о-ве Большой Ляховский (1928 г.), в бухте Тихой на Земле Франца-Иосифа (1929 г.), на о-ве Домашнем в архипелаге Северная Земля (1930 г.), мысе Желания на Новой Земле (1931), мысе Челюскин на п-ове Таймыр (1932 г.), мысе Шмидта (1932 г.), в бухте Тикси (1932) и др. В дальнейшем сеть станций быстро расширялась и к 1957 г. в Российской Арктике постоянно работали 103 научные станции.

В первом сквозном плавании Северным морским путем с запада на восток л/п «А. Сибиряков» (1932 г.) участвовали ученые Всесоюзного Арктического института О. Ю. Шмидт, В. Ю. Визе, П. П. Ширшов, Я. Я. Гаккель, А. Ф. Лактионов. В этом плавании были открыты в Карском море острова Сидорова, Известий ЦИК выполнен большой комплекс наблюдений по гидрологии, гидробиологии, метеорологии и геофизике. В известной полярной эпопее парохода «Челюскин» (1933/34 г.), закончившейся гибелью судна и дрейфом на морских льдах участников экспедиции, вели научные наблюдения сотрудники этого института П. П. Ширшов, Я. Я. Гаккель, П. К. Хмызников, Н. Н. Шпаковский, В. С. Стаханов, П. Г. Лобза.

С организацией в 1932 г. Главного управления Северного морского пути все научные работы в Арктике ориентировались на решение практических потребностей мореплавания и изучение минеральных ресурсов, экспедиции снаряжались в основном с гидрографическими, гидрологическими, геологическими и промысловыми целями, географические исследования носили эпизодический характер и обычно ограничивались открытием и описанием мелких островов. Гидрографическое управление Главсевморпути, со

зданное в 1933 г. на базе гидрографического отдела Всесоюзного Арктического института, в 1932—1938 гг. вело интенсивные топографические работы на островах, в узкой прибрежной зоне морей и на судоходных участках низовьев рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. Топографическая изученность Арктики к 1940 г. составила 13 % при общей изученности СССР к 1938 г. 18,1 %. На все изученные территории были составлены карты разных масштабов, в 1938 г. вышла «Обзорная географическая карта Севера СССР» в масштабе 1 : 25 000 000, а в 1939—1940 гг. — карты «Советская Арктика и Субарктика» в масштабе 1 : 6 000 000 и «Физическая карта Арктики» в масштабе 1 : 10 000 000.

В 1938 г. Всесоюзный Арктический институт был преобразован в Арктический научно-исследовательский институт (АНИИ) Главсевморпути, однако сколько-нибудь серьезных физико-географических работ в Арктике в эти и последующие годы, вплоть до окончания Второй мировой войны, не велось. Многочисленные экспедиции института выполняли почти исключительно гидрографические работы и гидрометеорологические исследования.

В 1939 г. на базе промыслово-биологического отдела института был создан при Главсевморпути Научно-исследовательский институт полярного земледелия, животноводства и промыслового хозяйства. Предполагалось создать отдел материковых льдов в составе геологического отделения института, но в 1948 г. оно было слито с научно-исследовательским отделом Горно-геологического управления Главсевморпути и образован Научно-исследовательский институт геологии Арктики.

Только в 1945 г. в АНИИ было организовано отделение географии и истории Арктики (руководитель А. Ф. Лактионов). Созданию географического структурного подразделения способствовало, надо полагать, и то обстоятельство, что научными работами в институте наряду с опытными полярными исследователями руководили широко образованные ученые. Председателем Ученого Совета института являлся В. Ю. Визе, а в число членов Совета в течение многих лет входил известный географ Л. С. Берг. Несколькими поколениями отечественных географов хорошо известны комплексные междисциплинарные и исключительно географические труды этих ученых, в частности, историко-географическая монография В. Ю. Визе «Моря Советской Арктики» и работы Л. С. Берга о ландшафтах зоны тундр и ледяной зоны северного олушария.

Отделение вскоре было преобразовано в отдел географии и истории, и с 1947 г. по 1965 г. им руководили известный полярный исследователь Я. Я. Гаккель, а потом историк М. И. Белов (1966—1969 гг.). Я. Я. Гаккель, на протяжении 18 лет руководивший отделом, внес крупный вклад в географию Арктики. Он участвовал и выполнял научные наблюдения в первом сквозном плавании по Северному морскому пути на ледокольном пароходе «А. Сибиряков» в 1932 г. и в историческом плавании и дрейфе архода «Челюскин» в 1933/34 г.

Затем Я. Я. Гаккель руководил и участвовал во многих арктических экспедициях, в том числе и в первой высокоширотной экспедиции на дрейфующих льдах в 1948 г., когда научные группы охватили гидрометеорологической и геофизической съемкой большую часть центральной части Арктического бассейна. С его именем связано выдающееся событие в географической науке XX в. — открытие хребта Ломоносова в Северном Ледовитом океане, в котором Я. Я. Гаккель участвовал лично (первые батиметрические измерения) и теоретически обосновал результаты последовавших массовых наблюдений батиметрии и геоморфологии дна Северного Ледовитого океана. Он составил первую реальную карту, на которой выделил новые подводные геоморфологические элементы и морфоструктуры — хребты, изометрические поднятия и впадины. Я. Я. Гаккель предсказал существование в Северном Ледовитом океане подводных хребтов Менделеева и Срединно-океанического, названного затем его именем. Он обобщил разрозненные сведения о проявлениях древнего и современного вулканизма на хребте Ломоносова, связал их с сейсмической деятельностью и наметил линию огромного меридионального глубинного разлома в земной коре, проходящего через полюс.

Следует отметить большую работу группы историков, возглавляемой М. И. Беловым, в которую в разные годы входили Д. М. Пинхенсон, Н. И. Башмурина, Т. А. Алимова, Е. В. Травина и В. В. Кузнецова. В течение нескольких десятилетий ими создана «История открытия и освоения Северного морского пути», охватившая период исследований Северного Ледовитого океана и прилегающей континентальной территории Российской Арктики с древнейших времен до 1945 г. Один том этого капитального труда написан Д. М. Пинхенсоном, три — М. И. Беловым. Ему же принадлежит инициатива и личное участие в историко-археологических изысканиях древнего сибирского городища Мангазеи, открывших науке один из центров культуры и цивилизации XVI—XVII вв. на Российском Севере.

В связи с активным вовлечением АНИИ в период Международного геофизического года (МГГ) 1957/58 г. в исследованиях Антарктики он был назван в 1958 г. Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (ААНИИ). В нем было создано сначала антарктическое отделение, вскоре преобразованное в отдел антарктических исследований, просуществовавший до 1970 г. Антарктическими исследованиями в эти годы руководили М. М. Сомов, А. Ф. Трешников, М. Е. Острекин и Е. С. Короткевич. Начавшаяся подготовка двухтомного (картографического и текстового) Атласа Антарктики послужила основанием открытия в отделе сектора Атласа Антарктики. Начальником сектора до 1966 г. являлся Е. С. Короткевич, а после выхода из печати первого (картографического) тома Атласа сектор возглавлял (1966—1970 гг.) В. Г. Аверьянов, занимавшийся составлением редактированием второго (текстового) тома Атласа Антарктики.

В 1970 г. произошло объединение отдела антарктических ис

следований с отделом географии и истории в единый отдел географии полярных стран, которым последовательно руководили Е. С. Короткевич (1970—1978 гг.) и В. Н. Петров (1980—1993 гг.), а с 1993 г. отделом заведует Л. М. Саватюгин. В состав отдела с 1970 г. по 1978 г. входил сектор антарктических исследований во главе с П. К. Сенько. Сектор занимался организацией и координацией научных исследований в Антарктике, проводимых многочисленными институтами и ведомствами страны.

Претерпев столь существенные структурные изменения, отдел географии не менял главного направления исследований, заключавшегося в комплексном изучении физической географии Арктики, а затем и Антарктики. До начала МГГ проводились экспедиционные исследования природы главным образом крупных арктических архипелагов. В 1947 г. работала комплексная экспедиция на южном острове Новой Земли, руководимая Г. В. Горбачким, а в 1948 г. на архипелаге провел географические наблюдения Е. С. Короткевич. Затем во время МГГ изучением гляциологии и гидрометеорологии Новой Земли занимался Институт географии Академии наук СССР, а потом, как известно, с созданием на архипелаге ядерного полигона этот регион на долгие годы был закрыт.

Земля Франца-Иосифа, представляющая собой массу островов, покрытых ледниками, в течение многих лет привлекала внимание не только географов, но и гляциологов. П. А. Шумский в 1949 г. издал сводную работу о современном оледенении Советской Арктики, в которой он собрал, обобщил, систематизировал и проанализировал все имевшиеся к тому времени гляциологические материалы. После этого он выполнил уникальные экспедиционные исследования оледенения Земли Франца-Иосифа (1947/48 г., 1951/52 г.). Опубликованная им в 1955 г. капитальная монография «Основы структурного ледоведения» стала классическим гляциологическим трудом и до сих пор является настольным пособием гляциологов во многих странах.

В последующие годы на ледниковом куполе о-ва Гукера (1957 г.) и на ледниках других островов архипелага (1960—1962, 1981 гг.) работали экспедиции отдела географии под руководством и при участии гляциолога Л. С. Говорухи и географа И. М. Симонова. В 1948 г. Землю Франца-Иосифа посетил Е. С. Короткевич, собиравший материалы по ландшафтной характеристике Арктики. В 1961 и 1963 гг. Л. С. Говоруха выполнял структурно-гляциологические исследования и снегомерные съемки на ледниковых куполах островов Виктория и Ушакова.

Первым полярным географом, проводившим исследования на Северной Земле, был Е. С. Короткевич (1948 г.). Тогда же он посетил п-ов Таймыр, архипелаг Норденшельда, о-в Уединения и о-в Визе. В 1950 г. Е. С. Короткевич вместе с И. В. Семеновым продолжил изучение ландшафтов Северной Земли. Позднее на Северной Земле работала специализированная гляциологическая

экспедиция, в состав которой входили П. А. Шумский, В. Б. Иванов и Л. Д. Долгушин. Изучение оледенения Северной Земли было продолжено в 1962, 1963 и 1965 гг. экспедициями под руководством Л. С. Говорухи. Он же в 1975 г. организовал Североземельский гляциологический стационар «Купол Вавилова», который с 1978 г. по 1989 г. работал круглогодично. Стационаром в разные годы руководили Л. С. Говоруха, В. М. Макеев, А. А. Мордвинов и И. М. Симонов; на базе стационара летом выполнялись комплексные физико-географические исследования архипелага. В 1990 г. на Северной Земле работала комплексная географическая экспедиция (Д. Ю. Большианов), в 1993 г. на архипелаге в составе русско-канадской экспедиции работали Л. М. Саватюгин и В. Ю. Потапенко.

Физико-географические исследования Новосибирских островов начал в 1947 г. Е. С. Короткевич, изучавший четвертичную историю и ландшафты о-ва Котельного. Под его руководством в 1954 г. на архипелаге работала группа географов и биологов (В. Г. Аверьянов, Г. Л. Рутилевский и С. М. Успенский), занимавшаяся разработкой методики физико-географических исследований с использованием вертолета. Эта группа являлась физико-географическим отрядом высокоширотной экспедиции «Север-6», она посетила острова Бельковский, Котельный, Фаддеевский и Землю Бунге. Изучение о-ва Котельного продолжилось в 1956 г. (Ю. А. Кручинин), тогда же велись исследования оледенения и сбор образцов флоры на о-ве Беннетта (В. М. Картушин). Серия экспедиций на Новосибирские острова, руководимых Г. Л. Рутилевским, была проведена в 1958, 1960 и 1964 гг., в эти годы изучались ландшафты островов Фаддеевского и Новой Сибири. Архипелаг де-Лонга исследовался в 1987 г. (С. Р. Веркулич), 1989 г. (О. А. Гвоздик) и 1990 г. (М. А. Анисимов), когда велись гляциологические и геодезические наблюдения, связанные с изучением эволюции ледников, а также общегеографических вопросов на островах Беннетта и Жохова. Одна из последних географических экспедиций на арктические острова состоялась в 1989 г. на о-ов Колгуев (В. М. Макеев).

Экспедиционные исследования континентальной Арктики отдел географии начал в 1964 г. историко-археологической экспедицией на место древнего городища Мангазеи (руководитель М. И. Белов), раскопки которого продолжались и в последующие годы. А уже в 1966 г. началась серия географических экспедиций на п-ов Таймыр. В 1966 г. группа географов под руководством Г. Л. Рутилевского работала в восточной части п-ова Таймыр. В 1967 г. Л. С. Говоруха обнаружил в горах Бырранга ранее неизвестный очаг оледенения, в 1968 г. исследования велись вновь в восточной части п-ова Таймыр (В. М. Макеев). Экспедиции, которыми руководил Д. Ю. Большианов, исследовали в 1985/86 г. устьевую область реки Пясины, а в 1993 г. Д. Ю. Большианов в составе российско-германской экспедиции работал в центральной части п-ова Таймыр.

В течение трех лет велось физико-географическое изучение Ямало-Гыданской природной области: в 1970 г. на о-ве Белом исследовалось внутриландшафтное деление (Р. И. Юнак), в 1971 г. исследования ландшафтной морфологии и структуры, геоморфологии и гидрологии выполнялись на п-ове Ямал и п-ове Тазовском (В. М. Макеев), а в 1972 г. аналогичные работы А. А. Мордвинов провел на п-ове Гыдан, причем изучались все подзоны ямало-гыданской тундры. Физико-географические экспедиции работали в устьевой области реки Оби в 1977—1982 гг. и 1984 гг. (руководители В. М. Макеев, В. Б. Савин, Д. Ю. Большиянов). Исследования географии устьевых участков сибирских рек завершились в 1991 г. экспедицией в устьевую область реки Колымы (Д. Ю. Большиянов).

Непременной природной особенностью полярных стран является наличие обширных областей оледенения. Наземное оледенение в Российской Арктике характерно лишь для части арктических островов, наиболее крупных (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля) и нескольких небольших (Ушакова, Виктории, Де-Лонга). Группа маленьких ледников недавно открыта в горах Бырранга на п-ове Таймыр. Общая площадь ледников Российской Арктики составляет 56 805 км². Они занимают около 1/3 территории всех островов. Полностью отсутствуют ледники на о-вах Большом и Малом Ляховском, Анжу и Врангеля.

Глобальная роль ледников Российской Арктики невелика, их площадь составляет около 1/4 оледенения всей Арктики (без Гренландии), а полное таяние этих ледников повысило бы уровень Мирового океана только на 45 мм. Однако значительна их региональная роль в климатическом, воднобалансовом и иных отношениях. Оледенение уменьшается к востоку от Северной Атлантики, что связано с сокращением осадков и усилением континентальности климата в этом направлении. Этими же причинами обусловлена и асимметрия ледников, особенно заметная на Новой Земле и Северной Земле. Земля Франца-Иосифа покрыта ледниками на 82 %, на Новой Земле оледенение занимает 50,5 % площади северного острова и только 1,2 % южного, Северная Земля покрыта ледниками на 50 %. В горах Бырранга площадь ледников составляет 11,7 км², на островах Де-Лонга они занимают 77 км², а на островах Ушакова и Виктории покровы ледников составляют соответственно 325 и 11 км².

Измерения толщины ледников выполнены на Северной Земле, где мощность льда на некоторых островах достигает 1000 м, а средняя толщина по радиолокационным измерениям оценивается в 300 м. В других районах толщина ледников определялась главным образом косвенными геолого-геоморфологическими методами и составляет не более 300—450 м на Земле Франца-Иосифа и от 150 до 500—700 м на Новой Земле. Толщина горных ледников характеризуется значениями от 20—40 до 60—70 м. Скорости движения ледников изучены недостаточно. Известные составляют от нескольких десятков до 150—300 м в год, причем испытывают

сезонные колебания в связи с изменениями температуры льда. Ледниковые покровы на островах Российской Арктики ежегодно теряют 10—13 км³ льда. Этим выражается в последние десятилетия их общая тенденция к сокращению и отступанию.

Составлен каталог ледников Северной Земли и п-ова Таймыр, в котором дана оценка водных ресурсов ледников, выполненная на основе инструментальных измерений толщины льда.

Основные итоги исследований северной полярной области подведены в Атласе Арктики (1985 г.), в разработке программ, составлении и редактировании карт которого участвовали многие специалисты отдела географии полярных стран (заместители главного редактора Атласа Е. С. Короткевич, Ю. А. Кручинин, члены редакционной коллегии М. В. Александров, М. И. Белов, Е. В. Грешнова, Б. Н. Копылков, составители и редакторы карт Н. И. Башмурина, Л. С. Говоруха, В. В. Кузнецова, В. М. Макеев, Г. Л. Рутилевский, И. В. Семенов, Р. К. Сиско). Вся научно-организационная работа по созданию Атласа, в котором участвовало более 20 институтов и ведомств страны, выполнялась в отделе географии полярных стран.

Атлас Арктики (объем 102 печ. л. или 204 с.) включает 13 разделов. Это комплексное картографическое произведение, представляющее собой монографическое пособие по физической и экономической географии, геофизике и истории исследований северной полярной области, в котором основное внимание уделено характеристике арктической суши. Помимо карт, схем, диаграмм, графиков и таблиц, составляющих большую часть объема (152 с.), в нем также имеется текстовая часть (52 с.) с краткой характеристикой природных компонентов. Пояснительный текст дополняет картографическую часть Атласа сведениями, разъясняющими причины и физический смысл явлений или процессов, их взаимосвязь и взаимообусловленность в природе.

АНТАРКТИКА

Гениальное предвидение М. В. Ломоносова, высказанное им в 1761 г. о наличии в районе южного полюса обширной суши, покрытой «многими и несходящими снегами», было подтверждено открытием в 1820 г. в южном полушарии приполюсного материка Антарктиды, сделанным первой русской антарктической экспедицией Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева (1819—1821 гг.).

М. И. Белов обнаружил в архиве и опубликовал с комментариями отчетную карту экспедиции Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева 1819—1821 гг., закрепившую приоритет русских моряков и ученых в открытии Антарктиды.

При планировании и подготовке исследовательских работ Второго Международного полярного года (1932/33 гг.) Советский Союз предполагал направить в Антарктику экспедицию и создать научную станцию на о-ве Петра I. В связи с намечавшимся в 1931 г. плаванием в Антарктику китобойной флотилии «Алеут» Всесоюзный Арктический институт намеревался послать с ней

группу ученых, в том числе А. Ф. Лактионова. Однако эта экспедиция не состоялась ввиду отказа Южно-Африканского Союза предоставить советским судам топливо. В 1946 г. в Южный океан впервые была направлена китобойная флотилия «Слава», работавшая там затем многие годы. В составе флотилии было научно-исследовательское судно, выполнявшее биологические, гидрологические и метеорологические наблюдения.

Полномасштабные научные исследования южной полярной области, в которые активно включился Арктический научно-исследовательский институт, начались в процессе подготовки, а затем проведения Международного геофизического года (МГГ, 1957/58 гг.). Обладая большим опытом научно-организационной и исследовательской работы в Арктике, специалисты института непосредственно участвовали в подготовке и проведении экспедиций в Антарктику. Планы Первой экспедиции составлялись Е. С. Короткевичем, П. К. Сенько, В. Г. Аверьяновым и другими сотрудниками, которые затем руководили экспедиционными исследованиями.

М. М. Сомов возглавил Первую Советскую антарктическую экспедицию 1955—1957 гг., в которой Е. С. Короткевич руководил физико-географическим отрядом, а П. К. Сенько — геофизическим отрядом. В этом же отряде работал А. Д. Сытинский. Начальником Второй Советской антарктической экспедиции 1956—1958 гг. был А. Ф. Трешников; созданными в этой экспедиции внутриконтинентальными станциями Восток-1 и Восток руководил В. Г. Аверьянов.

Большинство последующих экспедиций (ныне Российская антарктическая экспедиция) возглавляли сотрудники ААНИИ, в том числе специалисты отделов антарктических исследований и географии полярных стран В. Г. Аверьянов, А. Н. Артемьев, И. И. Гербович, Л. И. Дубровин, Е. С. Короткевич, Л. М. Саватюгин, П. К. Сенько. Начальниками антарктических станций, научных отрядов и полевых баз руководили в разные годы В. Г. Аверьянов, А. Н. Артемьев, Н. И. Барков, Д. Ю. Большиянов, Н. Н. Ботников, С. Р. Веркулич, В. И. Гербович, Н. К. Дмитриев, И. И. Дубровин, Л. И. Ескин, В. Д. Клоков, А. М. Козловский, С. С. Короткевич, Ю. А. Кручинин, В. Г. Леденев, Е. Б. Леонтьев, Д. Назаров, В. Н. Петров, Л. М. Саватюгин, И. М. Симонов. Кроме того, в течение ряда лет в зимовочных и сезонных антарктических экспедициях работали специалисты отдела М. В. Александров, А. Н. Алехин, Л. С. Говоруха, А. М. Гусев, В. В. Евсеев, С. Иванов, В. М. Каменев, О. Л. Клементьев, Я. П. Кобленц, В. Коновалов, В. И. Куксов, В. Я. Липенков, В. А. Морев, В. Николенко, С. Л. Поляков, В. Ю. Потапенко, Л. М. Саватюгин, Л. И. Сухонослова, Л. С. Тарасов.

Сотрудники отдела участвовали также в международных экспедициях (Н. И. Барков, Л. С. Говоруха) и в антарктических экспедициях других государств (Н. И. Барков, В. Я. Липенков, Д. Назаров).

Институт до настоящего времени совместно с Институтом географии Российской Академии наук работает по двум крупным проблемам, поставленным перед антарктической экспедицией в первые годы ее деятельности: физико-географическое картирование и описание районов Антарктиды, современный ледниковый покров и его динамика. Тематика научно-исследовательских работ впоследствии дополнялась и расширялась. Отдел, а затем сектор антарктических исследований отдела географии полярных стран занимался планированием, организацией, координацией и руководством научной деятельностью Советской антарктической экспедиции. В его функции входили подбор научных кадров, разработка планов и общих научных программ очередных экспедиций, прием научных материалов, контроль за их обработкой и другие научно-оперативные работы, в частности, обобщение опыта научно-исследовательских работ в Антарктике и составление сводок по различным видам экспедиционных работ.

Значительное место в работе отдела занимала редакционно-издательская деятельность. В нем постоянно велась подготовка к изданию Трудов Советской антарктической экспедиции, в которых печатались отчеты и научные результаты очередных экспедиций, Информационного бюллетеня Советской антарктической экспедиции. На 1994 г. вышло из печати 89 томов Трудов и 117 выпусков Информационного бюллетеня Советской антарктической экспедиции.

Сектор Атласа Антарктики, являвшийся рабочим органом редакционной коллегии Атласа, подготовил и издал Атлас Антарктики в двух томах. Первый (картографический) том объемом 248 с. вышел в 1966 г., второй (текстовый) том объемом 82 печ. л. опубликован в 1969 г. В разработке программы Атласа и составлении карт участвовали около 20 институтов и ведомств страны. Заместителем главного редактора являлся Е. С. Короткевич, членами редакционной коллегии — М. И. Белов, Я. П. Кобленц, М. Е. Острекин, М. М. Сомов, А. Ф. Трешников, в составлении и редактировании карт участвовали специалисты отдела М. В. Александров, М. И. Белов, Н. И. Барков, Л. И. Дубровин, Л. И. Ескин, Я. П. Кобленц, Г. В. Коновалов, Е. С. Короткевич, В. В. Кунецова, В. Г. Леденев, В. Н. Петров.

Составлением и редактированием второго тома занимались Е. С. Короткевич и В. Г. Аверьянов. В этом томе помещены статьи специалистов отдела В. Г. Аверьянова, Н. И. Барков, М. И. Белова, М. С. Дмитриевой, Л. И. Ескина, Я. П. Кобленц, Г. В. Коновалова, Е. С. Короткевича, В. Г. Леденева, В. Н. Петрова.

Атлас Антарктики представляет собой комплексный географический труд, который впервые дал многостороннюю и подробную характеристику природных условий южной полярной области, краткую историю ее исследования. В первом томе содержится около 1000 разнообразных карт, графиков, разрезов, профилей, диаграмм, схем, таблиц и рисунков, составленных по материалам

наблюдений, выполненных в Антарктике всеми национальными экспедициями до 1963 г. Второй том является самостоятельным научным произведением, монографией о природе Антарктики и истории ее исследования. Помимо аналитического раскрытия материалов, приведенных в картографической части, в нем использовались и новые данные, не получившие отражения в первом томе.

Атлас Антарктики подвел итог знаниям природы южной полярной области на первом этапе ее научного изучения, со времени открытия Антарктиды до середины XX в. Этот этап характеризовался прежде всего географическими открытиями и заполнением «белых пятен» на картах Антарктиды, общим изучением открытых территорий, природных процессов и явлений. Он получил признание мировой научной общественности и был удостоен Государственной премии СССР.

После выхода в свет Атласа Антарктики начался новый этап планомерного и глубокого тематического и регионального изучения явлений и процессов, характерных для южной полярной области. В настоящее время в отделе географии полярных стран ведется подготовка к изданию нового Атласа Антарктики, в котором будут учтены и использованы материалы, полученные экспедициями различных государств до начала 90-х годов включительно.

Накопленное за последние десятилетия огромное количество данных наблюдений за различными элементами природы высоких широт обусловило возможность и необходимость их обобщения и издания развернутой характеристики полярных стран. Такая работа была выполнена Е. С. Короткевичем, имеющим почти полувековой опыт экспедиционных исследований Арктики и Антарктики. Он практически руководил в течение нескольких десятилетий географическими работами в институте и советскими исследованиями в Антарктике. В своей монографии «Полярные пустыни» (1972 г.), использовав личные наблюдения в многочисленных арктических и антарктических экспедициях, колоссальное количество русских и иностранных литературных источников и неопубликованные экспедиционные материалы института, Е. С. Короткевич обосновал выделение географических зон полярных пустынь Земли, дал характеристику основных особенностей их природы, выяснил и проанализировал причины сходства и различия арктических и антарктических пустынь. Особенное внимание в этой работе уделено характеру развития органической жизни на пределе возможности ее существования в максимально суровых внешних условиях.

В период МГГ и последующие годы многие сотрудники отдела географии работали в различных областях Антарктиды, изучая природные процессы и явления, а также комплексные географические и гляциологические характеристики отдельных антарктических регионов. Именно на материалах такого рода наблюдений 60—70-х годах были написаны несколько монографий. Первой из них была работа В. Г. Аверьянова «Центральная Антарктида» (1963 г.), содержащая физико-географическое описание

крайне труднодоступной, прежде практически неизвестной внутриконтинентальной области Антарктиды.

Многолетние исследования антарктического ледникового феномена — шельфовых ледников, занимающих площадь около 1,5 млн км², привели к созданию нескольких монографий, характеризующих ледники этого типа как свойственные главным образом южной полярной области. Первой такой работой была монография «Шельфовые ледники Земли Королевы Мод», написанная Ю. А. Кручининным (1965 г.). В ней рассмотрены физико-географические условия существования и развития шельфовых ледников, окаймляющих Землю Королевы Мод поясом длиной более 2000 км. Наиболее детально описываются процессы аккумуляции и абляции, а также метаморфизма в снежно-фирновой и ледяной толщах. Автор подтвердил, что накопление снега на обширных ровных пространствах шельфовых ледников, подверженных действию ветров одного направления и однородных осадков, соответствует количеству выпадающих осадков, отлагающихся равномерно. На основании анализа количества инфильтрационного льда в годовых слоях снежно-фирновой толщи ледники этого типа на Земле Королевы Мод отнесены к холодной фирновой зоне льдообразования. В работе сделан вывод о тенденции шельфовых ледников Земли Королевы Мод к отступанию за последние 150 лет.

Наиболее полная сводка об условиях существования шельфовых ледников, их морфологии, питании, внутреннем строении, тепловом режиме, движении и общей роли в развитии оледенения материка приведена в монографии Н. И. Баркова «Шельфовые ледники Антарктиды» (1971 г.). Сделав заключение, что современные климатические условия благоприятствуют существованию и развитию шельфовых ледников в Антарктиде, автор работы показывает, что они являются одной из макроформ ледникового покрова материка, а формы мезорельефа этих ледников образуются в результате действия деформационных, эоловых, абляционных и эрозионных процессов, что подтверждает разработанная им схема генетической типизации форм мезорельефа.

Л. М. Саватюгин в 1974—1976 гг. проанализировал динамическое воздействие океана на ледяные берега Антарктиды и пришел к выводу, что грандиозные отколы айсбергов от шельфовых ледников происходят под воздействием длинных барических волн и что их постоянному воздействию подвергается более половины всего побережья Антарктиды.

В течение ряда лет Л. И. Дубровин изучал ледяные берега Антарктиды, являющиеся зоной контакта и активного взаимодействия ледникового покрова с водами океана. В его монографии «Ледяные берега Антарктиды» (1989 г.) рассмотрены основные черты морфологии и морфометрии, факторы формирования и развития, изменчивость ледяных берегов, произведена их типизация по различным признакам, даны рекомендации для разработ

эффективных мер по защите от разрушения естественных и искусственных ледяных причалов.

Антарктические оазисы, представляющие собой свободные от льда участки материка, получили название по аналогии с оазисами тропических пустынь из-за резкого отличия их природы от окружающего ледникового покрова. Основной вклад в изучение оазисов Антарктиды внесли специалисты отдела географии Е. С. Короткевич, И. М. Симонов, Г. В. Коновалов, М. В. Александров, С. Р. Веркулич. В течение двух экспедиций Е. С. Короткевич проводил исследования в оазисах Вестфолль, Бангера, Грирсона, Ширмахера и других, расположенных на Земле Эндерби и Земле Королевы Мэри. Результаты этих исследований изложены им в Атласе Антарктики.

И. М. Симоновым опубликована монография «Оазисы Восточной Антарктиды» (1971 г.) с характеристикой всех природных элементов и типологической классификацией оазисов. Изучением горных районов занимался В. Г. Коновалов. Свои результаты исследований он опубликовал в работе «Гляцио-геоморфологическая характеристика западной части Восточной Антарктиды» (1971 г.). М. В. Александров в своей работе «Ландшафтная структура и картирование оазисов Земли Эндерби» (1985 г.) выявил совокупность составных частей и разработал типологию структурных единиц, составляющих оазисы, решив эту задачу в плане структурно-динамических аспектов ландшафтоведения. В настоящее время глубоким изучением четвертичной истории оазисов, частности оазиса Бангера, занимается С. Р. Веркулич.

Главными компонентами географической среды в Антарктиде являются климат и оледенение. Климатом обусловлено наличие леденения, но гигантский ледниковый покров обладает собственным климатом. Поэтому понятен интерес ученых к проблемам гляциоклиматологии, частично затронутых во всех рассмотренных выше работах, выполненных в отделе географии, а также специально посвященных этой проблеме.

Одним из важных вопросов является питание антарктического ледникового покрова атмосферными осадками, связанное с определением составной части бюджета массы ледникового покрова — прихода ледниковой массы. Монография В. Н. Петрова «Атмосферное питание ледникового покрова Антарктиды» (1975 г.) подвела итог деятельности отечественных и зарубежных гляциологов, изучавших способы определения величины накопления снега, его абсолютные величины, годовой ход, периодичность и пространственно-временную изменчивость.

Другой составляющей бюджета массы ледникового покрова — исходу льда — посвящена работа В. Д. Клокова «Таяние и жидкий сток с поверхности ледникового покрова Антарктиды» (1979 г.). В ней показано, что таяние льда происходит на периферии ледникового покрова. Общая площадь пояса таяния равна $5 + - 0,5$ млн км² или 25 % площади Антарктиды. Однако поверхностный сток талой воды в океан происходит только в узкой

полосе побережья с площади 92,5 тыс. км², и в общем объеме составляет 15+—3 км³ в год. В работе намечены пути решения задачи строительства на снежном покрове взлетно-посадочных полос для колесных самолетов.

Важнейшей частью гляциоклиматических исследований является вопрос взаимодействия нижнего слоя атмосферы и поверхности ледникового покрова. Анализ условий тепло- и влагообмена этих двух сред в Центральной Антарктиде выполнен в монографии А. Н. Артемьева «Взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности на антарктическом плато» (1976 г.). На основе комплекса метеорологических и теплофизических наблюдений, выполненных автором на внутриконтинентальной станции Восток, проанализированы физические процессы на контакте атмосферы и поверхности ледника, рассчитаны все составляющие теплового баланса поверхности.

Первым опытом наиболее полной количественной оценки теплового состояния ледникового покрова Антарктиды и его реакции на возможные в ближайшее время колебания климата планеты является монография В. Г. Аверьянова «Гляциоклиматология Антарктиды» (1990 г.). Ее основным содержанием является обстоятельная характеристика метеорологического режима приземного воздуха и анализ условий формирования снежного покрова, его строение и свойства, взаимовлияние приземной метеорологии и гляциологии деятельного слоя ледникового покрова. В работе показана ледниковая обусловленность климата Антарктиды и прочная связь климатического районирования с нивально-гляциальными комплексами покрова, использован новый подход к оценке дискомфорта природной среды жизнеобитания. Подробно характеризуются признаки, положение на местности и размеры зон льдообразования, приведены свидетельства климатической изменчивости положения границ основных гляциологических зон.

Одной из приоритетных задач мирового научного сообщества являются палеогеографические реконструкции истории глобальных климатических изменений в течение последних десятков и сотен тысяч лет. Наиболее информативными объектами таких исследований служат ледяные керны, извлекаемые из глубоких скважин, пробуренных в ледниковых покровах. На российской антарктической станции Восток, где толщина льда оценивается в 3700 м, его возраст в 800 тыс. лет, бурится скважина с непрерывным оборотом керна, глубина которой в 1993 г. достигла 2755 м. Руководство, организация и координация буровых работ и исследований керна осуществляется сотрудниками отдела географии полярных стран Н. И. Барковым и В. Я. Липенковым, причем последний лично участвует в экспедиционных и лабораторных исследованиях.

Исследования ледяного керна из скважины на станции Восток дали уникальный материал для понимания изменений окружающей среды, происходивших в Антарктике и в целом на всей Земле в течение последнего полного климатического цикла «ледни-

ковье-межледниковье». Изучение 2755-метровой колонки ледяного керна позволило восстановить длиннопериодные колебания температуры воздуха, концентрации «парниковых» газов (двуокись углерода и метан) и аэрозольных микрочастиц в атмосфере Земли, которые определяли глобальные климатические изменения на протяжении последних 260 тыс. лет. Получены свидетельства тесной связи между крупными климатическими изменениями и концентрацией в атмосфере ключевых «парниковых» газов, произведены оценки возможного воздействия последних на радиационный баланс поверхности. Временной ряд температуры, реконструированный по этому керну, является опорным для всей южной полярной области, а его глобальная значимость определяется корреляцией с изменениями уровня Мирового океана за счет колебаний объемов континентального льда — по данным анализа глубоководных океанических отложений.

Исследования керна со станции Восток проводятся в рамках Международной геосферно-биосферной программы и осуществляются в виде трехстороннего российско-франко-американского сотрудничества. Полученные результаты опубликованы в престижных международных изданиях (около 80 совместных статей и докладов) и получили высокую оценку международной научной общественности.

Сотрудники отдела С. Р. Веркулич и Д. Ю. Большиянов совместно с коллегами из Института полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (ФРГ) на протяжении нескольких лет проводят полевые и лабораторные исследования колонок озерных отложений из оазиса Бангера. Полученные данные вместе с результатами геоморфологического строения и наземных отложений позволили восстановить хронологическую последовательность изменений оледенения, климата, уровня моря, водных экосистем и биоты в этом районе Антарктиды на протяжении последних 10 тыс. лет.

Заметное место в деятельности гляциологов занимают работы прикладного характера как научно-технические, направленные на создание новой технической базы для гляциологических исследований, так и научно-теоретические, имеющие целью решение практических вопросов организации и проведения экспедиционных исследований в Антарктиде.

Глубокое бурение антарктического ледникового покрова и ледников в Арктике производится специальными электротепловыми уровнями снарядами, впервые разработанными сотрудниками отдела географии полярных стран ААНИИ Н. И. Барковым и А. Моревым. Предложенное Н. И. Барковым техническое средство для бурения льда методом протаивания положено Санкт-Петербургским горным институтом в основу техники и технологии бурения ледникового покрова Антарктиды, осуществляемого в сотрудничестве с ААНИИ.

Снег и лед в Антарктиде могут служить строительным материалом для возведения различных конструкций технического и

хозяйственного назначения. В отделе географии полярных стран (Л. М. Саватюгин, Л. И. Дубровин) проводились и продолжают исследования методов создания из снега и льда искусственных ледяных причалов на антарктическом побережье. Под руководством и при участии специалистов отдела проведена серия экспериментальных работ в районе станции Молодежной по проверке различных способов строительства причалов для экспедиционных судов.

Более 20 лет назад около станции Молодежной начались экспериментальные инженерно-гляциологические изыскания, имевшие целью разработку методики создания из снега взлетно-посадочной полосы для тяжелых колесных самолетов. В. Г. Аверьянов и В. Д. Клоков обосновали научные основы и предложили технологию строительства из снега прочного покрытия аэродрома лежащего на глубоком снегу. В сотрудничестве со специализированной проектной организацией, отделом географии полярных стран (В. Д. Назаров) и подразделениями Советской антарктической экспедиции такой уникальный аэродром на станции Молодежной был построен и с 1980 г. принимал самолеты ИЛ-18Д (взлетный вес 65 т), а с 1986 г. — самолеты ИЛ-76ТД (взлетный вес 170 т).

Все научно-технические и инженерно-гляциологические разработки сотрудников отдела географии полярных стран защищены 21 авторским свидетельством на изобретения.

Приведенный выше краткий обзор географических исследований полярных стран со всей очевидностью показывает необходимость дальнейшего глубокого и всестороннего познания многообразных и сложных процессов и явлений, слагающих природу Арктики и Антарктики.

Поступила 16.12.93 г.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ, ПОДГОТОВЛЕННЫЕ СОТРУДНИКАМИ, РАБОТАВШИМИ В РАЗНЫЕ ГОДЫ В ОТДЕЛЕ ГЕОГРАФИИ ПОЛЯРНЫХ СТРАН ААНИИ

1. Аверьянов В. Г. Гляциоклиматология Антарктиды. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 198 с.
2. Аверьянов В. Г. Центральная Антарктида (физико-географическая характеристика)//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1963. — Т. 30. — 147 с.
3. Аверьянов В. Г., Клоков В. Д. Инженерно-гляциологические предпосылки и технология строительства снежной ВПП в Антарктиде//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1975. — Т. 65. — С. 177—203.
4. Аверьянов В. Г., Клоков В. Д., Ключников Г. Я., Корокевич Е. С., Петров В. Н. Разработка научных основ и осуществление комплекса мероприятий по созданию в Антарктиде снежных взлетно-посадочных полос для колесных самолетов/25 лет Советской антарктической экспедиции. Л.: Гидрометеиздат, 1983. — С. 131—138.
5. Александров М. В. Ландшафтная структура и картирование оазисов Земли Эндерби. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 152 с.

6. Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра/Сб. статей. — Л.: Наука, 1979. — 206 с.
7. Артемьев А. Н. Взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности на антарктическом плато//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1976. — Т. 66. — 107 с.
8. Атлас Антарктики, т. 1. — М. — Л.: ГУГК, 1966. — 225 с.
9. Атлас Антарктики, т. 2. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 598 с.
10. Атлас Арктики. — М.: ГУГК, 1985. — 204 с.
11. Барков Н. И. Гляциологические исследования на Южном полюсе, уполе «С» и в районе залива Мак-Мердо в 1974—1976 гг./Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1980. — № 100. — С. 107—113.
12. Барков Н. И. Шельфовые ледники Антарктиды. — Л.: Гидрометеониздат, 1971. — 226 с.
13. Барков Н. И., Липенков В. Я. Количественная характеристика структуры льда в районе станции Восток до глубины 1400 м//Мат-лы гляциол. исслед. Хроника. Обсуждения. — 1984. — Вып. 51. — С. 178—186.
14. Барков Н. И., Короткевич Е. С., Петров В. Н. Этапы позднейшеоленового оледенения Антарктиды//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1991. — Вып. 61. — С. 289—296.
15. Барков Н. И., Большианов Д. Ю., Гвоздик О. А., Клементьев О. Л., Макеев В. М., Москаленко И. Г., Потапенко В. Ю., Фанк Р. И. Новые данные о строении и развитии ледника Вавилова на Южной Земле//Мат-лы гляциол. исслед. Хроника. Обсуждения. — 1992. — Вып. 75. — С. 35—41.
16. Белов М. И. Арктическое мореплавание с древнейших времен до середины XIX века/История открытия и освоения Северного морского пути. Т. I. — Л.: Морской транспорт, 1956. — 592 с.
17. Белов М. И. Советское арктическое мореплавание. 1917—1932 гг./История открытия и освоения Северного морского пути. Т. III. — Л.: Морской транспорт, 1959. — 510 с.
18. Белов М. И. Научное и хозяйственное освоение Советского Севера. 1933—1945 гг./История открытия и освоения Северного морского пути. Т. IV. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 616 с.
19. Веркулич С. Р., Крусанов А. Г., Анисимов М. А. Современное состояние и тенденции оледенения о-ва Беннетта за последние 40 лет//Мат-лы гляциол. исслед. Хроника. Обсуждения. — 1990. — Вып. 70. — С. 111—115.
20. Визе В. Ю. Моря Советской Арктики. Очерки по истории исследования. — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1948. — 415 с.
21. Гаккель Я. Я. За четверть века. Обзор деятельности Арктического института Главсевморпути за 25 лет (с 1920 по 1945 год). — М. — Л.: Изд-во Главсевморпути, 1945. — 109 с.
22. Гаккель Я. Я. Значение геофизических наблюдений за искусственными ледниками Земли в исследованиях полярных и субполярных областей//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1960. — Вып. 6. — С. 47—49.
23. Гаккель Я. Я. Материковый склон как географическая зона Северного Ледовитого океана//Изв. Всесоюз. географ. о-ва. — 1957. — Т. 89. — С. 493—507.
24. Гаккель Я. Я. Наука и освоение Арктики. К сорокалетию советских исследований. — Л.: Морской транспорт, 1957. — 133 с.
25. Гаккель Я. Я. Современные представления о хребте Ломоносова//Мат-лы по Арктике и Антарктике. — 1961. — Вып. 1. — С. 24—25.
26. Географические и гляциологические исследования в полярных странах/Под ред. Е. С. Короткевича и В. Н. Петрова. — Л.: Гидрометеониздат, 1988. — 100 с.
27. Гляциологические исследования в полярных странах//Тр. ААНИИ. — 1980. — Т. 294. — 195 с.
28. Говоруха Л. С. Современное наземное оледенение Советской Арктики. — Л.: Гидрометеониздат, 1989. — 256 с.
29. 25 лет Советской антарктической экспедиции/Под ред. Е. С. Короткевича и Л. И. Дубровина. — Л.: Гидрометеониздат, 1983. — 176 с.

30. Дубровин Л. И. Ледяные берега Антарктиды. — Л.: Гидрометеониздат, 1989. — 156 с.
31. Дубровин Л. И., Петров В. Н. Научные станции в Антарктике (1882—1963). — Л.: Гидрометеониздат, 1967. — 296 с.
32. Дубровин Л. И., Преображенская М. А. О ледяных причалах в Антарктике//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1984. — № 106. — С. 33—4.
33. Исследования ледникового покрова и перигляциала Северной Земли Тр. ААНИИ. — 1981. — Т. 367. — 170 с.
34. Каменев В. М. Заповедная Антарктика. — Л.: Знание, 1986. — 17.
35. Картушин В. М. Оледенение о-ва Бенета//Тр. ААНИИ. — 1965. — Т. 224. — С. 167—177.
36. Каталог ледников СССР, т. 16, вып. 1, ч. 1 (Северная Земля), ч. (горы Бырранга), ч. 7 (о-в Ушакова). — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 79 с.
37. Клоков В. Д. Таяние и жидкий сток с поверхности ледникового покрова Антарктиды. — Л.: Гидрометеониздат, 1979. — 127 с.
38. Кобленц Я. П. Современное состояние картографирования Антарктики//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1964. — Т. 31. — 138 с.
39. Коновалов Г. В. Гляцио-геоморфологическая характеристика западной части Восточной Антарктиды. — Л.: Гидрометеониздат, 1971. — 122 с.
40. Короткевич Е. С. Полярные пустыни. — Л.: Гидрометеониздат, 1972. — 420 с.
41. Короткевич Е. С. Антарктида в международных геофизических проектах/Метеорологические исследования в Антарктике, ч. 1. — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — С. 4—10.
42. Короткевич Е. С., Макеев В. М. Особенности развития природных условий в евразийской Арктике в позднем плейстоцене и голоцене//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1991. — Вып. 66. — С. 264—288.
43. Короткевич Е. С., Аверьянов В. Г., Кручинин Ю. А. Физико-географическое изучение Антарктиды//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1970. — Вып. 36—37. — С. 209—219.
44. Кручинин Ю. А. Шельфовые ледники Земли Королевы Мод. — Л.: Гидрометеониздат, 1965. — 180 с.
45. Лактионов А. Ф. Северный полюс. — М.: Морской транспорт, 1955. — 472 с.
46. Липенков В. Я. Образование и разложение гидратов воздуха в ледниковом льду//Мат-лы гляциол. исслед. Хроника. Обсуждения. — 1989. Вып. 65. — С. 58—64.
47. Макеев В. М., Питулько В. В. Новые данные о природных условиях в конце позднего плейстоцена — начале голоцена в высокоширотной азиатской Арктике и времени ее заселения древним человеком//Докл. АН СССР. — 1991. — Т. 319. — № 2. — С. 435—438.
48. Макеев В. М., Большиянов Д. Ю., Веркулич С. Р. Температура воздуха в голоцене/Климатический режим Арктики на рубеже XX—XXI вв. — Л.: Гидрометеониздат, 1991. — С. 160—169.
49. Назаров В. Д. Влияние температуры и плотности на прочность снежного покрова аэродрома АМЦ Молодежная//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1992. — Т. 88. — С. 68—73.
50. Научные результаты работ Советской антарктической экспедиции//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1968. — Т. 38. — 264 с.
51. Научные результаты работ Советской антарктической экспедиции//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1972. — Т. 60. — 345 с.
52. Новосибирские острова//Тр. ААНИИ. — 1963. — Т. 224. — 233 с.
53. Первая русская антарктическая экспедиция 1819—1821 гг. и ее отчетная навигационная карта/Под ред. М. И. Белова. — Л.: Морской транспорт, 1963. — 166 с. + 16 карт.
54. Петров В. Н. Атмосферное питание ледникового покрова Антарктиды. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 152 с.
55. Петров В. Н., Барков Н. И., Липенков В. Я. Палеоклиматическая интерпретация вертикальной структуры ледникового покрова Антарктиды/Метеорологические исследования в Антарктике. Ч. 2. — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — С. 4—11.

56. Петров В. Н., Барков Н. И., Липенков В. Я., Иванов В. С. Результаты изучения ледяного керна из скважины на склоне антарктического ледникового покрова//Мат-лы гляциол. исслед. Хроника. Обсуждения. — 1989. — Вып. 67. — С. 108—116.
57. Пинхенсон Д. М. Проблема Северного морского пути в эпоху капитализма/История открытия и освоения Северного морского пути. Т. II. — Л.: Морской транспорт, 1962. — 766 с.
58. Потапенко В. Ю., Петров В. Н. Численное моделирование влияния осадков на колебания толщины и края ледникового покрова Восточной Антарктиды в позднем плейстоцене/Метеорологические исследования в Антарктике. Ч. 2. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — С. 16—20.
59. Природа полярных стран//Тр. ААНИИ. — 1973. — Т. 318. — 196 с.
60. Проблемы полярной географии//Тр. ААНИИ. — 1968. — Т. 285. — 255 с.
61. Рутилевский Г. Л. Зоогеографическое районирование Арктики/Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 304. — С. 128—146.
62. Саватюгин Л. М. Об основных причинах грандиозных обломов льфовых ледников Антарктиды//Информ. бюлл. Сов. антаркт. экспед. — 1975. — № 90. — С. 18—22.
63. Саватюгин Л. М. Цунами у берегов Антарктиды//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1976. — Вып. 48. С. 52—60.
64. Самойлович Р. Л. Геоморфологические и гляциологические наблюдения во время полета на воздушном корабле «Граф Цеппелин» летом 1931 г./Тр. АНИИ. — 1933. Т. 12. — С. 5—28.
65. Северная Якутия (физико-географическая характеристика)//Тр. ААНИИ. — 1962. — Т. 236. — 280 с.
66. Семенов И. В. Природные районы Северной Земли//Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 304. — С. 187—209.
67. Симонов И. М. Оазисы Восточной Антарктиды. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 176 с.
68. Сиско Р. К. Итоги и проблемы географических исследований в Арктике//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1970. — Вып. 36—37. — С. 231—237.
69. Сиско Р. К. Физико-географическое районирование и внутриландшафтное деление Новосибирских островов//Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 304. — С. 164—186.
70. Советская Арктика (моря и острова Северного Ледовитого океана)/Под ред. Я. Я. Гаккеля и Л. С. Говорухи. — М.: Наука, 1970. — 526 с.
71. Сытинский А. Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 99 с.
72. Таймыро-Североземельская область (физико-географическая характеристика)/Под ред. Р. К. Сиско. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 374 с.
73. Трешников А. Ф. История открытия и исследования Антарктиды. — Л.: Географиз, 1963. — 431 с.
74. Ямало-Гыданская область (физико-географическая характеристика)/Под ред. Р. К. Сиско. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 309 с.
75. Averyanov V. G. The energy balance structure of the Antarctic ice sheet/atmosphere system as an index of Antarctic glaciation//J. of Glaciol. — 1983. — Vol. 29. — N 102. — P. 240—249.
76. Bolshiyarov D., Verculich S., Pushina Z., Kirienko E. Some features of the late Pleistocene and Holocene history of the Bunger Hills East Antarctica//Proceedings Sixths internat. symposium Antarctic Earth Sciences. — Tokio, 1991. — P. 66—71.
77. Borkin I. V., Chernook V. I., Ponomarev Ya. I., Bogomolov V., Gavrilov M. V. Results of the aerial survey on sea birds in the Barents sea in autumn 1991/Interrelations between fish populations in the Barents sea. — Bergen, 1992. — P. 205—216.
78. Genthon C., Barnola J. M., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Barkov N. I., Korotkevich Y. S., Kotlyakov V. M. Vostok ice core: the climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle (160 000 years).//Nature. — 1987. — Vol. 329. — P. 414—418.
79. Jouzel J., Lorius C., Petit J. R., Genthon C., Barkov N. I., Kotlyakov V. M., Petrov V. N. Vostok ice core: a continuous isotope tem-

perature record over the last climatic cycle (160 000 years). // Nature, 1987. — Vol. 329. — P. 403—408.

80. Klimentiev O. L., Nikolaev V. I., Potapenko V. Yu., Savatyugin L. M., Internal structure and thermohydrodynamic state of glaciers on Severnaya Zemlya. // IAHS Publ. — 1991. — N 208. — P. 49—59.

81. Klyuchnikov G. Y., Klokov V. D., Averyanov V. G., Petrov V. N. Improvement of methods for construction of high-strength aerodromes in Antarctica. // Proceedings of Fourth Symposium on Antarctic Logistic and Operations. Sao Paulo, Brazil. — 1990. — P. 174—180.

82. Verkulich S., Melles M. Composition and paleoenvironmental implications of sediments in a fresh water lake and in marine basins of Banger Hills, East Antarctica. // Polarforschung. — 1992. — Bd. 60. — N 3. — S. 169—180.

ПОЛЯРНАЯ МЕДИЦИНА: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

История полярной медицины берет начало с первых арктических экспедиций. Врачи полярных экспедиций XVIII—XIX вв. выполняли большой круг обязанностей. Основной задачей они считали сохранение жизни и здоровья «служителей» во время полярных зимовок, главным бичом которых являлась цинга. Поискам средств борьбы с этим грозным для того времени заболеванием были посвящены труды многих выдающихся врачей прошлого: И. И. Лепехина, С. П. Крашенинникова, П. З. Кондоиди, А. В. Бахерахта и др. В своей фундаментальной работе «Практическое рассуждение о цинготной болезни» А. В. Бахерахт уделил основное внимание профилактике заболевания, советуя как можно шире использовать в питании фрукты, овощи, настои из трав, соки из плодов и ягод [28].

Выдающийся русский врач и полярный исследователь А. А. Бунге еще в 1895 г. сформулировал гипотезу о снижении неспецифического иммунитета у участников полярных зимовок. Санитарно-гигиенические аспекты пребывания людей в полярных пиротах были подробно изложены в работе врача и полярного исследователя А. М. Полилова, который в своей работе разработал рекомендации по составу рационов питания, предусмотрев в них увеличение содержания жиров и белков. Большой вклад в развитие полярной медицины внесли врачи экспедиций начала XX в., в особенности А. М. Старокадомский и Э. Е. Арнгольд. Основным предметом их научной деятельности были вопросы медико-санитарного обеспечения плавания судов в арктических морях и разработка практических рекомендаций врачам, работающим в полярных регионах.

В послереволюционный период освоения Арктики основное внимание медицинской науки было обращено на различные аспекты жизнедеятельности участников полярных зимовок и постоянного населения создаваемых на Севере поселков и городов. После окончания Великой Отечественной войны учреждениями академии медицинских наук СССР началось планомерное изучение всего комплекса проблем, связанных с акклиматизацией урно растущего населения Крайнего Севера. В результате проведенных исследований были показаны основные изменения физиологических функций человека при пребывании в условиях высоких широт, сформулированы санитарно-гигиенические требования теплоизоляции одежды, микроклимату жилья, калорийности и структуре пищевых рационов, а также продемонстрированы различия в направленности и объеме адаптационных изменений участников зимовок на полярных станциях и у жителей арктических поселков и городов.

Своеобразным толчком к расширению исследований различных аспектов жизнедеятельности человека в высоких широтах стало проведение в 1957/58 г. Международного геофизического года и связанное с этим начало советских исследований в Антарктиде.

В первых антарктических экспедициях врачи вели наблюдения, связанные прежде всего с клиническими аспектами адаптации человека к необычным условиям шестого континента. В результате исследований, проведенных в этот период, названный «научно-медицинской разведкой Антарктиды» [11], врачами первых антарктических экспедиций был получен уникальный материал [34, 39]. Они выявили, что раневой процесс в условиях Антарктиды протекает так же, как и в средних широтах, но вследствие чрезвычайно бедной микробной обсемененности природных объектов процесс заживления ран существенно удлинялся [29]. Установили факт развития у полярников фазовых изменений центральной и периферической гемодинамики [34], описали случаи клинически выраженных кардиоваскулярных расстройств, которые трактовались как крайние проявления метеотропных реакций на воздействие природных факторов Антарктиды [40].

После образования в 1967 г. в структуре Арктического и антарктического научно-исследовательского института отдела полярной медицины под руководством А. Л. Матусова, выдающегося полярного врача, организатора медицинского обеспечения полярных экспедиций, ученого, воспитавшего целую плеяду полярных медиков, и координации научных исследований, проводимых силами различных организаций в рамках единой программы медицинских исследований в Антарктиде, эти работы приобрели планомерный характер.

В итоге совместных усилий врачей-участников экспедиций ученых медиков был собран обширный материал, характеризующий особенности адаптации человека в условиях Арктики и Антарктиды. Все накопленные данные можно сгруппировать в четыре основных направления:

- 1) социально-гигиенический и медико-географический, в котором сосредоточены материалы о биоклиматологических особенностях отдельных регионов Антарктиды, уровне и структуре заболеваемости, обоснованию методов медицинского отбора кандидатов в экспедиции, организации медицинского обеспечения полярных зимовок;

- 2) клинико-физиологический, в который вошли сведения о клинических, физиологических, психофизиологических, биохимических, иммунологических, биоритмологических аспектах адаптации;

- 3) психологический, где сосредоточена информация о медицинских и социально-психологических особенностях адаптации изолированных микроколлективов полярных станций и различных личностных типов к условиям зимовок в высоких широтах;

4) санитарно-гигиенический, в котором сконцентрированы материалы об особенностях создания системы жизнеобеспечения в условиях Арктики и Антарктиды и отдельных ее компонентов (жилище, одежда, питание, водоснабжение, использование средств индивидуальной защиты).

В основу работ, вошедших в первое направление, была положена концепция, что одним из главных критериев успешности процесса адаптации человека к тем или иным непривычным условиям является его состояние здоровья. Поэтому одной из основных задач отдела полярной медицины явилась всесторонняя оценка уровня и структуры здоровья участников полярных экспедиций и зимовок путем изучения их заболеваемости по единым учетно-статистическим формам. Под руководством А. Л. Магусова была разработана форма «Медицинской карты полярника», введение которой в практику работы врачей, начиная с Десятой Советской антарктической экспедиции, позволило собрать уникальный в своем роде материал.

Было показано, что каких-либо специфических заболеваний, присущих только Арктике или Антарктиде, не существует. Наблюдаются лишь обострения хронических заболеваний, носивших до этого компенсированный характер. По данным работы [29] в советских арктических и антарктических экспедициях отмечается высокий индекс здоровья их участников: около 20 % участников зимовок не имели ни одного случая заболеваний или травм, а у более чем 70 % полярников не было случаев заболеваний, повлекших за собой потерю трудоспособности.

В структуре общей заболеваемости основные места занимают травмы, болезни зубов и полости рта, заболевания кожи и подкожной клетчатки, болезни мышц, периферической нервной системы и неврозы. Участники зимовок имеют весьма низкий показатель заболеваемости, сопровождающейся временной нетрудоспособностью (в среднем около 40 случаев и 260 дней нетрудоспособности на 100 участников за год зимовки).

Определенный интерес представляют данные о заболеваемости полярников, сопровождающейся стационарным лечением. Первое место по числу госпитализаций занимают травмы, второе — аппендицит, третье — острые респираторные заболевания, четвертое — пневмонии, пятое — болезни периферической нервной системы и шестое — болезни сердечно-сосудистой системы. На эти шесть нологических форм приходится 61,5 % всех случаев стационарного лечения полярников.

На основе полученных материалов была разработана «Инструкция по медицинскому освидетельствованию участников арктических и антарктических экспедиций» и «Перечень медицинских противопоказаний для лиц, направляемых в арктические и антарктические экспедиции», которые в 1972 г. были внедрены в практику работы медицинских учреждений, осуществляющих медицинский отбор участников полярных экспедиций.

Тем не менее, сравнительный анализ заболеваемости в 1965—1972 гг. и в 1981—1988 гг., проведенный А. Л. Матусовым [30], позволил ему прийти к выводу, что, несмотря на снижение уровня общей заболеваемости, зарегистрированное в последних антарктических экспедициях, имеет место рост удельного веса сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе гипертонической болезни. Так, если в 1965—1972 гг. число случаев сердечно-сосудистой патологии в общем числе случаев заболеваний с временной нетрудоспособностью на зимовках составляло 3,6 %, то в 1981—1988 гг. оно возросло почти вдвое (6,4 %). Та же тенденция была отмечена и при анализе госпитализированной заболеваемости. Если во время работы Десятой—Семнадцатой САЭ сердечно-сосудистые заболевания составили 5,5 % случаев и 8,2 % дней лечения, то в период Двадцать шестой—Тридцать третьей САЭ их удельный вес возрос до 9,7 % случаев и 15,8 % дней госпитального лечения полярников на зимовках.

В 1993—1994 гг. рабочей группой СКАР по биологии человека и медицине был подготовлен проект международного стандарта по медицинским требованиям к состоянию здоровья персонала антарктических экспедиций, в котором был учтен опыт работ российских специалистов по анализу заболеваемости полярников и разработке критериев медицинского отбора участников зимовок в высоких широтах. Следует учесть, что международным стандартом предусмотрено положение, существующее во многих странах, ведущих работы в Антарктиде, согласно которому окончательное заключение о пригодности обследуемого к участию в работе антарктической экспедиции делают специалисты медицинских отделов антарктических экспедиций. Целесообразность такого решения доказана многолетней практикой работы медицинских отделов экспедиций ряда стран (Австралия, Новая Зеландия, Англия, Франция и др.), поскольку они располагают квалифицированными врачами, участниками полярных зимовок и пользуются материалами баз данных, где сконцентрирована информация о состоянии здоровья всех участников полярных экспедиций.

Начиная с первых полярных экспедиций, было замечено, что разные люди по-разному реагируют на воздействие метеофакторов, описаны явления повышенной чувствительности к воздействию факторов климата, которые получили название «дисадаптационные метеоневрозы» [10]. Показано, что меньшей метеочувствительностью обладают лица с высоким и средним уровнем пластичности нервной системы. У лиц с низкой пластичностью отмечались патологические формы метеочувствительности с клиническими проявлениями в виде вегетативных нарушений, неврозов и неврозоподобных состояний [41].

При изучении отдаленных последствий неоднократного участия в полярных зимовках были выделены три периода адаптации при длительном пребывании в высоких широтах [27]. Начальный период полярного стажа отличается выраженной стресс-реакцией на воздействие экстремальных природных факторов Арктики и Ан

тарктиды. В этот период наибольшую угрозу для здоровья представляют заболевания органов дыхания, пищеварения, кожи и подкожной клетчатки, костно-мышечной системы и соединительной ткани.

На протяжении последующих лет развивающиеся адаптивные изменения выступают в качестве основы устойчивой долговременной резистентности к ряду повреждающих воздействий. В этот период равновероятно прогнозируется незначительная возможность возникновения заболеваний органов пищеварения и дыхания и еще в меньшей степени — сердечно-сосудистой системы.

Заключительный этап характеризуется прогрессирующей тенденцией к быстрой смене диагнозов болезней на коротком отрезке времени, что свидетельствует об истощении резистентности организма к повреждающим воздействиям. В этот период наиболее вероятной патологией становятся заболевания сердечно-сосудистой системы.

Разработанные на этой основе «Рекомендации по прогнозированию заболеваемости участников полярных экспедиций» позволяют обоснованно планировать и осуществлять адекватные профилактические мероприятия по предупреждению заболеваний, наиболее вероятных в тот или иной период экспедиционной деятельности полярника.

Вторым направлением исследований в области полярной медицины явилось клинико-физиологическое изучение механизмов адаптации человека в условиях высоких широт.

Наибольший объем медицинских исследований в полярных областях Земли приходится на физиологию адаптации человека. Важное место занимают среди них работы, посвященные изучению состояния высшей нервной деятельности. Многочисленными авторами отмечены факты, свидетельствующие о возникновении функционального напряжения в центральной нервной системе участников полярных зимовок [12, 14, 15, 17, 31—33, 39]. Адаптационные перестройки различных функциональных систем, возникающие у человека в Антарктиде, носят сложный многокомпонентный характер, включая периферические и центральные механизмы, и имеют выраженную индивидуальную зависимость [6, 37].

По характеру изменений в организме весь процесс адаптации к течению годичной зимовки в Антарктиде можно условно разделить на два периода. Начальный или первый период адаптации, словно названный периодом «дестабилизации функций», характеризуется отдельными функциональными нарушениями сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Отмечается повышенная возбудимость и большая вариабельность реакций со стороны центральной нервной системы. Длительность первого периода в среднем составляет 2—2,5 месяца, после чего наступает второй период, заключающийся в постепенной стабилизации функций на новом уровне. Третьего же, завершающего периода устойчивой стабилизации функций на новом адаптивном уровне не наступает, то может быть связано как с недостаточностью времени для пол-

ного развития адаптивного процесса, так и со специфичностью условий зимовки в Антарктиде [37].

Многолетние наблюдения в полярных экспедициях показали, что способность человека к адаптации в экстремальных условиях полярных зимовок определяется пластичностью и устойчивостью нейродинамических процессов, их способностью к направленной перестройке функций соответственно потребностям организма в данных конкретных условиях. Оценка этих свойств с помощью специальных аппаратных методик позволяет охарактеризовать уровень адаптивности человека, что имеет важное значение для предварительного отбора участников экспедиций [6, 13, 14, 17, 37, 41].

При возвращении полярников в условия умеренного климата было установлено, что период реадаптации — процесс более сложный и длительный, чем период адаптации, так как организм входит в реадаптацию со значительным дефицитом адаптивных возможностей, в частности, с подавленными процессами иммунитета, снижением емкости антиоксидантной системы и т. д. Поэтому было высказано предположение, что реадаптация организма после перемещения из Антарктиды в средние широты длится более чем в 2 раза дольше по сравнению с периодом пребывания в Антарктиде [17, 24].

При проведении биоритмологических исследований сердечно-сосудистой, эндокринной и вегетативной нервной систем было установлено важное значение ритмических колебаний функций в диагностике преморбидных состояний. В Антарктиде наблюдалась более жесткая, чем в условиях средних широт, внутренняя синхронизация суточных колебаний показателей сердечно-сосудистой системы [4, 16, 23, 42, 44].

Изучение показателей системы кровообращения участников полярных зимовок показало, что в процессе адаптации преобладают физиологические изменения всех функций сердца. Патологические изменения наблюдаются редко и преимущественно у лиц старше 40 лет, страдавших сердечно-сосудистыми заболеваниями до отъезда в экспедицию. Иногда патологические отклонения носили стойкий необратимый характер и приводили к формированию хронических заболеваний [4, 5, 12, 17, 23, 34, 42, 44].

Изучение функционального состояния системы дыхания в условиях Антарктиды не выявило выраженных патологических сдвигов [12, 17, 31, 33, 36]. Следует отметить, что быстрое перемещение полярников на антарктическое плато самолетом, в отличие от медленного передвижения в санно-гусеничном походе на фоне гипервентиляции легких иногда приводит к развитию острой горно болезни [12].

Исследования системы крови не выявили «полярной анемии» у участников высокоширотных зимовок [17]. Отмеченные колебания содержания эритроцитов и гемоглобина связаны с сезонными адаптационными реакциями и временем холодового воздействия. Некоторое уменьшение числа лейкоцитов в крови, по-видимому,

обусловлено пребыванием полярников в относительной безмикробной среде Антарктиды и снижением иммунологической реактивности. Это связано также с уменьшением в процессе зимовки содержания витаминов в организме полярников, относительной гиподинамией и подтверждается нормализацией состава форменных элементов крови после возвращения полярников из экспедиции [17, 36]. Наблюдавшиеся изменения процесса образования эритроцитов у участников зимовок в центральной части Антарктиды вызывались воздействием хронической гипоксической гипоксии, характерной для условий высокогорья [12, 15, 36].

Исследования системы терморегуляции позволили установить, что к концу годичной зимовки у полярников вырабатывалась определенная устойчивость к воздействию ветро-холодового фактора, которая обеспечивалась главным образом за счет средств физиологической терморегуляции, направленных на ограничение теплопотерь, наблюдалась пониженная реакция на холодовое воздействие, выражавшаяся в значительном уменьшении сужения периферических сосудов, а у наиболее адаптированных к холоду лиц даже их расширении [15, 20, 37].

Изучение обмена веществ у полярников антарктических экспедиций позволило установить, что специфические условия жизни, труда и быта, питания, времени прибытия в Антарктиду, характер профессиональной деятельности на зимовках вызывают изменения всех видов обмена веществ [3, 16, 23, 26, 36, 43]. Результаты проведенных исследований указывают на значительное увеличение во время зимовки содержания липидов и холестерина в сыворотке крови полярников по сравнению с предэкспедиционным периодом. Максимальное увеличение отмечалось в конце зимовки, и этот высокий уровень сохранялся длительное время послеэкспедиционным периоде. Отмечено уменьшение выделения витаминов из организма, которое связывается со многими факторами, прежде всего с уменьшением их содержания в рационе при длительном хранении продуктов, а также их усвояемости в условиях высоких широт.

За время годичной антарктической зимовки имеют место выраженные изменения активности симпатно-адреналовой системы, характеризующиеся повышением активности гормонов в период полярной ночи. Содержание их существенно снижалось при возвращении полярников в условия средних широт северного полушария [3, 16, 17, 39, 43]. У полярников наблюдалось более высокое, чем у людей в условиях средних широт, содержание в крови микроэлементов и электролитов. Существенной особенностью взаимозависимых изменений параметров минерального обмена и гормональной активности является развитие тканевого дефицита отдельных элементов, в частности калия, при нормальном содержании их в крови [3, 22].

Природная среда Антарктиды характеризуется целым рядом факторов, которые оказывают влияние на перестройку и формирование новой иммунологической реактивности у полярников.

Снижение ее, особенно выраженное в период полярной ночи, обусловлено уменьшением содержания иммуноглобулинов [7], изменением функции циркулирующих и тканевых иммунокомпетентных клеток. Определенную роль в снижении иммунитета, очевидно, могут играть и нарушения витаминного баланса, наблюдавшиеся в течение зимовок [17, 26, 36].

С пониженной иммунологической реактивностью связаны факты вспышек острых респираторных заболеваний у участников антарктических экспедиций при встрече с новой сменой, в пути или вскоре после возвращения домой. Она может быть также причиной плохого заживления ран, замедления роста и развития грануляций (особенно в конце зимовки), специфического заживления операционных ран по типу «асептического воспаления». Возможно, что низкий иммунитет является причиной несоответствия между клинической картиной острого аппендицита у полярников и характером деструктивных изменений червеобразного отростка [29]. В последние годы было продемонстрировано влияние геомагнитных возмущений на клеточные механизмы адаптации, в частности на проницаемость эритроцитарных мембран, которая резко снижалась в периоды высокой геомагнитной активности [21].

Третье направление исследований включает изучение изменений высших психических функций полярников в течение зимовки. Было показано, что их решение относится к числу первоочередных задач обеспечения здоровья и сохранения высокой работоспособности человека в экстремальных условиях [1, 32]. Можно выделить два основных направления психологических исследований:

— медико-психологическое, анализирующее наиболее значимые психогенные факторы зимовок, обеспечивающее диагностику и прогноз нежелательных изменений в личности полярника, в его нервно-психическом реагировании, а также разрабатывающее систему психопрофилактических мероприятий на период работы экспедиций;

— социально-психологическое, включающее исследования и оптимизацию психологического климата коллективов антарктических станций, изучающее проблемы лидерства и конфликтности.

В медико-психологических работах было выявлено значительное число субъективных расстройств у ранее практически здоровых и относительно молодых мужчин: нарушение сна, снижение жизненного тонуса, развития раздражительности и др. [1, 17, 18, 29]. Пребывание в Антарктиде на 1/3 увеличивало число субъективных состояний, вызываемых климато-экологическими воздействиями, по сравнению с северо-западными районами страны. Установлен ряд корреляций между суровостью погоды и нервно-психической симптоматикой [2, 32]. Социально-психологические исследования показали значение психологической совместимости сотрудников, оторванности от Родины, стиля руководства, длительной изоляции, монотонного характера труда, сенсорной депривации в формировании психологического микроклимата в замкнутом зимовочном коллективе. Полученные данные свидетельствуют о ком

бинированном механизме влияния условий антарктической экспедиции на нервно-психический статус полярников.

В результате проведенных исследований было сформулировано представление о трех ведущих критериях успешной деятельности зимовочных коллективов: уровне эмоциональной лабильности, социальной совместимости и мотивации деятельности [1].

Основной задачей гигиенического направления полярной медицины явилась оценка системы жизнеобеспечения участников полярных зимовок. Исследования, посвященные изучению различных характеристик жилища в климатических условиях Арктики и Антарктиды [5, 8, 35], позволили констатировать тенденцию к возведению жилья и производственных помещений из алюминиевых панелей, обладающих высокими теплоизоляционными свойствами. Эти строения легко собираются, прочны. Для предотвращения заносов снегом они возводятся на металлических сваях. Одним из перспективных направлений в этой области является создание строительных конструкций на базе модульной технологии, а также использование мобильных блоков.

Сотрудниками лаборатории полярной медицины были разработаны требования к рациональному построению и теплоизоляции климатической одежды для участников антарктических экспедиций, на основании которых изготавливается теплозащитная одежда полярников [9, 25, 33]. Внедрение в 1977 г. в практику работы антарктической экспедиции новых видов одежды позволило оптимизировать условия труда полярников и облегчить процесс адаптации к экстремальным условиям среды обитания.

Изучению состояния питания, особенностей обменных процессов и разработке адекватных пищевых рационов в процессе адаптации человека в высоких широтах было уделено большое внимание [5, 26, 39]. Проведенный в условиях полярных экспедиций и зимовок ряд исследований послужил материалом для создания Инструкции по организации питания в антарктических экспедициях и на дрейфующих станциях «Северный полюс» [19]. В ней сосредоточен справочный материал по ассортименту продуктов, срокам их хранения, рекомендации по организации сбалансированного питания полярников в зависимости от выполняемой работы и энергозатрат.

Анализ результатов медицинских исследований за последние десять лет и материалов заседаний рабочей группы СКАР по биологии человека и медицине показывает, что наиболее актуальными и перспективными направлениями научных медицинских исследований считаются следующие.

1. Изучение человеческого фактора антарктической зимовки как аналога длительного космического полета.

2. Иммунологические, эндокринологические, микробиологические исследования механизмов резистентности полярников к воздействию инфекционных и неинфекционных факторов.

3. Изучение психологии и поведения людей в условиях длительной изоляции полярных зимовок.

4. Изучение влияния на людей уменьшения толщины озонового слоя для разработки рекомендаций по предотвращению неблагоприятного воздействия увеличения ультрафиолетового излучения.

5. Оценка отдаленных последствий неоднократных зимовок в Арктике и Антарктиде на здоровье их участников.

6. Медико-психологические аспекты участия женщин в антарктических зимовках.

Особую остроту приобретают в последнее время медикоэкологические проблемы коренного и некоренного населения Арктики и зимовочных коллективов в Антарктиде, заключающиеся, с одной стороны, в оценке воздействия загрязняющих веществ на элементы трофической цепи человека и в конечном счете непосредственно на его организм, находящийся в состоянии хронического напряжения, а с другой стороны, в разработке нормативов качества природной среды Антарктиды, подвергающейся антропогенному загрязнению.

Представляется весьма перспективным также поиск механизмов, обеспечивающих устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов полярной зимовки как физической, так и биологической природы, в котором могут быть использованы, наряду с другими, иммуногенетические и биоритмологические подходы. На базе этой методологии возможна в будущем разработка критериев формирования микроколлективов полярных станций, устойчивых к повреждающим воздействиям внешней среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бизюк А. П. Психологическая адаптация участников антарктических экспедиций в зависимости от опыта работы в полярных условиях/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 24. — М.: Наука, 1985. — С. 185—191.

2. Бизюк А. П. Сравнительная характеристика показателей субъективной метеоплабильности у кандидатов и участников антарктических экспедиций. Адаптация и состояние здоровья участников антарктических экспедиций//Тр. ААНИИ. — 1992. — Т. 428. — С. 166—171.

3. Бобров Л. Л. Особенности минерального обмена участников антарктических экспедиций и связь их с сезонными изменениями климата/Метеорологические исследования в Антарктике. Ч. II. — Л.: Гидрометеоздат, 1991. — С. 53—56.

4. Бобров Л. Л., Клопов В. П., Марченко А. М., Яковлев В. А. Сезонная динамика показателей кровообращения у полярников в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 26. — М.: Наука, 1987. — С. 186—190.

5. Борискин В. В. Жизнь человека в Арктике и Антарктике. — Л.: Медицина, 1973. — 200 с.

6. Василевский Н. Н., Сороко С. И., Богословский М. М. Психофизиологические аспекты адаптации человека в Антарктиде. — Л.: Медицина, 1978. — 207 с.

7. Ващенко В. М., Клопов В. П., Яковлев В. А. Состояние иммунной системы у полярников в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 32. — М.: Наука, 1993. — С. 190—194.

8. Гаршенин В. Ф. Гигиеническая оценка некоторых типов жилищ на прибрежных антарктических станциях//Гигиена и санитария. — 1974. — № 12. — С. 40—43.

9. Горбоносова Н. Б., Смуров С. В. Разработка рекомендаций по созданию образцов теплозащитной одежды участников Советской антарктической экспедиции//Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 299. — С. 127—132.
10. Данишевский Г. М. Акклиматизация человека на Севере (с очерком краевой патологии и гигиены). — М.: Медгиз, 1955. — 358 с.
11. Данишевский Г. М., Тихомиров И. И. Об основных идеях и направлениях изучения акклиматизации человека в Антарктиде//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1969. — № 74. — С. 3—7.
12. Деряпа Н. Р., Давиденко В. И. Современные проблемы медицинской климатологии в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 22. — М.: Наука, 1983. — С. 162—170.
13. Деряпа Н. Р., Давиденко В. И. Методологические основы оценки донозологических состояний человека в Антарктиде. — Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 25. — М.: Наука, 1986. — С. 209—221.
14. Деряпа Н. Р., Давиденко В. И. Теоретические и прикладные проблемы адаптации человека в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 27. — М.: Наука, 1988. — С. 203—218.
15. Деряпа Н. Р., Матусов А. Л., Рябинин И. Ф. Человек в Антарктиде. — Л.: Медицина, 1976. — 184 с.
16. Деряпа Н. Р., Мошкин М. П., Посный В. С. Проблемы медицинской биоритмологии. — М.: Медицина, 1985. — 208 с.
17. Деряпа Н. Р., Рябинин И. Ф. Адаптация человека в полярных районах Земли. — Л.: Медицина, 1977. — 294 с.
18. Ильин Е. А. Изменения нервно-психического состояния и медикаментозные способы его нормализации в условиях зимовки на станции Восток//Тр. ААНИИ. — 1971. — Т. 299. — С. 90—98.
19. Инструкция по организации питания участников Советской антарктической экспедиции и дрейфующих станций «Северный полюс». — Л.: Репрогр. ААНИИ, 1976. — 84 с.
20. Клопов В. П. Некоторые особенности теплообмена и периферических сосудистых реакций у человека при длительном пребывании в условиях Центрального Арктического бассейна. Автореф. дис. канд. мед. наук/Ин-т физиологии АН СССР. Л., 1977. — 23 с.
21. Клопов В. П., Дмитриев А. В., Колмаков В. Н. Оценка влияния геомагнитной обстановки Антарктиды на организм полярников/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 29. — М.: Наука, 1990. — С. 184—187.
22. Клопов В. П., Яковлев В. А., Бобров Л. Л. Особенности минерального обмена у полярников в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 28. — М.: Наука, 1989. — С. 180—185.
23. Клопов В. П., Яковлев В. А., Бобров Л. Л., Марченко А. М. Биоритмологическая характеристика адаптивных изменений системы кровообращения в условиях Антарктиды//Физиология человека. — 1988. — Т. 14. — № 6. — С. 990—1000.
24. Клопов В. П., Дмитриев А. В., Дадали В. А., Макаров В. Г., Павлова Р. Н., Зубова Т. Ф. Некоторые механизмы адаптации организма в Антарктиде и реадaptации к условиям средних широт. Адаптация и состояние здоровья участников антарктических экспедиций//Тр. ААНИИ. — 1992. — Г. 428. — С. 24—40.
25. Макаров Н. И. Сравнительная характеристика основных видов климатической одежды полярников станции Восток//Тр. ААНИИ. — 1971. — Г. 299. — С. 231—235.
26. Макаров Н. И. Некоторые особенности питания в условиях Центральной Антарктиды/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 12. — М.: Наука, 1973. — С. 178—183.
27. Марченко А. М. Клинико-физиологические аспекты комплексного прогнозирования состояния здоровья участников полярных экспедиций. Адаптация и состояние здоровья участников антарктических экспедиций//Тр. ААНИИ. — 1992. — Т. 428. — С. 82—91.
28. Матусов А. Л. Из истории медицинского обеспечения русских морских и полярных экспедиций. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 119 с.

29. Матусов А. Л. Условия жизни и состояние здоровья участников полярных экспедиций. — Л., Гидрометеониздат, 1979. — 232 с.
30. Матусов А. Л. Заболеваемость и смертность участников Советских антарктических экспедиций. Адаптация и состояние здоровья участников антарктических экспедиций//Тр. ААНИИ. — 1992. — Т. 428. — С. 54—72.
31. Матусов А. Л., Воскресенский А. И. О медико-географическом районировании Антарктиды/Медико-географическое районирование и прогнозирование здоровья популяций. — Новосибирск: Наука, 1981. — С. 159—166.
32. Матусов А. Л., Рябинин И. Ф., Бизюк А. П., Шеповальников В. Н. Неврозы и невротические расстройства у участников Советских антарктических экспедиций/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 23. — М.: Наука, 1984. — С. 155—164.
33. Матусов А. Л., Рябинин И. Ф., Горбоносова Н. Б., Бизюк А. П., Тешебаев Ш. Б. Влияние снегового покрова и льда на жизнедеятельность человека в полярных и высокогорных условиях//География и природные ресурсы. — 1985. — № 3. — С. 42—48.
34. Палеев Н. Р. О влиянии климата Арктики и Антарктиды на сердечно-сосудистую систему по наблюдениям на дрейфующей станции «Северный полюс-4» и в Антарктиде//Терапевтический архив. — 1959. — Т. 31. — № 11. — С. 17—31.
35. Пальянов О. И. К вопросу гигиенической оценки микроклимата жилья помещений антарктических станций//Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. — 1974. — № 64. — С. 118—121.
36. Рябинин И. Ф. Клинико-биохимические аспекты адаптации человека в Антарктиде. Автореф. дис. д-ра мед. наук/Военно-медицинская академия. Л., 1973. — 31 с.
37. Сороко С. И. Нейрофизиологические механизмы индивидуальной адаптации человека в Антарктиде. — Л. Наука, 1984. — 197 с.
38. Ташпулатов Р. Н. Микробная флора и иммунитет человека в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 13. — М.: Наука, 1974. — С. 183—189.
39. Тихомиров И. И. Биоклиматология Центральной Антарктиды и акклиматизация человека. — М.: Наука, 1968. — 197 с.
40. Шагин И. В. Сердечно-сосудистые расстройства у зимовщиков антарктических станций/Климат и сердечно-сосудистая патология. — Л.: Медицина, 1965. — С. 49—56.
41. Шеповальников В. Н. Особенности метеотропных реакций человека в полярных районах Земли. Адаптация и состояние здоровья участников антарктических экспедиций//Тр. ААНИИ. — 1992. — Т. 428. — С. 41—53.
42. Шеповальников В. Н., Бизюк А. П., Шатило А. И. Адаптационные и дизадаптационные изменения деятельности сердечно-сосудистой системы у полярников в Антарктиде/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 26. — М.: Наука, 1987. — С. 179—185.
43. Шурыгин Д. Я., Рябинин И. Ф., Мазуров В. И., Яковлев В. А. Функциональное состояние эндокринной системы у полярников Антарктиды/Антарктика. Доклады комиссии. — Вып. 18. — М.: Наука, 1979. — С. 189—209.
44. Яковлев В. А. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы у полярников в период морского перехода и зимовки на станции Ленинградской//Тр. Сов. антаркт. экспед. — 1987. — Т. 69. — С. 69—79.

МУЗЕЙ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

В широкой популяризации научных знаний, достижений в хозяйственной деятельности и развитии культуры нашей страны большую роль играют выставки и музеи. В этом отношении значительную работу провел за годы своего существования Музей Арктики и Антарктики Арктического и антарктического научно-исследовательского института Росгидромета.

В здании бывшей Никольской единоверческой церкви 8 января 1937 г. был открыт Музей Арктики. Здание, построенное в 1820—1827 гг. архитектором Авраамом Мельниковым, находится под охраной государства как памятник русской классической архитектуры первой половины XIX в. Идея создания Музея Арктики для показа развития производительных сил Крайнего Севера и практического использования их в народном хозяйстве возникла с тех пор, как началось планомерное изучение Арктики и когда были созданы такие специальные научные учреждения, как Северная научно-промысловая экспедиция (4 марта 1920 г.) и Плавающий морской научный институт (10 марта 1921 г.).

История организации Музея Арктики тесно связана с историей Всесоюзного Арктического института и работой арктических экспедиций. Начиная с создания Северной научно-промысловой экспедиции, отдельные научные сотрудники собирали материалы по геологии, этнографии, географии, зоологии, ботанике, орнитологии, истории Арктики и т. д., которые представляли научный интерес, и демонстрировали его на специальных арктических выставках, устраиваемых в Ленинграде. Так, в 1922 г. была организована первая полярная выставка в Географическом обществе, в 1925 г. — в Институте по изучению Севера, в 1932 г. — в Музее этнографии, посвященная экспедиции на л/п «А. Сибиряков», в 1935 г. — в Географическом обществе в честь 15-летия Всесоюзного Арктического института. Выставки на полярную тематику устраивались в Москве и Архангельске. Все они вызывали большой интерес у населения и являлись отчетом полярников о проделанной работе.

Для хранения экспонатов и выставочного имущества в 1932—1933 гг. был приспособлен подвальный этаж здания Всесоюзного арктического института. Здесь постепенно начал создаваться музей закрытого типа, который, по существу, был базой для выставок. Несмотря на разнообразие выставок материалы экспонировались фрагментарно, без достаточной связи различных отраслей арктиковедения, он не показывал взаимозависимости отдельных работ в Арктике. На выставках были представлены фотографии отдельных районов Арктики и работающих там полярников. Это было недостаточно, чтобы отобразить значение Арктики для

народного хозяйства. И поэтому возникла мысль о создании специального музея, где по определенному плану были бы собраны и систематизированы материалы.

Многие полярники выступили за открытие такого музея, который, кроме познавательного, имел бы и воспитательное значение, помогал на примерах выдающихся полярных исследователей воспитывать у молодежи мужество и патриотизм. Активным сторонником создания такого музея был выдающийся полярный исследователь и общественный деятель, первый начальник Главного управления Северного морского пути О. Ю. Шмидт. Разрабатывая в 1930 г. структуру Всесоюзного Арктического института, он включил в нее как один из секторов института «Музей полярных стран». И затем, когда создавался музей, О. Ю. Шмидт внимательно следил за его организацией, помогал его устроителям.

В ноябре 1930 г. Президиум ВЦИК вынес постановление об организации в Ленинграде Музея Арктики. Ленинградским Советом народных депутатов было предоставлено помещение бывшей Никольской единоверческой церкви. В 1934—1936 гг. Всесоюзный Арктический институт значительно перестроил и переоборудовал здание, приспособив его для музея. Работники музея при участии музеев Ленинграда разработали тематико-экспозиционный план и приготовили необходимые экспонаты. Сотрудники Всесоюзного Арктического института понимали, что в музее будет отражена их работа, результаты их деятельности в Арктике и поэтому оказывали помощь в создании музея.

В задачу Музея Арктики входило показать работу полярников:

- в изучении и освоении Северного морского пути как нормально действующей транспортной магистрали, имеющей важное государственное значение;

- в развитии на научной основе горной, лесной, рыбной промышленности, оленеводства и охотничьего хозяйства;

- в содействии хозяйственному и культурному росту коренных народов Севера;

- в успешной защите северных морских коммуникаций в период Великой Отечественной войны.

Этой идее показа подчинено как размещение экспонатов, так и их содержание. Исторические реликвии, коллекции минералов флоры и фауны, картины, диорамы, картограммы, модели кораблей, научные приборы, размещенные в залах музея в определенной последовательности, свидетельствуют о достижениях и сущности научных исследований в Арктике, о новейших технических средствах, созданных промышленностью нашей страны, о методах изучения и познания природы Арктики, о трудовых подвигах людей, проводящих исследования в полярных районах.

По первоначальному замыслу музей должен был демонстрировать научные и практические результаты тех важных для страны работ, которые выполняют полярники в Арктике. Но с 1956 г. музей стал показывать результаты исследований, которые про-

водятся нашим государством в Антарктике и с 1958 г. стал называться Музеем Арктики и Антарктики.

Тематика Музея Арктики и Антарктики и его экспозиция претерпели изменения и направлены в основном на то, чтобы показать природу, хозяйство, быт и условия труда исследователей Арктики и Антарктики, отобразить заслуги и достижения полярников в изучении и освоении полярных стран.

В центральном зале музея посетители знакомятся с природно-географическими условиями Арктики. Большой сегмент рельефного глобуса, изготовленный под непосредственным руководством академика Ю. М. Шокальского, дает основу для представления о географии северной части земного шара. Здесь посетители получают представление об Арктике. Макеты художника А. Х. Торосяна демонстрируют географические ландшафты тайги, лесотундры, тундры и ледовой зоны. Диорамы, изображающие птичий базар и тундру летом, созданные художниками Цепалиным и Платуновым, и, наконец, диорамы, показывающие ледник Шокальского и тундру зимой, дают представление о природе Севера. Чучела зверей, птиц, рыб свидетельствуют о богатстве и разнообразии животного мира Севера. Этим далеко не ограничивается показ в музее природы Арктики. Она является неотъемлемым фоном во всех разделах экспозиции.

Весьма содержателен второй раздел музея — «История исследования Арктики и освоения Северного морского пути». Он демонстрирует героические усилия нашего народа при освоении Крайнего Севера и Северного морского пути, начиная с XI—XII вв. и кончая событиями современного плавания атомных ледоколов, открывших новый этап развития арктического мореплавания.

Наряду с большим количеством макетов, картосхем, диаграмм, фотографий, картин и прекрасно выполненных моделей различных кораблей (от поморской ладьи XII—XV вв. до мощных атомных ледоколов), здесь посетитель находит редкие и замечательные реликвии полярных исследователей, правительственные постановления, письма и многие другие ценные документы. Перед посетителем разворачивается насыщенная событиями история изучения и освоения Арктики: плавание отважных мореходов русского Поморья на Новую Землю и Шпицберген, на Обь, Енисей, Пясины и далее на восток, первые морские и сухопутные экспедиции в северо-восточную часть Сибири, поход С. И. Дежнева и открытие им пролива между Азией и Америкой, Великая Северная экспедиция, экспедиция В. Я. Чичагова и многие другие экспедиции (VIII, XIX вв. и начала XX в. Ряд экспонатов знакомит посетителя с развитием Северного морского пути в научном, экономическом и политическом планах, с различными проектами плаваний из Атлантического океана в Тихий (Д. Герасимов, Ф. С. Салтыков, М. В. Ломоносов, А. Э. Норденшельд и др.), с деятельностью естественных ученых, моряков и общественных деятелей (М. В. Ломоносов, Д. И. Менделеев, С. О. Макаров, Г. Я. Седов, В. А. Руса-

нов и др.), которые выступали убежденными сторонниками освоения Северного морского пути и пытались практически, организуя экспедиции, разрешить эту проблему.

Большое внимание в этом разделе уделяется советскому периоду изучения Арктики и освоения Северного морского пути. Ряд важных документов отображает роль правительства в организации планомерных комплексных исследований Арктики и в практическом освоении Северного морского пути, первые Карские экспедиции и плавание на востоке — в устье реки Колымы знакомят с деятельностью Северной научно-промысловой экспедиции, Плавучего морского научного института, Гидрографического управления и других учреждений, работавших в то время на Севере.

Отдельные стенды этого раздела посвящены исторической экспедиции на л/п «А. Сибиряков» (1932 г.), открывшей Северный морской путь для практического использования, организации и деятельности — Главного управления Северного морского пути, Челюскинской эпопеи (1933—1934 гг.) и походу ледореза «Ф. Литке» из Владивостока в Мурманск (1934 г.) Перед посетителем развешивается картина превращения Северного морского пути в мощную регулярно действующую магистраль, развитие научных исследований (морские и сухопутные экспедиции), гидрографической службы и навигационного обеспечения. Демонстрируется работа советских полярников в высоких широтах, успешное изучение центральной части Арктического бассейна (экспедиция под руководством О. Ю. Шмидта на Северный полюс и организация дрейфующей научной станции «Северный полюс-1», дрейф л/п «Г. Седов», высокоширотные воздушные экспедиции и дрейфующие научные станции «Северный полюс»).

Наглядно показываются важнейшие географические открытия, сделанные полярниками в Арктике, и результаты использования научных исследований в практической деятельности (синоптические, ледовые и гидрологические прогнозы). В этом разделе отражены события в Арктике в годы Великой Отечественной войны и показано, как героическими усилиями и подвигами моряков-полярников были сорваны вражеские планы парализовать Северный морской путь. Этот раздел знакомит посетителя с послевоенным периодом изучения Арктики, с деятельностью коллективов арктических тружеников и отдельных выдающихся ученых, моряков-летчиков, строителей, чьим трудом внесен огромный вклад в изучение и освоение Арктики. Показана большая роль Арктического и антарктического научно-исследовательского института в обеспечении бесперебойного арктического плавания.

Вся экспозиция этого раздела демонстрирует, как ведутся наблюдения за состоянием атмосферы и моря, геофизические исследования. Посетители убеждаются в том, что метеорологические наблюдения дрейфующих научных станций, наряду с громадной сетью береговых метеостанций Гидрометслужбы, являются важнейшей основой для составления прогнозов погоды, как наблюде

ния за состоянием моря позволяют составлять прогнозы ледового режима северных морей.

В разделе «Народное хозяйство и культурное строительство в районах Крайнего Севера» отображены результаты развития экономики и культуры в этом регионе. Здесь представлено превращение Северного морского пути в водную магистраль массовых перевозок, создание и совершенствование в техническом отношении арктических портов (Диксон, Игарка, Дудинка, Тикси, Певек, Провидения); развитие добывающей промышленности в Арктике (апатиты, никель, железо на Кольском полуострове, каменный уголь в Печорском бассейне, на Самгаре и в бухте Угольной; олово в Яно-Индигирском районе; алмазы и золото в Якутии; нефть на Ухте и Ижме и т. д.) и возникновение крупных промышленных центров (Кировск, Мончегорск, Воркута, Ухта, Норильск и др.). На ряде стендов в этом разделе демонстрируется развитие пушного промысла, оленеводства и других видов деятельности человека на Крайнем Севере.

Многочисленные и содержательные экспонаты наглядно свидетельствуют о росте культуры народов Крайнего Севера — развитие письменности, литературы, национального искусства (живопись, резьба по кости, художественное рукоделие).

Последний раздел музея — «Антарктика» — знакомит посетителей с историей открытия шестого континента, с его природой, работами русских и зарубежных ученых по изучению этого материка. Ряд экспозиций рассказывает о важнейших антарктических экспедициях, в особенности о русской экспедиции Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева, открывшей антарктический материк (1820 г.), о научных исследованиях советских антарктических экспедиций на станциях (Мирный, Восток, Молодежная, Беллинсгаузен, Ленинградская, Новолазаревская и др.), о работе полярной авиации на антарктическом материке, о походах санно-тракторных поездов в глубь материка, об изучении антарктических вод. Привлекают внимание научные исследования (географические открытия, климат, геология, гляциология, гидрологический и ледовый режим, гидрография и др.); быт полярников на антарктическом материке, условия работы и условия плавания. Этот раздел демонстрирует участие ученых ААНИИ в проведении международных экспедиций и научных экспериментов, а также научные контакты с зарубежными исследователями Антарктики.

К сожалению, Музей Арктики и Антарктики не имеет возможности показать все, чем располагает и полностью удовлетворить запросы и интересы посетителей. Но тем не менее посетитель уходит из музея с чувством гордости за соотечественников, покоящихся суровую природу полярных стран.

За годы существования Музей Арктики и Антарктики сосредоточил более 75 тыс. экспонатов, многие из которых являются уникальными. Кроме того, музей располагает большим книжным фондом. По богатству экспонатов, их исторической и научной цен-

ности — это единственный в мире музей, пользующийся заслуженной популярностью не только у нас в стране, но и за границей. Достаточно сказать, что Музей Арктики и Антарктики и его выставки ежегодно посещает более 150 тыс. человек. Среди посетителей музея — гости из Соединенных Штатов Америки, Канады, Японии, Австрии, Германии, Таиланда, Швеции, Финляндии, Норвегии, Англии и других стран. Они с удовольствием осматривают музей, с восторгом отзываются о его полезной и большой работе, восхищаются нашими замечательными достижениями в области изучения полярных областей и мужеством русских полярников.

Известный американский художник Рокуэлл Кент, посетивший музей в ноябре 1960 г., написал в журнале отзыв: «Я прожил достаточно долго в Арктике. Поэтому, пройдя по залам этого музея, я почувствовал тоску по Гренландии...», а профессор Боровик из Польши так выразил свое восхищение: «Ваш музей — изумительный пример для многих стран, как следует хранить память о доблестных усилиях человека в освоении недоступных частей мира». Среди записей в книге посетителей, сделанных иностранными гостями, мы видим имена главы американской делегации XVII Международного геологического конгресса Смита, широко известного американского полярного исследователя Вилкинса, известного канадского ученого профессора Ллойда. Записи иностранных гостей единодушно выражают восхищение грандиозными достижениями в исследовании полярных областей.

Но помимо познавательного значения Музей Арктики и Антарктики играет большую воспитательную роль. «Музей может служить памятником тем, кто прокладывал первые пути в водах суровой Арктики, а также школой для молодых полярников и моряков» — гласит запись в книге отзывов.

В том, что музей пользуется популярностью, большая заслуга всех его сотрудников со дня создания. Все руководители музея В. М. Васильев (до 1935 г.), И. С. Сукоркин (1935—1938 гг.), И. М. Суслов (1938—1950 гг.), И. К. Якимович (1950—1972 гг.), В. Ф. Воронин (1972—1985 гг.) совместно с сотрудниками внесли большой вклад в улучшение его работы по пропаганде достижений русских полярников в деле изучения и освоения полярных областей.

Основными направлениями деятельности музея в настоящее время являются комплектование фондов музейных предметов, их учет и хранение; научно-экспозиционная работа, направленная на всестороннее использование фондов музейных предметов; экскурсионно-массовая работа с целью пропаганды научно-технических знаний и популяризации истории исследования и освоения Арктики и Антарктики.

Современный Музей Арктики и Антарктики является уникальным, экспонаты которого составляют памятники материальной и духовной культуры комплексно и одновременно отображающих характерные особенности природы, а также историю исследования и освоения полярных стран обоих полушарий Земли.

Из-за ограниченной экспозиционной площади лишь около 3 % собрания музея составляет его стационарная экспозиция. Здесь представлены подлинный самолет «Ш-2» и жилой комплекс дрейфующей станции «Северный полюс-1», агрегаты ледокола «Ермак» и головная часть метеорологической ракеты, сани английской экспедиции Р. Скотта на Южный полюс и образцы отечественной и зарубежной климатической одежды полярников, а также около 2000 других предметов и документов.

Значительное место в деятельности музея занимают ежегодно организуемые им стационарные передвижные выставки. И хотя все они посвящены Арктике и Антарктике, конкретная тематика их достаточно обширна. Эти выставки экспонируются как в самом музее, так и за его пределами. Кроме того, музей принимает активное участие во многих зарубежных выставках и экспозициях, организуемых совместно с другими музеями. Благодаря выставочной деятельности музея с его экспонатами познакомились посетители Финляндии, Японии, Австралии, Германии, Канады, Испании, Голландии и США.

Все сокровища музея — это огромный духовный потенциал, который используется для эстетического и патриотического воспитания молодежи. Эта работа является важной и актуальной задачей музея и в настоящее время.

Поступила 20.01.94 г.

УДК 91(061)

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт — центр российской полярной науки. Баскаков Г. А., Воскресенский А. И., Герасимова Т. М., Данилов А. И., Корнилов Н. А., Короткевич Е. С., Фролов И. Е. — Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 6—32.

Освещены основные этапы научной деятельности института за 75 лет с момента его создания в 1920 г. Показаны основные научные результаты, полученные им в области морского ледоведения, океанологии и гидрохимии Северного Ледовитого и Южного океанов, метеорологии, геофизики (магнитосфера, ионосфера, условия распространения радиоволн) и физической географии Арктики и Антарктики, исследования физических характеристик льда, снега и водных масс полярных районов, гидрологии устьевых областей рек Арктики, взаимодействия атмосферы и океана в полярных районах, изучения ледовых качеств судов, полярной медицины и адаптации человека к жизни и труду в экстремальных природных условиях и т. д. Дана характеристика системы научного гидрометеорологического и геофизического обслуживания различных отраслей народного хозяйства в Арктике, в частности плавания судов по трассе Северного морского пути, а также обеспечения интересов России в Антарктике. Указаны основные направления научных исследований института на ближайшие годы.

UDC 91 (061)

The Arctic and Antarctic Research Institute — the centre of the polar science of Russia. Baskakov G. A., Voskresenskii A. I., Gerasimova T. M., Danilov A. I., Kornilov N. A., Korotkevich E. S., Frolov I. E. — Problems of the Arctic and Antarctic, 1995, vol. 70, p. 6—32.

One Highlights the main stages of the institutes research activity within 75 years from its creation in 1920. Presented are the main results in the area of sea ice studies, oceanology and hydrochemistry of the Arctic and Southern oceans, meteorology, geophysics (magnetosphere, ionosphere, conditions of the radiowave propagation) and physical geography of the Arctic and Antarctic, studies of the physical characteristics ice, snow and water masses of the polar regions, hydrology of the mouths of the arctic rivers, sea/air interaction in the polar regions, ice impact on the ships hull, polar medicine and human adaptation to life and work in extreme natural conditions, etc. The system for scientific hydrometeorological and geophysical information services to meet the requirements of different branches of the economy in the Arctic, in particular, navigation of the ships along the Northern Sea Route and also to provide for the interests of the Russia in the Antarctic is described. Main directions of the research studies of the institute for the near future are indicated.

УДК 551.326.03

Основные научно-прикладные результаты деятельности ААНИИ в системе Гидрометслужбы. Крутских Б. А. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 33—44.

Дана краткая характеристика основных научно-прикладных работ ААНИИ за 1963—1990 гг., направленных на развитие системы научного гидрометеорологического обеспечения различных отраслей народного хозяйства в Арктике и Антарктике. Представлены результаты научно-прикладных работ в области ледоведения, метеорологии и геофизики, океанологии, гидрологии устьевых областей рек Арктики и др.

UDC 551.326.03

The main scientific-applied results of the AARI' activity within Hydrometeorological service. Krutskikh B. A. Problems of the Arctic and Antarctic, 1995, vol. 70, p. 33—44.

The brief characteristics of the main scientific applied works of the AARI within 1963—1990 years, frend for the development of the system scientific hy-

drometerological securing of the different branches of the national economy in the Arctic and Antarctic are presented. The results of the scientific applied in the area of the sea studies, meteorology and geophysics, river hydrology etc, are presented.

УДК 91 (061)

Современное состояние и перспективы научных исследований в Арктике. Фролов И. Е. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 45—49.

Дана характеристика современного состояния изученности природных условий Арктики и намечены перспективы их исследований на ближайшие годы.

UDC 91 (061)

The modern conditions and prospects of studies in the Arctic. Frolov I. E. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 45—49.

There is the characteristic modern state of the study natural conditions of the Arctic and be planned of the prospects of them researches on the near future years.

УДК 91(06) (268) (98)

Арктический институт в годы Великой Отечественной войны (к 50-летию Победы в Великой Отечественной войне). Воеводин В. А. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 50—57.

В статье описывается самоотверженный труд и участие в боевых операциях армии и флота наших полярников — сотрудников Арктического научно-исследовательского института в годы Великой Отечественной войны.

UDC 91 (06) (268) (98)

The Arctic Institute during the Great Patriotic War (by the 50th anniversary of the V-Day of the Great Patriotic War). Voevodin V. A. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 50—57.

The dedicated work and participation in the combative operations of the Army and the Fleet our men — the members of the staff Arctic Institute in the years of the Great Patriotic War are described.

УДК 551.326.1 (268)

Основные итоги изучения и прогнозирования морских льдов Арктики. Крутих Б. А. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 58—74.

Представлены основные итоги исследований морских льдов и разработки методов ледовых прогнозов. Обращено особое внимание на главные причины изменчивости состояния ледяного покрова, которые необходимо учитывать в ледовых прогнозах и расчетах. Рассмотрены вопросы связи судоходства с ледовыми условиями в арктических морях. Изложено современное представление роли ледяного покрова Мирового океана в климатических изменениях.

UDC 551.326.1 (268)

The main results of studying and forecasting the Arctic sea ice. Krutikh B. A. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 58—74.

The main results of the studies of sea ice and elaboration of the methods of ice forecasting are presented. To pay especially attention to the main causes which necessary account in the sea ice forecastings and calculations. Examine the questions of the connection of the navigation with the ice conditions in the Arctic seas.

УДК 551.326.14(268)

Исследования динамики и строения ледяного покрова Северного Ледовитого океана. Горбунов Ю. А., Гудкович З. М., Лосев С. М. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 75—83.

Дана краткая характеристика результатов исследований динамики и строения ледяного покрова Северного Ледовитого океана, выполненных ААНИИ по материалам натурных наблюдений. Показано развитие представлений о динамике ледяного покрова по мере использования новых более совершенных технических средств наблюдений.

Библ. 29.

UDC 551.326.14(268)

Studies of dynamics and structure of the Arctic Ocean ice cover. Gorbunov Yu. A., Gudkovich Z. M., Losev S. M. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 75—83.

The brief characteristic of the results of investigations of the dynamics and structure of the Arctic Ocean ice cover is given. These investigations were carried out by the AARI on the basis of field observations. Development of scientific outlooks to ice cover dynamics as new more improved means of observations are used.

Bibl. 29.

УДК 551.326.12(269)

Основные итоги и перспективы исследований ледового режима Южного океана. Коротков А. И. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 84—103.

Ретроспективный анализ достижений в области изучения ледового режима Южного океана заключается конструктивными выводами о перспективных направлениях современных исследований и первыми результатами их реализации.

Табл. 1, ил. 3, библ. 61.

UDC 551.326.12(269)

The main results and prospects of the Southern Ocean ice regime studies Korotkov A. I. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 84—103

Retrospective analysis of achievements in the study of ice conditions of the Southern Ocean contained constructive conclusions about perspective directions of modern researches and main results their realization.

Tabl. 1, illustr. 3, bibl. 61.

УДК 551.326.03

Наблюдения за морскими льдами и их исследования, создание автоматизированной ледово-информационной системы. Бушуев А. В., Волков Н. А., Грищенко В. Д. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 104—119.

Описаны этапы развития и совершенствования методов и технических средств ледовых наблюдений. Указано, что изучение ледяного покрова как географического объекта на полигонах, дрейфующих станциях и в судовых экспедициях в настоящее время, как правило, сочетается с валидацией средств дистанционного зондирования. Приведены результаты исследования с использованием средств водолазной техники подводной части ледовых образований и процессов на нижней поверхности ледяных полей. Изложена концепция, этапы создания, ввода в эксплуатацию и программа совершенствования автоматизированной ледово-информационной системы Арктики (АЛИСА).

Библ. 37.

UDC 551.326.03

Observations and studies of sea ice, development of the automated system for ice data. Bushuev A. V., Volkov N. A., Grischenko V. D. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 104—119.

Stages of development and improvement of techniques and facility for sea ice observations are described. It is shown, that study of sea ice geography in testing areas, drifting stations and ship expeditions is combined, as a rule, with validation of remote sensing techniques. The results of research on underwater sea ice surface and processes in the bottom of ice floes with the use of diving technique are listed. The conception, stages of creation, putting into operation and the program of improvement for Ice Information System for the Arctic (ALISA) are stated.

УДК 551.467

Методы и результаты изучения физических характеристик льда, снега и водных масс полярных районов. Лебедев Г. А., Гаврило В. П., Спицын В. А. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 120—142.

Рассмотрены основные направления и результаты исследований, выполненных в отделе физики льда и океана за почти 40-летний период работы. Условно эти исследования можно разделить на три взаимосвязанные направления:

- изучение физических характеристик льда, снега и водных масс;
- разработка технических средств и методов изучения геофизических объектов;

- дешифрирование информации о характеристиках исследуемых объектов.

Представлены результаты исследований пространственно-временной изменчивости строения, физико-механических и электрических свойств пресноводного и морского льда, радиофизических характеристик и собственного радиотеплового излучения ледяных покровов. Дано описание разработанных акустических и лазерных методов исследования ледяного покрова и его динамики, радиолокационных и СВЧ радиометрических методов изучения геофизических сред и результатов использования инфракрасной техники для дистанционного определения состояния водно-ледовой поверхности полярных районов.

Приведены некоторые результаты прикладных исследований льда (явления обледенения и обледенения, методы управления ледотермическим режимом, термобурение). Рассмотрены вопросы изучения тонкой структуры водных масс полярных областей, оптических характеристик морской воды, льда и снега, пространственной и временной изменчивости гидрофизических полей в зонах дрейфа айсбергов, новых методов исследования динамических и термических процессов в океане.

Библ. 90.

UDC 551.467

The methods and results of studies of ice, snow and water physical characteristics for the polar regions. Lebedev G. A., Gavrilo V. P., Spitzin V. A. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 120—142.

Main trends and results of investigation fulfilled by Ice and Ocean Physics Department of Arctic and Antarctic Research Institute during nearly 40 years period of its existence are shortly considered.

These investigations can be conditionally divided on three scientific directions interconnected between themselves:

- study of physical properties of ice, snow and water bodies;
- elaboration of technology and methods for geophysical researches;
- development of methods of decoding of information obtained with help of contact and remote apparatus about objects being searched.

The results of investigations of spatial-temporal variability of crystallographic structure physical-mechanical and electrical properties of fresh water and sea ice, radiophysical characteristics and own radioheat irradiation of ice covers are presented.

Description of elaborated acoustical and laser method for investigation of ice covers and its dynamics, radiolocation and SHF radiometric methods or geophysical research and results of use of infrared technique for remote determination of state of water-ice surfaces in polar regions is given.

Some results of applied ice study (phenomena of icing and ice-snow sticking, methods of regulation of ice growth and melting processes, thermodrilling of ice) are presented.

There are also considered some questions of study of: fine structure of water bodies in polar regions; optical characteristics of sea water, different nature ice and snow; spatial and temporal variability of hydrophysical fields near icebergs; new methods of investigation of dynamic and thermodynamic processes in ocean.

Bibl. 90.

УДК 629.124.791

Итоги и перспективы работы отдела ледовых качеств судов. Лихоманов В. А. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 143—149.

В 1991 г. в отделе ледовых качеств судов ААНИИ вступил в строй новый, более современный ледовый опытовый бассейн. Благодаря его техническим возможностям существенно расширена программа модельных испытаний отдела. В частности, проведена серия экспериментов по взаимодействию льда с океанотехническими сооружениями. Исследовались составляющие реакции стационарных конструкций различных типов на действие надвигающегося ледяного поля. Впервые такой эксперимент проводился в трех разных масштабах для учета и максимально возможного исключения масштабного эффекта. Результаты эксперимента и авторские теоретические разработки позволили сформулировать задачу и приступить к разработке комплексной методики расчета ледовых нагрузок на шельфовые сооружения.

Концепция ледового паспорта, разработанная в отделе в 50—60-е годы, получила широкое практическое применение: им снабжены 16 типов судов ледового плавания. Совершенствование методов расчета безопасных режимов эксплуатации судов и имитационная модель движения судов во льдах, также разработанная в отделе, послужили научной основой для постановки перспективной темы по разработке методики численной оценки риска эксплуатации судов и шельфовых сооружений в акваториях, покрытых льдом.

UDC 629.124.791

The results and prospects of the "Ship Performance in Ice Department" Likhomanov V. A. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 143—149.

The new modern ice towing tank of Department of Ship performance in ice of AARI rent into operation in 1991. Its new technical feasibilities allowed to enhance essentially program of model tests in the department. Among others there were performed of tests on interaction between ice and offshore techniques. The components of reaction of offshore of difference kinds were investigated on the action of moving ice. It was first used three models of difference scale to take into account and to exclude a scale effect. The results of this tests and the theoretical research of the staff of the department allowed to begin a development of a combined method for a loads prediction for the offshore.

The ice passport conception which have been created in 50—60 years has a large practical application: 16 ice going ship types supported by ice passports. The improvement of the method for prediction of trouble free navigation regime and development an imitation model of ship motion in ice are a scientific background for the researches in the holding promise area of numerical estimation at operational risks of ships and offshore in seas with ice cover.

УДК 551.46.06(268)

Океанографические исследования в Арктике. Никифоров Е. Г. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 150—171.

Освещены основные этапы развития научной деятельности ААНИИ в области физической и динамической океанографии и термического состояния во Северного Ледовитого океана за 75 лет существования института. Дан ретроспективный анализ становления представлений об океанологическом режиме океана, включая его многолетние и климатические колебания. Рассмотрено становление методов теоретического описания и расчетов более короткопериодных явлений — ветровых течений, приливов, других термических и динамических процессов в морях океана и его бассейнах.

Ил. 4, библи. 44.

UDC 551.46.06(268)

Oceanographic investigations in the Arctic. Nikiforov E. G. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 150—171.

One Highlights the main stages of the institute's research activity in the area of physical and dynamical oceanography and thermal conditions of the waters of the Arctic ocean during 75 years existence of the AARI. There is retrospective analysis the formation ideas on oceanological regime ocean include his several years and climatic changes. Consider the formation of the methods theoretic description and calculation more short-periodic phenomena — wind currents, tides, others thermal and dynamic processes in the seas of the ocean and his basins.

Illustr. 4, bibl. 44.

УДК 551.46.0(269)

Океанографические исследования Южного океана. Антипов Н. Н., Ботников В. Н., Клепиков А. В. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 172—182.

Отражены основные этапы деятельности и наиболее значительные научные достижения Арктического и антарктического научно-исследовательского института в исследованиях Южного океана за период с 1956 по 1993 г. включительно.

Ил. 1, библи. 12.

UDC 551.46.0(269)

Oceanographic investigations in the Southern Ocean. Antipov N. N., Botnikov V. N., Klepikov A. V. Problems of the Arctic and the Antarctic, vol. 70, p. 172—182.

Main directions of scientific activity and most important results of investigations in the Southern Ocean obtained in the AARI during 1956—1993 are considered.

Illustr. 1, bibl. 12.

УДК (551.464 + 551.46.09 : 628)

Гидрохимические исследования полярных океанов. Смагин В. М. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 183—192.

Приведены сведения о развитии гидрохимических исследований Северного Ледовитого и Южного океанов в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте с момента его образования. Изложены принципы математического моделирования гидрохимического режима арктических морей на примере Карского моря. Представлены также результаты работ по исследованию химического загрязнения морской среды полярных районов.

Табл. 3, ил. 1, библи. 21.

JDC (551.464 + 551.46.09 : 628)

Hydrochemical research of polar oceans. Smagin V. M. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 183—192.

The paper presents data on development of hydrochemical research of the Arctic and South oceans at the Arctic and Antarctic research institute starting from its establishing. Principles of mathematical modeling of the Arctic seas hydrochemical regime are reported taking the Kara sea as an example. Results on chemical pollution of the marine environment of the polar regions are submitted.

Tabl. 3, illustr. 1, bibl. 21.

ДК 551.465.7

Взаимодействие атмосферы и океана в полярных районах. Алексеев Г. В. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 193—202.

Представлен обзор исследований крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в полярных областях и его влияние на колебания климата. Особо отмечена роль перераспределения тепла атмосферной циркуляцией и океанами в формировании колебаний климата.

Библ. 34.

UDC 551.465.7

The atmosphere and ocean interaction in the polar regions. Alekseev G. V. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 193—202.

A review of the large scale interaction of the ocean and atmosphere in the polar regions is presented. The significance of the heat redistribution in the ocean — atmosphere system is stressed in connection with the climate variation.

Библ. 34.

УДК 551.462(268)

Открытие хребта Ломоносова. Захаров В. Ф. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 203—215.

Дается обзор представлений о строении и рельефе дна центральной части Северного Ледовитого океана — Арктического бассейна. Описывается организация и проведение первой послевоенной Высокоширотной воздушной экспедиции АНИИ 1948 г., положившей начало открытию подводного хребта Ломоносова и коренному пересмотру взглядов на строение дна этой труднодоступной области океана.

Табл. 1, библ. 13.

UDC 551.462(268)

The discovery of the Lomonosov Ridge. Zakharov V. F. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 203—215.

The review of the ideas about the structure and relief of the bottom Arctic ocean is given. There is the brief to organization and carried out of the first post-war High-latitude Air Expedition in the 1948 year, which mark the beginning of the Lomonosov Ridge and radical revision of the opinions on the structure of the bottom this hard accessible region of the ocean.

Табл. 1, библ. 13.

УДК 551.583(98) 551.58

Полярная метеорология: становление и развитие. Воскресенский А. И. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 216—245.

Дан исторический обзор становления и развития полярной метеорологии в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте за 75 лет. Выделены основные этапы деятельности отдела метеорологии ААНИИ. Акцентируется внимание на результатах работ в области исследования климата, радиационного и температурного режимов, циркуляции атмосферы, микро- и макроструктуре облаков, водяного пара и влагооборота в атмосфере полярных областей, осадкам и снежному покрову, региональному мониторингу климата, проблемам качества атмосферного воздуха и атмосферного озона в Арктике и Антарктике. В заключение сформулированы актуальные направления исследований в новых экономических условиях.

UDC 551.583(98)+551.58

Polar Meteorology: its development and prospects. Voskresensky A. I. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 216—245.

The historical review of the formation and the development of the polar meteorology in the Arctic and Antarctic Research Institute during 75 years is presented. The main stages of the activity of the Department Meteorology (AAR) are distinguished. Accent are the attention on the results of the works in the area research of the climate, radiation and temperature regimes, micro- and macro-

microstructure of the clouds, the water steam and moisture in the atmosphere of the polar regions, precipitation and snow, regional monitoring of the climate, the problems of the quality of the atmospheric air and atmospheric ozone in the Arctic and Antarctic. In conclusion, the actual directions of the researches in the new economic conditions are formulate.

УДК 551.509.334

Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей. Виноградов Н. Д., Иванов В. В. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 246—254.

Указывается научная и практическая значимость разработки и внедрения методов долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности. Подчеркивается сложность решения этой проблемы вообще и особенно для целей прогнозирования по таким специфическим регионам, какими являются полярные области.

Раскрываются основные научные принципы создания макроциркуляционного метода исследований и разработки таких прогнозов для указанных регионов. Дается оценка результатам последовательного поэтапного решения данной проблемы в ААНИИ.

В заключение перечисляется круг задач, от решения которых зависит дальнейшее развитие и совершенствование макроциркуляционного метода.

UDC 551.509.334

Macrocirculative method of long-term meteorological forecasts for the polar areas of the Earth. Vinogradov N. D., Ivanov V. V. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 246—254.

It is shown the scientific and practical significance in developing and promoting the methods of long-term meteorological forecast done in advance for different terms. The complexity to solve the problem is stressed both in general and in particular for the forecast in the specific areas such as the polar regions.

The main principals to create the macrocirculation research method and to work out such forecasts for the regions mentioned above are clarified. The assessment for the results of successive solving the problem at the AARI is given.

In summary the number of problems which solution markedly affects further improvement and development of macrocirculation method are listed.

УДК 551.58.001.57 + 551.583

Полярная геофизика в ААНИИ: история, современный статус и перспективы. Трошичев О. А., Широчков А. В., Благовещенская Н. Ф. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 255—270.

Дано краткое описание развития работ в ААНИИ в области геомагнетизма, ионосферных и магнитосферных исследований, а также исследования условий распространения радиоволн. Сформулированы цели и перспективы геофизических исследований в Арктике в новых экономических условиях.

UDC 551.58.001.57 + 551.583

Polar geophysics at the AARI: The history, modern state and prospects. Troshichev O. A., Shirochkov A. V., Blagoveshenskaya N. F. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 255—270.

Brief review of geomagnetic, ionospheric, magnetospheric and radiowave propagation studies, carried out in AARI is presented. The aims and perspectives of geophysical research in Arctica under the new economical conditions are formulated.

УДК 910.4(98)(99)

Географические исследования полярных стран. Аверьянов В. Г. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 271—292.

Приводятся сведения по истории создания и деятельности отдела географии полярных стран ААНИИ. Описываются проводившиеся сотрудниками отдела экспедиционные исследования природных условий Арктики и Антарктики, характеризуются полученные ими научные результаты. В списке литературы указаны основные статьи и монографии, опубликованные сотрудниками отдела.

UDC 9107.4(98) (99)

Geographical investigations of the Polar countries. Averianov V. G. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 271—292.

Some information about the history of creation and activity of the Polar Geography Department, AARI is considered. The investigations carried out by the scientists of the Department and their scientific results are described. The main papers and monographies are given in the list of publications.

УДК 613.1(98) (99)

Полярная медицина: итоги и перспективы. Клопов В. П. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 293—304.

В статье дается обзор результатов медицинских — физиологических, психологических, гигиенических исследований, проводившимися в Арктике и Антарктиде. Обобщены основные научные данные, полученные в итоге многолетних работ ученых и врачей-участников полярных экспедиций, показаны пути и способы практического использования полученных материалов в экспедициях и на зимовках. Дана краткая оценка научных и практических достижений полярной медицины и сформулированы наиболее перспективные направления ее дальнейшего развития.

Библ. 44.

UDC 613.1(98) (99)

Polar medicine: results and prospects. Klopov V. P. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 293—304.

The review of results of the medical — physiological, psychological and hygienic researches conducted in the Arctic and Antarctic is performed. The main scientific data received as a result of long-term works of the scientists and doctors-participants of polar expeditions are summarized, the ways and means of practical use of obtained materials in expeditions and winterings are shown. The brief appraisal of the scientific and practical achievements of polar medicine is given and the most prospective directions of its development are formulated.

Bibl. 44.

УДК 91(061) (98) (99)

Музей Арктики и Антарктики. Ягодницын Н. Г. Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып. 70, с. 305—311.

Музей Арктики и Антарктики — культурно-просветительное учреждение историко-географического профиля. Музей является уникальным учреждением культуры, экспонаты которого составляют памятники материальной и духовной культуры и отражают характерные особенности природы, а также историю исследования и освоения полярных областей Земли.

UDC 91(061) (98) (99)

The Arctic and Antarctic Museum. Jagodnitzin N. G. Problems of the Arctic and the Antarctic, 1995, vol. 70, p. 305—311.

The Museum of the Arctic and Antarctic is the cultural and educational organization of the historical and geographical profile. The Museum is the exceptional organization of the culture, the exhibits of which reflect the characteristic peculiarities of the nature and history of the exploration and assimilation of the polar regions of the Earth also.