

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ  
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

# ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 1 (84)

*Посвящается  
90-летию*

*Арктического и антарктического  
научно-исследовательского института*



Санкт-Петербург  
ААНИИ  
2010

## Главный редактор

д-р геогр. наук, профессор *Фролов И.Е.* (ААНИИ)

## Редакционная коллегия

канд. физ.-мат. наук *Данилов А.И.* (зам. главного редактора)

канд. геогр. наук *Бузин И.В.*

(ученый секретарь, тел. (812) 352-1227, e-mail: [buzin@aari.nw.ru](mailto:buzin@aari.nw.ru))

д-р физ.-мат. наук *Алексеев Г.В.* (ААНИИ)

канд. геол.-минерал. наук *Грикуров Г.Э.* (ВНИИОкеангеология)

д-р геогр. наук *Гудкович З.М.* (ААНИИ)

д-р физ.-мат. наук *Доронин Ю.П.* (РГГМУ)

д-р геогр. наук *Зубакин Г.К.* (ААНИИ)

д-р. геол.-минерал. наук *Иванов В.Л.* (ВНИИОкеангеология)

д-р физ.-мат. наук *Катцов В.М.* (ГГО)

канд. геогр. наук *Липенков В.Я.* (ААНИИ)

канд. техн. наук *Лихоманов В.А.* (ААНИИ)

д-р. физ.-мат. наук *Макшtas А.П.* (ААНИИ)

д-р геогр. наук *Никифоров Е.Г.* (ААНИИ)

канд. геогр. наук *Радионов В.Ф.* (ААНИИ)

д-р физ.-мат. наук *Рожков В.А.* (СПбГУ)

д-р геогр. наук *Саватюгин Л.М.* (ААНИИ)

д-р физ.-мат. наук *Тимохов Л.А.* (ААНИИ)

д-р геогр. наук *Шикломанов И.А.* (ГГИ)

## ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 1 (84)

Подписной индекс издания 48657

в каталоге «Газеты. Журналы» ОАО «Агентство Роспечать»

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77-35144 от 28 января 2009 г.

Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года №6/6 журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Редактор: Е.В.Миненко

Оригинал-макет и обложка: А.А.Меркулов

На обложке рисунок А.М.Козловского

ISSN 0555-2648

© Государственный научный центр РФ  
Арктический и антарктический  
научно-исследовательский институт  
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2010.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.О.Андреев, М.В.Дукальская, С.В.Фролов.</i> Страницы истории ААНИИ .....	7
<i>А.Н.Чилингаров, А.И.Бедрицкий, И.Е.Фролов, А.И.Данилов, В.Г.Дмитриев, А.В.Клепиков.</i> Результаты МПГ 2007/08 и их развитие .....	26
<i>А.И.Данилов, В.Г.Дмитриев, И.Е.Фролов.</i> Развитие работ и исследований в Арктике в области гидрометеорологической безопасности .....	42
<i>В.В.Лукин, А.В.Клепиков, А.А.Быстратович.</i> Россия в Антарктике: современное состояние и перспективы.....	53
<i>Г.В.Алексеев, В.Ф.Радионов, Е.И.Александров, Н.Е.Иванов, Н.Е.Харланенкова.</i> Климатические изменения в Арктике и северной полярной области .....	67
<i>Н.Ф.Благовещенская.</i> Комплексные исследования эффектов воздействия мощных КВ радиоволн на высокоширотную ионосферу: итоги и перспективы.....	81
<i>И.М.Аишк, С.А.Кириллов, А.П.Макитас, В.Н.Смирнов, В.Т.Соколов, Л.А.Тимохов.</i> Основные результаты морских исследований Арктики в XXI веке .....	100
<i>Л.М.Саватюгин, М.А.Преображенская.</i> Евгений Константинович Федоров (к 100 летию со дня рождения).....	116

## CONTENTS

<i>A.O.Andreev, M.V.Dukalskaya, S.V.Frolov.</i> Chapters in the AARI's history .....	7
<i>A.N.Chilingarov, A.I.Bedritsky, I.E.Frolov, A.I.Danilov, V.G.Dmitriev, A.V.Klepikov.</i> The results of the IPY 2007/08 and their development .....	26
<i>A.I.Danilov, V.G.Dmitriev, I.E.Frolov.</i> Development of the Arctic science investigations and other activities for environmental protection .....	42
<i>V.V. Lukin, A.V.Klepikov, A.A.Bystramovich.</i> Russia in the Antarctic: present state and future trends .....	53
<i>G.V.Alekseev, V.F.Radionov, E.I.Aleksandrov, N.E.Ivanov, N.E.Kharlanenkova.</i> Climate change in the Arctic and the Northern polar region .....	67
<i>N.F.Blagoveshchenskaya.</i> Multi-instrumental studies of phenomena in the high latitudinal ionosphere initiated by powerful HF radio waves: results and outlook .....	81
<i>I.M.Ashik, S.A.Kirillov, A.P.Makshas, V.N.Smirnov, V.T.Sokolov, L.A.Timokhov.</i> The major results of the sea-going Arctic expeditions in the beginning of XXI century .....	100
<i>L.M.Savatyugin, M.A.Preobraghenskaya. Evgeny Constantinovich Fyodorov</i> (In honor of 100th birthday anniversary) .....	116

## ПРЕДИСЛОВИЕ

4 марта 2010 года исполнилось 90 лет со дня создания Северной научно-промысловой экспедиции, прямым наследником которой стал Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ).

Только что завершился Международный полярный год (МПГ) 2007/08, и сегодня ученые многих стран подводят итоги этого поистине значимого события в изучении полярных регионов Земли.

В этом году исполняется 100 лет со дня рождения Евгения Константиновича Федорова – геофизика, известного полярного исследователя, академика АН СССР, много лет возглавлявшего Гидрометслужбу СССР. В 1939 г. он возглавил наш институт и за короткое время провел реорганизацию его структуры. Именно в это время институт получил новое название – Арктический научно-исследовательский институт.

В статьях этого и последующего юбилейного сборника «Проблемы Арктики и Антарктики» публикуются материалы об основных этапах деятельности института, о первых результатах МПГ 2007/08, о современном состоянии и развитии работ гидрометеорологического профиля в Арктике и Антарктике.

В целом содержание двух сборников (выпуски № 1 и № 2, 2010 г.) дает достаточно полное представление о деятельности Государственного научного центра Российской Федерации Арктический и антарктический научно-исследовательский институт за 90 лет его существования.

*Редколлегия*

## INTRODUCTION

March 4, 2010 is 90th anniversary of the establishment of Northern Science and Commercial Expedition which heir Arctic and Antarctic research institute (AARI) has become.

International polar year 2007/08 has just finished; scientists of many countries summarize works undertaken in the scope of this event, significant for study of polar regions of Earth.

This year is 100th anniversary of Eugeny Konstantinovich Fyodorov's birth, specialist in geophysics, famous polar researcher and member of Academy of Sciences of USSR, who was leading Hydrometeorological Service of USSR for many years. In 1939, he became a head of our institute, reorganized it during short period of time and gave it new name Arctic and Antarctic Research Institute.

This collected volume of «Problems of Arctic and Antarctic» and the next, anniversary one contain materials about main phases of the institute activity, first results of the International Polar Year 2007/08 and the current state of hydrometeorological activity in the Arctic and the Antarctic.

On the whole, both volumes provide insight into works of the state Scientific Center Arctic and Antarctic Research Institute for 90 years.

*Editorial board*

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ААНИИ

нач. отдела А.О.АНДРЕЕВ<sup>1</sup>, зам. директора М.В.ДУКАЛЬСКАЯ<sup>1</sup>,  
зав. лаб. С.В.ФРОЛОВ<sup>2</sup>

1 – Российский государственный музей Арктики и Антарктики, Санкт-Петербург,  
andrejev@inbox.ru

2 – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, svf@aari.nw.ru

*В статье представлен краткий обзор девяностолетней истории Арктического и антарктического научно-исследовательского института – центра отечественных полярных исследований.*

*Ключевые слова:* история, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ААНИИ, Севэкспедиция, Институт по изучению Севера, ИИС, полярный, Арктика, Антарктика, экспедиции.

90 лет назад, 4 марта 1920 г. Президиум Высшего Совета Народного хозяйства РСФСР утвердил Положение о Северной научно-промысловой экспедиции (Севэкспедиции). Ее прямым наследником стал Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ).

В Постановлении Президиума ВСНХ от 4 марта 1920 г. говорилось:

*«В целях научно-практических исследований и попутного использования естественных производительных сил, по преимуществу звериных, рыбных промыслов и оленеводства на Русском Севере, учредить при Научно-Техническом отделе Выссовнархоза Северную научно-промысловую экспедицию. На работы Экспедиции ассигновать сто миллионов рублей (100 000 000 рублей), из которых выдать Экспедиции в лице Кулика Нестора Алексеевича, Самойловича Рудольфа Лазаревича и Керцелли Сергея Васильевича – пятьдесят миллионов рублей (50 000 000 рублей) наличными для немедленного начала работ. Предоставить Экспедиции право получения судов и необходимых снаряжения и продовольствия от соответствующих государственных органов. Экспедиции предоставляется право иметь свою печать».*

Перед новой организацией ставилась задача «производства научно-технических исследований естественных производительных сил Русского Севера... а также руководство и координация научно-практических работ, производимых всеми органами и учреждениями на местах». В Положении отмечалось, что «все распоряжения Севэкспедиции, касающиеся регулирования и организации научно-практических исследований на Русском Севере, являются обязательными и подлежащими неуклонному исполнению как частными, так и правительственными и общественными организациями».

Таким образом, Севэкспедиция изначально создавалась как ведущая организация, координирующая все научно-исследовательские работы в Арктике. Претерпев за свою 90-летнюю историю ряд реорганизаций и сменив несколько названий, эта организация (ныне ААНИИ) сохранила статус центра отечественных полярных исследований.

В Ученый совет Севэкспедиции были привлечены известные ученые К.М.Дерюгин, Н.М.Книпович, А.Е.Ферсман, Ю.М.Шокальский и др., а начальником ее был избран Р.Л.Самойлович, геолог и полярный исследователь.

Следует отметить, что Севэкспедиция начала свою научную деятельность, опираясь на богатейший опыт исследований российских ученых, и по сути стала преемником русской школы и традиций полярных исследований.

### 1920-е годы

Поскольку Севэкспедиция должна была координировать все научно-исследовательские и промысловые работы на севере РСФСР, деятельность ее имела многоотраслевой и многопрофильный характер. Одной из причин такой структуры была сложная экономическая ситуация, в которой находилась страна. Как писал Р.Л.Самойлович в 1921 г., «при крайне тяжелых условиях... было бы непомерной роскошью отправлять для изучения того или иного научно-практического вопроса целую экспедицию. Наоборот, в каждой экспедиции, в каждом отряде должны быть представлены специалисты по возможности хотя бы основных отраслей знания».

Центральное отделение Севэкспедиции располагалось в Петрограде (сначала в помещении Геологического музея, а с 1921 г. — по адресу: Первая линия В.О., д. 20), три других отделения находились в Москве, Архангельске и Вологде. Для проведения морских экспедиций Севэкспедиции были переданы парусно-моторные суда «Дельфин», «Грумант», «Надежда» и «Шарлотта».

Первые работы в Арктике Севэкспедиция провела летом 1920 г., а уже в 1921 г. была развернута широкая экспедиционная деятельность — 23 отряда решали разнообразные задачи, в том числе проводили горно-геологические, географические, биологические, этнографические, экономико-статистические исследования. Важное значение имели работы по организации и возобновлению промысловой деятельности. Отрядами руководили П.В.Виттенбург, Н.М.Книпович, Р.Л.Самойлович, А.Е.Ферсман и другие известные ученые.

20 февраля 1925 г. Постановлением Президиума ВСНХ Севэкспедиция была преобразована в институт по изучению Севера (ИИС). 2 марта было принято Положение об институте, в котором была утверждена новая структура института, сохранившая многопрофильность его деятельности. ИИС размещался по адресу: Съездовская (ныне Кадетская) линия В.О., д. 1–3. В состав ИИС входили промыслово-биологический, геолого-минералогический, почвенно-ботанический, общегеографический и экономический отделы, а с 1928 г. в институте работала советская группа международного общества «Аэроарктика». Деятельность этой группы стала важным этапом в богатой истории международного сотрудничества института.

В 1920-х годах — начале 1930-х годов институтом был организован ряд экспедиций на острова Советской Арктики, в ходе которых был произведен комплекс научно-исследовательских работ, а также построены полярные станции на этих островах. Эти экспедиции имели не только научное, но и важное государственное значение, поскольку способствовали закреплению этих территорий за СССР.

В 1921–1927 гг. состоялось несколько экспедиций на Новую Землю под руководством Р.Л.Самойловича. Участниками этих экспедиций были П.В.Виттенбург, К.М.Дерюгин, Г.П.Горбунов, В.В.Тимонов, М.М.Ермолаев, А.Ф.Лактионов и др. Ими были проведены геологические, гидробиологические, геологические, зоологические и общегеографические исследования, выполнена топографическая съемка островов Новой Земли, а также исследован гидрологический режим омывающих архипелаг вод. В ходе экспедиций был сделан ряд географических открытий, в частности открыто несколько заливов, бухт и небольших островов.

В 1928 г. после крушения в Арктике дирижабля «Италия» Осоавиахим организовал спасательную экспедицию, которую возглавили сотрудники ИИС Р.Л.Самойлович (на л/к «Красин») и В.Ю.Визе (на л/п «Мальгин»). Экспедиции удалось проникнуть в высокие широты Арктики и снять итальянцев со льдины.

Этот успех был в значительной степени обусловлен применением новейших современных технических средств – ледокола и самолетов, базировавшихся на борту «Красина» и «Мальгина».

Летом 1929 г. состоялась экспедиция на л/п «Г.Седов», одной из задач которой было создание на Земле Франца-Иосифа (ЗФИ) постоянно действующей станции. Проект экспедиции был разработан Полярной комиссией Академии наук, возглавил экспедицию О.Ю.Шмидт, его заместителями были назначены Р.Л.Самойлович и В.Ю.Визе. 29 августа 1929 г. в бухте Тихая на острове Гукера (ЗФИ) была открыта полярная станция.

В течение нескольких лет в правительстве СССР обсуждалась необходимость снаряжения экспедиции на неисследованный и труднодостижимый архипелаг Северная Земля, открытый в 1913 г. Организация экспедиции была поручена ИИС. В 1930 г. к берегам Северной Земли отправился ледокольный пароход «Г.Седов». В научную группу морской экспедиции (руководитель В.Ю.Визе) вошли сотрудники института. В августе 1930 г. советский флаг был поднят на острове Домашний, где остались работать четыре зимовщика (Г.А.Ушаков, Н.Н.Урванцев, В.В.Ходов, С.П.Журавлев). В течение двух лет участники Североземельской экспедиции обследовали острова архипелага, составив первую карту Северной Земли.

За первое десятилетие своей деятельности Севэксспедиция–ИИС на новой централизованной основе восстановила и продолжила исследовательскую деятельность в Арктике в широком спектре отраслей науки. В эти годы были всесторонне исследованы, нанесены на карту и закреплены за СССР острова Советской Арктики, сделан ряд выдающихся географических открытий.

В экспедициях 1920-х гг. формировалось новое поколение полярных исследователей. Была создана научная база, позволившая в последующее десятилетие осуществить качественный скачок в освоении Арктики.

### 1930-е годы

22 ноября 1930 г. Президиум ЦИК СССР утвердил создание на базе ИИС Всеобщего арктического института (ВАИ). В Положении о нем говорилось, что ВАИ «является центральным организующим и руководящим научно-исследовательским учреждением для всестороннего изучения полярных стран Союза ССР». Возглавил ВАИ О.Ю.Шмидт, его заместителями были назначены Р.Л.Самойлович и В.Ю.Визе.

В 1931 г. ВАИ переехал в здание бывшего Шереметьевского дворца (наб. р. Фонтанки, д. 34). Фасад здания и литая решетка ограды в течение полувека служили архитектурным и эстетическим символами института.

В начале 1930-х годов правительством СССР была поставлена задача скорейшего освоения Северного морского пути (СМП) и превращения его в постоянно действующую транспортную магистраль. Для реализации этой задачи в декабре 1932 г. было организовано Главное управление СМП (ГУСМП), которое возглавил О.Ю.Шмидт. ВАИ вошел в состав этого ведомства, став его научным центром. Директором института вновь был назначен Р.Л.Самойлович, его заместителями стали Н.Н.Урванцев и В.Ю.Визе, ученым секретарем – Н.Ф.Попов.

Новые задачи, поставленные перед ВАИ, – освоение СМП, обеспечение безопасности арктического мореплавания, исследование Центрального арктического бассейна – предопределили реорганизацию института. В середине 1930-х гг. в состав ВАИ входили геологический сектор (С.В.Обручев), гидрологический сектор (А.Ф.Лактионов), промыслово-биологический сектор (В.К.Есипов), геодезический сектор (К.А.Салищев), геофизический сектор (В.А.Березкин), гидрографический сектор (Н.И.Евгенов), картографический кабинет (Я.Я.Гаккель). Три филиала института работали в Архангельске (Н.Г.Рослов), на Камчатке (Е.Л.Якобсон) и в Якутске.

Осенью 1930 г. с целью демонстрации достижений советских ученых в деле освоения Арктики, а также для популяризации научных знаний о полярных регионах был основан Музей Арктики, заведующим которого стал Н.В.Пинегин. Музей стал специальным отделом института. Активное участие в его организации принимали О.Ю.Шмидт, Р.Л.Самойлович, Ю.М.Шокальский, В.Ю.Визе, Я.Я.Гаккель, А.Ф.Лактионов и др.

Важным событием в исследовании полярных областей стало проведение в 1932–1933 гг. Второго Международного полярного года (МПГ) – международной комплексной научной программы по исследованию полярных областей. Значительная часть программы советских исследований в Арктике была реализована учеными ВАИ.

Одним из пунктов программы Второго МПГ было проведение комплекса наблюдений на опорной сети научных станций. Летом 1932 г. ВАИ принял активное участие в реорганизации старых и открытии новых станций в Арктике: были построены и открыты станции на мысе Челюскин, на острове Рудольфа (ЗФИ) и в Тикси (совместно с Якутской геофизической обсерваторией), на базе небольшой станции в бухте Тихая на ЗФИ оборудована геофизическая обсерватория, на западном берегу Северного острова Новой Земли совместно с Гидрометслужбой СССР организована гляциологическая станция Русская Гавань.

Другим направлением работ ВАИ в период Второго МПГ стали морские экспедиции. В 1932 г. экспедиция на л/п «Малыгин» под руководством Н.В.Пинегина провела гидрологические исследования в районе севернее ЗФИ, а экспедиция на л/п «Русанов» (начальник Р.Л.Самойлович) выполнила работы в восточной части Карского моря, проливах Вилькицкого и Шокальского.

Несомненно, самым значительным событием периода Второго МПГ явилась экспедиция ВАИ на л/п «А.Сибиряков» по СМП за одну навигацию. Руководил экспедицией О.Ю.Шмидт, научную часть экспедиции возглавлял В.Ю.Визе. В научную группу входили сотрудники ВАИ П.П.Ширшов, Я.Я.Гаккель, А.Ф.Лактионов и др.

В 1933–1934 гг. научная группа Арктического института (П.П.Ширшов, Я.Я.Гаккель, П.К.Хмызников, Н.Н.Шпаковский, В.С.Стаханов, П.Г.Лобза и др.) принимала участие в походе парохода «Челюскин» по СМП. После гибели «Челюскина» участники экспедиции продолжили научные наблюдения на дрейфующем льду.

В 1934 г. экспедиция на ледорезе «Литке» прошла по СМП в одну навигацию с востока на запад. На борту судна также работала научная группа ВАИ, которую возглавлял В.Ю.Визе.

Одной из важнейших задач, решенных сотрудниками ВАИ в 1930-е гг., было создание службы сбора и анализа информации о ледовой обстановке на трассе СМП и разработка оперативных и долгосрочных ледовых прогнозов. Для этой цели в 1934 г. при ГУСМП было организовано Межведомственное бюро ледовых прогнозов (МБЛП). В работу МБЛП значительный вклад внесли сотрудники ВАИ В.Ю.Визе, Д.Б.Карелин и Я.Я.Гаккель. В 1938 г. МБЛП было расформировано, а его функции переданы ВАИ.

Во второй половине 1930-г гг. для сбора информации о ледовой обстановке в Арктике началось активное использование полярной авиации. Методика ледовой авиаразведки была разработана специалистами института Д.Б.Карелиным, Н.А.Волковым, П.А.Гордиенко, М.М.Сомовым и др. На рубеже 1930-х – 1940-х гг. ледовая авиаразведка стала основным методом наблюдений за арктическими льдами.

В эти же годы для слежения за кромкой льда на трассе СМП были организованы «ледовые патрули» – экспедиции на небольших судах, часто на бывших звероубойных шхунах. Кроме ледовых наблюдений, научные группы патрулей прово-

дили метеорологические и гидрологические судовые наблюдения. Среди начальников ледовых патрулей конца 1930-х — начала 1940-х гг. были сотрудники института В.Т.Тимофеев, А.А.Кухарский, А.Ф.Трешников.

Другой, не менее важной задачей, к решению которой непосредственное отношение имел ВАИ, стало развитие сети полярных станций, сбор и обработка метеорологической информации и обеспечение метеорологическими прогнозами трассы СМП, полярной авиации и др. Научно-методическое руководство полярными станциями в 1933 г. было возложено на геофизический сектор (позже отдел) ВАИ.

В 1934 г. при ГУСМП был создан отдел службы погоды во главе с Б.Л.Дзержевским. В этом же году были организованы первые региональные бюро погоды в Арктике — на о. Диксон и на м. Шмидта, а позже еще три — в Тикси, Анадыре и Амдерме. Начало работ по изучению среднего многолетнего режима погоды было положено в 1936 г., когда ВАИ начал издавать серию выпусков «Материалы по климатологии полярных областей» (в них принимали участие В.Ю.Визе, Е.И.Тихомиров, З.М.Прик, Т.В.Покровская, Г.Я.Вангенгейм, И.Л.Русинова, З.А.Рязанцева).

В 1938 г. Отдел службы погоды был реорганизован в Московскую группу ВАИ, и, таким образом, задача метеорологического обеспечения СМП и Арктики в целом была возложена на Арктический институт.

В 1930-е г. были продолжены широкомасштабные геологические исследования районов Крайнего Севера. Сотрудниками ВАИ были разведаны никелевые месторождения, на базе которых был создан Норильский комбинат, обнаружены ультраосновные и щелочные породы, свидетельствующие о наличии алмазов, выявлены каменноугольные месторождения, открыты оловорудные месторождения, месторождения золота, вольфрама и других ценнейших полезных ископаемых. В 1939 г. геологическое направление было передано из ВАИ в Горно-геологическое управление Главсевморпути.

В 1931 г. Ученый совет ВАИ одобрил проект воздушной экспедиции для визуальной съемки Чукотского полуострова, разработанный С.В.Обручевым. В течение двух летних сезонов 1932–1933 гг. сотрудники ВАИ (С.В.Обручев, К.А.Салищев, А.А.Филоматитский и др.) с борта самолета произвели съемку Чукотки, составив карту и геоморфологическое описание полуострова.

В 1935 г. Постановлением ГУСМП в ВАИ был образован отдел оленеводства, который возглавил известный ученый В.Б.Сочава, впоследствии академик АН СССР. Отделу были подчинены Нарьян-Марская, Нунгинская (на Ямале) и Анадырская зональные оленеводческие станции, а также пять опорных пунктов. В 1937 г. на базе отдела оленеводства и промыслово-биологического отдела был организован институт полярного земледелия Главсевморпути.

Еще одной замечательной страницей в истории ВАИ в 1930-х гг. являются исследования Центрального арктического бассейна (ЦАБ).

В августе 1933 г. в ВАИ состоялось межведомственное совещание под председательством Р.Л.Самойловича. На совещании был одобрен план исследования Центральной Арктики с целью поиска так называемого «северного варианта СМП» — трассы, пролегающей к северу от арктических островов. План предполагал проведение систематических исследований Центрального арктического бассейна на «кораблях, самолетах и дирижаблях».

В 1935 г. состоялась Первая высокоширотная экспедиция (ВШЭ) на л/п «Садко» под руководством Г.А.Ушакова. В научный состав экспедиции входили видные ученые ВАИ и других организаций Н.Н.Зубов, Н.И.Евгенов, М.М.Ермолаев, А.Ф.Лактионов, В.А.Березкин, В.Г.Богоров и др. Экспедиция провела исследования в северных частях Гренландского, Баренцева, Карского морей, вышла в глубоководную часть СЛО, достигнув в свободном плавании рекордной широты — 82° 41' 16". В ходе экспедиции был совершен ряд географических и научных открытий.

В навигацию 1937 г. «Садко» должен был провести исследования в высокоширотном районе восточного сектора Советской Арктики (начальник Р.Л.Самойлович). Однако вследствие тяжелой ледовой обстановки «Садко» вместе с л/п «Малыгин» и «Г.Седов» попал в ледовый плен в море Лаптевых и был вынужден встать на зимовку.

В навигацию 1938 г. ледокол «Ермак» вывел «Садко» и «Малыгина» из льдов. Получивший повреждения л/п «Г.Седов» был вынужден продолжить дрейф. На его борту остались 15 добровольцев во главе с К.С.Бадигиным. Организацией научных исследований руководил В.Х.Буйницкий, впоследствии ставший директором Арктического института. Дрейф продолжался 812 дней, в январе 1940 г. ледокол «И.Сталин» вывел «Г.Седов» из дрейфа в Гренландском море.

В начале 1936 г. правительством был одобрен план организации дрейфующей научно-исследовательской станции, начальником которой был назначен И.Д.Папанин. В состав экспедиции вошли также сотрудники ВАИ геофизик Е.К.Федоров, гидролог П.П.Ширшов и радист Э.Т.Кренкель. 25 мая 1937 г. на льдине вблизи Северного полюса произвели посадку четыре самолета АНТ-6 Высокоширотной воздушной экспедиции (ВВЭ), которой руководил О.Ю.Шмидт. Самолеты доставили коллектив и грузы дрейфующей станции. Станция «Северный полюс» работала в Арктике в течение девяти месяцев до 19 февраля 1938 г. Проведенные научные исследования положили начало планомерному исследованию высоких широт путем организации дрейфующих станций.

В 1938–1939 гг. была осуществлена коренная реорганизация ГУСМП и, как следствие, ВАИ, получившего новое название – Арктический научно-исследовательский институт (АНИИ). Основными подразделениями института стали ледовый отдел, отдел морской гидрологии, отдел метеорологии и отдел геофизики. Перед АНИИ были поставлены задачи изучения гидрометеорологического режима Арктики, разработки методов и составления ледовых прогнозов для трассы СМП. Научное руководство этими исследованиями было возложено на В.Ю.Визе.

1930-е годы стали временем великих успехов в освоении Арктики, причем значительная доля этих успехов связана с деятельностью ВАИ–АНИИ. Была реализована стратегическая задача, сформулированная еще в конце XIX века, – Северный морской путь стал действующей транспортной магистралью. Разработанная в Арктическом институте в 1930-х гг. система научно-оперативного обеспечения арктического судоходства явилась одним из важнейших факторов, определивших успешное освоение СМП.

Впервые широкомасштабные исследования были проведены в Центральном арктическом бассейне. Это позволило значительно сократить количество «белых пятен» на карте Арктики. Организация первой дрейфующей станции стала началом нового направления исследований приполюсного района

#### **1940-е годы**

В 1942 г. АНИИ был эвакуирован в Красноярск. В действующую армию ушли многие научные сотрудники института, в том числе В.Х.Буйницкий, Л.Л.Балакшин, В.П.Мелешко и др.

Для улучшения гидрометеорологического обслуживания СМП в годы войны была значительно расширена сеть полярных станций в Арктике. Данные наблюдений за погодой и ледовыми условиями поступали в радиоцентр АНИИ, откуда направлялись в региональные бюро погоды на о. Диксон (начальник В.В.Фролов), на м. Шмидта (начальник Е.И.Голстикова), в Тикси (начальник К.И.Чуканин), а затем в Штабы морских операций западного и восточного районов Арктики, где работали сотрудники АНИИ М.М.Сомов, А.Ф.Трешников, А.Г.Дралкин, Н.А.Волков, В.В.Фролов, П.А.Гордиенко и др. Под руководством опытных полярников для

сбора гидрометеорологической и ледовой информации в море выходили ледово-гидрологические патрули, проводилась авиационная ледовая разведка. Ведущие сотрудники института принимали активное участие в обеспечении флота и авиации в Арктике ледовыми и гидрометеорологическими прогнозами (В.Ю.Визе, Н.Н.Зубов, М.М.Сомов, П.А.Гордиенко и др.).

Научная деятельность в Арктике проводилась в боевых условиях. Так, 27 июля 1943 г. у северо-восточного побережья Новой Земли немецкая подводная лодка потопила экспедиционное судно АНИИ «Академик Шокальский». Погибло 12 членов экипажа и научной группы.

Самоотверженный труд ученых-полярников позволил обеспечить надежное функционирование СМП в течение всех четырех военных навигаций.

Во второй половине 1944 г. АНИИ вернулся в Ленинград, а вскоре после окончания войны возобновил и расширил экспедиционные исследования в Арктике. Значительное внимание было уделено изучению Центрального арктического бассейна Воздушными высокоширотными экспедициями.

Начало этим исследованиям было положено весной 1941 г. во время работы экспедиции в район Полюса относительной недоступности на самолете АНТ-6 (СССР Н-169) (командир И.И.Черевичный, штурман В.И.Аккуратов) с научной группой на борту (сотрудники АНИИ Я.С.Либин, М.Е.Острекин и Н.Т.Черниговский). Самолет совершил несколько посадок на дрейфующие льды, во время которых были проведены научные исследования.

Принципиально новый метод проведения исследований в труднодоступных районах Арктики, удачно опробованный в 1941 г., был использован и весной 1948 г., когда состоялась первая послевоенная ВВЭ «Север». В ней принимали участие 8 самолетов, научный состав (28 человек) был подобран в основном из сотрудников АНИИ, среди которых были Н.А.Волков, Я.Я.Гаккель, П.А.Гордиенко, М.М.Сомов, В.Т.Тимофеев, А.Ф.Трешников и др. Возглавлял экспедицию начальник ГУСМП А.А.Кузнецов, его заместителем по научной работе был М.Е.Острекин.

Самолеты доставляли экспедиционные группы в заранее намеченные точки в приполюсном районе. В течение нескольких суток группы проводили серии научных исследований, в частности, были измерены глубины океана, что позволило Я.Я.Гаккелю и В.Т.Тимофееву построить карты рельефа дна Арктического бассейна, на которых впервые было изображено подводное поднятие, разделяющее этот бассейн на две котловины.

После окончания экспедиции Ученый совет АНИИ принял решение о продолжении и расширении исследований в высокоширотной Арктике. Хребет, открытый участниками Воздушной высокоширотной экспедиции, в 1951 г. получил название хребта Ломоносова.

В первые послевоенные годы Московский филиал АНИИ начал экономические исследования на Крайнем Севере – занимался обобщением опыта работы транспортных и промышленных предприятий, вскрытием неиспользованных резервов в работе судоремонтных и судостроительных предприятий, угольных рудников, арктического флота и портов, определением перспектив развития перевозок по СМП. В январе 1948 г. Московский филиал был реорганизован в экономическое отделение АНИИ и переведен в Ленинград.

В 1940-е гг. в АНИИ начались активные исследования по истории исследования Севера. В разные годы их вели такие известные ученые, как М.И.Белов, В.Ю.Визе, Я.Я.Гаккель, М.А.Дьяконов, А.Ф.Лактионов, Д.М.Пинхенсон и др.

В 1938 г. в ВАИ была создана группа, занимавшаяся изысканиями по истории советских учреждений, работавших в Арктике, и истории советских арктических экспедиций. В 1941 г. исследователи начали сбор материалов по дореволю-

ционной истории Крайнего Севера. В 1946 г. в Арктическом институте был создан отдел истории Севера, результатом работы которого стал многотомный труд «История открытия и освоения Северного морского пути».

В 1940 г. участники гидрографической экспедиции на г/с «Норд» у восточного побережья Таймыра обнаружили останки неизвестной старинной экспедиции. В 1945 г. АНИИ совместно с институтом археологии организовал экспедицию под руководством А.П.Окладникова, которая произвела раскопки на о-вах Фаддея и в заливе Симса. В послевоенные годы институтом был организован ряд археологических экспедиций, производивших раскопки на Крайнем Севере, в частности в Мангазее (в 1946 г. под руководством В.Н.Чернецова, а затем в 1968–1973 гг. под руководством М.И.Белова). Часть материалов, полученных экспедициями, была передана в Музей Арктики.

В 1940-е годы была подтверждена стратегическая необходимость решенной под научным руководством ВАИ и при непосредственном участии его специалистов задачи превращения СМП в действующую транспортную магистраль. В годы Великой Отечественной войны по СМП с запада на восток и с востока на запад шли караваны транспортных судов, которые перевозили грузы, необходимые для фронта и тыла. Система научно-оперативного обеспечения, разработанная ВАИ–АНИИ, обеспечивавшая бесперебойную работу СМП, стала значительным вкладом в Победу.

Во второй половине 1940-х гг. – в период возобновления советских исследований в Арктике – была развернута работа Воздушных высокоширотных экспедиций «Север», научные группы которых формировались преимущественно из сотрудников АНИИ.

#### 1950-е годы

В июле 1950 г. АНИИ возглавил В.В.Фролов – ученый-метеоролог и полярный исследователь. Деятельность института в 1950-е гг. в значительной степени связана с его именем. На нем, как на руководителе крупнейшего центра полярных исследований, лежала полная ответственность за организацию и проведение научных исследований в Арктике (а затем – и в Антарктике).

Весной 1950 г. в Центральном арктическом бассейне была открыта вторая дрейфующая станция СП-2 (начальник М.М.Сомов), в 1954 г. почти одновременно открылись станции СП-3 (А.Ф.Трешников) и СП-4 (Е.И.Толстикова). С этого времени и до начала 1990-х гг., сменяя друг друга, дрейфующие станции работали в Арктике постоянно. Продолжали работу и ВВЭ «Север», в задачу которых входило не только проведение научных исследований, но и обеспечение дрейфующих станций.

Важным событием в организации научно-исследовательской работы в Арктике стало создание в 1953 г. арктических научно-исследовательских обсерваторий (АНИО) на Диксоне, в Тикси и в Певеке. В их задачи входило научно-оперативное обслуживание мореплавания, а также комплексное гидрометеорологическое изучение района их деятельности, разработка и совершенствование методик гидрометеорологических и ледовых прогнозов.

В октябре 1951 г. Сессия Исполнительного совета Международного совета научных союзов приняла решение об организации в 1957–1958 гг. Международного геофизического года (МГГ). В 1956 г. Президиум АН СССР создал Советский комитет по проведению МГГ, председателем которого был назначен И.П.Бардин. Активное участие в деятельности Комитета принимали Е.К.Федоров, И.Д.Папанин, В.Г.Корт и сотрудники АНИИ Е.И.Толстикова, М.М.Сомов, П.А.Гордиенко и др.

По программе МГГ в Арктике работали 33 станции, наиболее масштабные исследования были развернуты в арктических научно-исследовательских обсерваториях Дружная, Диксон, Певек, Тикси и Баренцбург. Все обсерватории находи-

лись в ведении Арктического института. Центром арктических исследований стала обсерватория Дружная, открытая в августе 1957 г. на о. Хейса (ЗФИ).

Для организации наблюдений в ЦАБ в период проведения МГГ были открыты две дрейфующие станции – СП-6 и СП-7. Уже после официального завершения МГГ начала работу станция СП-8, также проводившая наблюдения, предусмотренные программой МГГ.

Значительные исследования по программе МГГ были выполнены в морях СЛО. Так, в навигацию 1957 г. Высокоширотная океанографическая экспедиция АНИИ на судне «Торос» работала в Карском и Баренцевом морях, весной 1958 г. комплексная экспедиция Арктического института на д/э «Лена» проводила исследования в северной части Гренландского моря.

В 1950-е гг. конструктором АНИИ Ю.К.Алексеевым были разработаны системы, позволяющие проводить автономные гидрометеорологические наблюдения, – радиомаяки «Вега Алексеева», автоматические буйковые станции с самописцами течений БПВ и дрейфующие автоматические радиометеорологические станции (ДАРМС). Приборы изготавливались экспериментальными мастерами Арктического института. Эти станции, установленные в разных точках СЛО и арктических морей, позволили получить значительный объем информации о дрейфе льдов и гидрометеорологических условиях этих районов.

Наиболее масштабные исследования во время МГГ проводились в Антарктиде. 18 ноября 1955 г. Президиум АН СССР утвердил план проведения в 1955–1957 гг. Комплексной антарктической экспедиции (КАЭ). 4 января 1956 г. к берегам шестого континента подошел д/э «Обь», на борту которого находились участники Первой КАЭ (начальник М.М.Сомов).

Следует отметить, что залогом успешной деятельности антарктических экспедиций стал неосценимый опыт полярных исследований, накопленный сотрудниками АНИИ в предыдущие годы в Арктике.

13 февраля участниками Первой КАЭ была открыта первая советская антарктическая станция – обсерватория Мирный. В течение 1956 г. полевые группы экспедиции совершили несколько санно-гусеничных походов в глубь континента, а также ряд разведывательных полетов. В мае 1956 г. была открыта первая внутриконтинентальная станция Пионерская, в октябре – станция Оазис. Таким образом, Первая КАЭ создала базу для проведения исследований по программе МГГ.

В 1956 г. на смену участникам Первой КАЭ в Антарктиду отправилась Вторая КАЭ под руководством А.Ф.Трешникова. Участники экспедиции расширили и дооборудовали станции Мирный, Пионерская и Оазис и открыли станции Комсомольская и Восток в районе Южного геомагнитного полюса. 1 июня 1957 г. на всех советских антарктических станциях начались наблюдения по программе МГГ. Эти наблюдения были продолжены Третьей КАЭ под руководством Е.И.Толстикова, прибывшей в Антарктиду в конце 1957 г. Участниками этой экспедиции была построена и открыта еще одна станция – Советская.

Таким образом, в период МГГ советские ученые проводили наблюдения на шести антарктических станциях, а также во время многочисленных походов и полетов в глубь континента. Научные группы работали и на судах экспедиции. Участниками морских экспедиций на д/э «Обь» и «Лена» был выполнен ряд океанографических разрезов, аэрофотосъемка отдельных участков побережья Антарктиды, проводились попутные гидрометеорологические наблюдения, а также (впервые!) ракетное зондирование атмосферы.

25 июня 1958 г. по распоряжению Совета министров СССР была организована Межведомственная комиссия по изучению Антарктики. Работы по организации и координации исследований в Антарктиде и Южном океане была возло-

жена на институт, получивший новое название – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ).

1 декабря 1959 г. в Вашингтоне представители 12 государств, проводивших исследования в Антарктике, подписали Договор об Антарктике, главный принцип которого – использование Антарктиды исключительно в мирных целях.

В 1950-е гг. сотрудниками АНИИ–ААНИИ были развернуты значительные исследования в устьях сибирских рек, которые развивались в четырех направлениях: изучение гидрологического режима устьевых участков рек и прибрежной зоны арктических морей; выявление закономерностей во взаимовлиянии реки и моря; изыскание прогностических связей в целях создания методов долгосрочных и краткосрочных прогнозов; разработка совместно с местными организациями службы пути различных мероприятий по улучшению судоходства.

С весны 1958 г. ААНИИ начал проведение ежегодных ледовых разведок для изучения вскрытия и замерзания низовых и устьевых участков всех судоходных сибирских рек для выявления общих закономерностей в развитии этих явлений.

В середине 1950-х гг. на новый уровень вышли исследования ученых института в области ледовых качеств судов. Еще в 1935 г. в ВАИ начала работать лаборатория, в задачи которой входило планомерное изучение ледопроеходимости и ледовой прочности ледоколов и судов ледового плавания. В 1946 г. при экономическом отделе АНИИ в Москве было создано кораблеисследовательское бюро, в том же году оно было переведено в Ленинград и преобразовано в кораблеисследовательское отделение АНИИ. В нем работали Ю.А.Шиманский, Л.М.Ногид, А.А.Моисеев, П.И.Титов, Н.П.Шандриков и др. В 1951 г. отделение было преобразовано в научно-исследовательскую лабораторию, которая в 1961 г. получила название лаборатории ледовых качеств судов. В ней проводились экспериментальные работы по исследованию физико-механических свойств льда, испытанию моделей ледоколов и судов ледового класса, испытанию, сверке и наладке приборов и аппаратуры при низких температурах.

5 сентября 1955 г. был введен в эксплуатацию ледовый опытовый бассейн АНИИ, оборудованный специальными устройствами для проведения модельных испытаний. В 1955 г. в бассейне были осуществлены модельные испытания атомного ледокола. При выборе формы обводов корпуса ледокола впервые была применена разработанная академиком Ю.А.Шиманским теория моделирования движения судов в сплошных льдах, что позволило решить вопросы выбора оптимальной формы ледокола, а также рассчитать его предельную проходимость во льдах.

1950-е годы отмечены началом отечественных исследований Антарктиды, причем ведущая роль в организации и проведении этих исследований отводилась ААНИИ. Были продолжены широкомасштабные исследования в Арктике, в том числе в высоких широтах, где ежегодно работали Высокоширотные воздушные экспедиции «Север». В 1950 г. была открыта вторая дрейфующая станция, а с середины 1950-х гг. дрейфующие станции стали работать в Арктике постоянно.

Значительный вклад в исследование полярных областей Земли был внесен во время проведения МГГ в 1957–1958 гг. В эти годы была создана уникальная система международного сотрудничества, ставшая в дальнейшем основой для крупномасштабных научно-технических международных проектов.

### **1960-е годы**

В 1960 г. ААНИИ возглавил А.Ф.Трешников, с деятельностью которого на этом посту (до 1981 г.) связано планомерное развитие изучения полярных областей Земли, организация и проведение широкомасштабных научных экспериментов.

В 1963 г. ААНИИ по решению Правительства СССР был переведен в систему Главного управления Гидрометслужбы при Совете министров СССР.

Развитие вычислительной техники, численных методов, использование спутниковых методов, в том числе для слежения за ледовой обстановкой в полярных районах, способствовало совершенствованию методов исследований и развитию новых направлений науки.

С 1957 г. в отделе долгосрочных метеорологических прогнозов (создан в 1945 г.) по инициативе проф. Г.Я.Вангенгейма началась разработка численных методов анализа и предвычисления гидрометеорологических полей в Арктике с использованием ЭВМ. В 1960 г. в ААНИИ была установлена первая ЭВМ «Урал-2» и организована вычислительная лаборатория. К 1970 г. вычислительная лаборатория превратилась в вычислительный центр, оборудованный четырьмя ЭВМ («Урал-2», две ЭВМ «Минск-22» и «М-220»).

Еще в 1956 г. в институте была организована гидроакустическая лаборатория (руководитель В.В.Богородский), что позволило проводить комплексные гидроакустические исследования в Арктическом бассейне. В 1965 г. лаборатория была преобразована в отдел физики льда и океана, а в 1969 г. за гидроакустические исследования в Арктике сотрудники ААНИИ (В.В.Богородский, А.В.Гусев) были удостоены Государственной премии СССР в области науки.

В 1967 г. в ААНИИ была разработана программа натурального эксперимента по проблеме взаимодействия океана и атмосферы, которая получила развитие в последующие десятилетия. Для реализации этой программы в ААНИИ была создана система экспедиционных наблюдений, включающая дрейфующие станции СП, Высокоширотные воздушные экспедиции «Север», дрейфующие автоматические гидрометеорологические станции, ледовую авиационную разведку, океанографические экспедиции на гидрографических судах, гидрологические экспедиции в устья сибирских рек, Советскую антарктическую экспедицию, а также стационарную сеть станций в Арктике и Антарктике. В 1968 г. в ААНИИ был создан отдел теории взаимодействия океана и атмосферы.

В 1961 г. для высадки дрейфующей станции СП-10 впервые был использован атомный ледокол «Ленин», построенный в Ленинграде в 1959 г.

В начале 1960-х гг. в ААНИИ стало развиваться новое направление исследований – изучение условий плавания судов во льдах и разработка на этой основе тактики ледового плавания транспортных судов и ледоколов, для этого был создан отдел изучения ледового плавания (начальник П.А.Гордиенко). Результатом работы этого отдела стало научно обоснованное планирование морских операций на СМП.

В 1966 г. в ААНИИ была создана медицинская группа, реорганизованная в 1967 г. в отдел полярной медицины под руководством А.Л.Матусова. Отделом проводился комплекс исследований по изучению адаптации человека в полярных областях, разрабатывались научно обоснованные требования к совершенствованию жилищ, одежды, питания, вопросов медицинского отбора участников полярных зимовок.

Продолжились исследования на антарктическом материке. Участниками Советской антарктической экспедиции (САЭ) была расширена сеть антарктических станций. В 1961 г. была открыта станция Новолазаревская, в 1962 г. – станция Молодежная, с 1971 г. ставшая главной базой советских антарктических исследований и Региональным антарктическим метеорологическим центром. В 1968 г. начала работу станция Беллинсгаузен.

Морские отряды САЭ, руководимые, как правило, сотрудниками ААНИИ, ежегодно осуществляли океанографические работы в Южном океане – изучали гидрологический и ледовый режим антарктических морей.

В 1968 г. ААНИИ были переданы только что построенные научно-исследовательские суда «Профессор Визе» и «Профессор Зубов», оснащенные специальной аппаратурой, в том числе станциями ракетного зондирования и вычис-

лительными центрами. Это существенно расширило возможности экспедиционных исследований в полярных районах.

На основе исследований советских ученых и их зарубежных коллег в ААНИИ под руководством директора института А.Ф.Трешникова был создан первый в мире Атлас Антарктики, опубликованный во второй половине 1960-х гг.

### 1970-е годы

В начале 1970-х гг. по инициативе ученых ААНИИ началась реализация программы Полярный эксперимент (ПОЛЭКС), целью которой было изучение крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в полярных областях, их роли в формировании энергетического баланса системы атмосфера—океан и механизмов, формирующих долгопериодные изменения гидрометеорологических процессов в полярных районах. Исследования проводились на специальных полигонах в Арктике и Антарктике. Программа состояла из двух частей: международной («ПОЛЭКС—Юг») и национальной («ПОЛЭКС—Север»). Наиболее крупная экспедиция «ПОЛЭКС—Север-76» была проведена в весенне-летний период 1976 г.

В 1970 г. в ААНИИ был создан отдел полярного эксперимента. В 1986 г. этот отдел вошел в состав отдела взаимодействия океана и атмосферы.

Значительно расширился состав наблюдений на дрейфующих станциях, в частности, с 1973 г. стали проводиться наблюдения за загрязнением морской воды и льда нефтью и нефтепродуктами, а в 1979 г. на дрейфующей станции СП-22 впервые были выполнены комплексные исследования аэрозольно-оптических параметров атмосферы в рамках Программы глобальных атмосферных процессов (ПИГАП).

Были продолжены антарктические исследования. 22 марта 1970 г. на станции Восток было начато бурение первой сверхглубокой скважины с отбором ледяного керна для комплексных палеогеографических и климатических исследований. В 1971 г. была открыта антарктическая станция Ленинградская, в 1976 г. в прибрежных районах Антарктиды было устроено несколько полевых баз геологов под общим названием Дружная.

В апреле 1973 г. во время рейса для снабжения антарктической станции Ленинградская дизель-электроход «Обь» попал в ледовый плен. Дрейф судна продолжался три месяца, во время дрейфа впервые были проведены осенне-зимние наблюдения за гидрометеорологическим режимом Южного океана.

В 1975 г. расширилась база флота ААНИИ – на смену д/э «Обь» пришло научно-экспедиционное судно (НЭС) «Михаил Сомов», ставшее флагманом Советской антарктической экспедиции. Свой первый антарктический рейс судно совершило в том же году во время работы 21-й САЭ.

Во второй половине 1970-х гг. ААНИИ активно участвовал в подготовке и проведении двух исторических плаваний судов в Арктическом бассейне. 17 августа 1977 г. советский атомный ледокол «Арктика» впервые в истории мореплавания достиг географической точки Северного полюса (капитан Ю.С.Кучиев, руководитель научной группы ААНИИ И.П.Романов). В навигацию 1978 г. был проведен экспериментальный высокоширотный рейс д/э «Капитан Мышевский» и атомного ледокола «Сибирь» (руководитель рейса Б.С.Майнагашев, заместитель руководителя рейса по науке Б.А.Крутских). Целью экспедиции было изучение возможности плавания транспортного судна под проводкой атомного ледокола в ранние сроки навигации.

В эти годы в ААНИИ под руководством А.Я.Бузуева был создан эмпирико-статистический метод количественной оценки трудности плавания во льдах. Метод обобщил результаты многолетних исследований сотрудников отдела изучения ледового плавания ААНИИ. Сбор натурных данных о плаваниях судов в различных

ледовых условиях и их обработка позволили получить эмпирико-статистические зависимости влияния реальных ледовых условий на движение судов.

В 1972–1975 гг. лаборатория ледовых качеств судов ААНИИ совместно с Ленинградским кораблестроительным институтом разработала Правила Регистра СССР по классификации и строительству ледоколов. В начале 1970-х гг. Д.Е.Хейсиным и Ю.Н.Поповым была реализована идея создания ледового паспорта – сборника рекомендаций по выбору безопасных режимов движения судов во льдах. Первый ледовый паспорт для судов серии «Пионер-герой» был разработан в 1974 г.

В 1970-е гг. проводилось дальнейшее усовершенствование макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов под руководством А.А.Гирса, основные принципы этого метода были сформулированы Г.Я.Вангенгеймом в 1940-х гг.

Для решения комплексных задач исследований в морях Западной Арктики и в Северной Атлантике в апреле 1972 г. был создан Мурманский филиал ААНИИ (первый директор – Ф.С.Терзиев).

### **1980-е годы**

В 1981 г. директором ААНИИ стал Б.А.Крутских, с чьим именем связаны все крупные мероприятия ААНИИ научного, научно-организационного и экспедиционного характера в это десятилетие.

В 1980-е гг. ААНИИ продолжал исследования Арктического бассейна на дрейфующих станциях «Северный полюс», было организовано 7 дрейфующих станций: СП-25 – СП-31. В 1980–1981 гг. на СП-22 впервые был размещен автономный пункт приема спутниковых данных, который позволял получать информацию в режиме непосредственной передачи по большей части СЛЮ. Ледовые обзорные карты, составляемые по спутниковым данным непосредственно на станциях, передавались в виде телеграфных сообщений в ААНИИ.

В организации и эвакуации ряда станций широко применялись атомные и дизельные ледоколы, а также специализированные транспортные суда. Среди этих морских экспедиций своей сложностью отличается эвакуация дрейфующей станции СП-28 атомным ледоколом «Россия» в январе 1989 г. (начальник экспедиции Н.А.Корнилов). Успех рейса, совершенного в условиях полярной ночи, был во многом обусловлен гидрометеорологическим обеспечением, в котором приняло участие ведущие сотрудники ААНИИ.

В мае–июне 1987 г. была проведена Первая комплексная научная экспедиция в приполюсный район на ледоколе «Сибирь» (начальник экспедиции А.Н.Чилингаров, заместитель начальника экспедиции по науке Б.А.Крутских). Выполненной экспедицией обширный комплекс научных исследований позволил получить для района высоких широт уникальные сведения о динамике ледяного покрова и нарушениях его сплошности, об изменчивости содержания озона, о геолого-геодезических особенностях труднодоступных районов Северного Ледовитого океана и др.

25 мая 1987 г. во второй раз в истории мореплавания судно в активном плавании достигло Северного полюса, однако впервые это было сделано в период максимального развития ледяного покрова. Кроме научных исследований, экспедицией были выполнены важные практические задачи: эвакуация дрейфующей станции СП-27 и организация новой станции СП-29. Многие участники экспедиции и члены экипажа атомного ледокола «Сибирь» были награждены правительственными наградами.

Эти годы характеризуются также широкомасштабными исследованиями в Антарктике, проводимыми как по национальным, так и по международным программам (МАГП, «ПОЛЭКС–Юг», «Польнья Уэдделла» и др.).

В Антарктиде были открыты две новые станции: 9 марта 1980 г. в Западной Антарктиде на центральном участке побережья Земли Мэри Бэрд, наименее изученном районе антарктического побережья, станция Русская, а 1 апреля 1988 г. на берегу залива Прюдс (море Содружества) – станция Прогресс, ставшая базой геолого-геофизических исследований.

Совершенствовалось логистическое обеспечение Советской антарктической экспедиции. В феврале 1980 г. была открыта регулярная авиационная трансконтинентальная трасса Москва–Мапуту–станция Молодежная, функционировавшая до 1991 г. В феврале 1986 г. на снежно-ледовый аэродром АМЦ Молодежная впервые был принят тяжелый самолет Ил-76ТД (руководитель воздушной экспедиции Н.А.Корнилов, руководитель рейса главный штурман МГА В.Ф.Киселев).

В 1985 г. при обеспечении станции Русская НЭС «Михаил Сомов» было зажато льдами и стало дрейфовать во льдах Тихоокеанского ледяного массива. Вынужденный дрейф судна продолжался 133 дня (с 15 марта по 26 июня). Спасательная экспедиция, организованная на ледоколе «Владивосток» (начальник экспедиции А.Н.Чилингаров, заместитель начальника Б.А.Крутских), пробилась сквозь тяжелые льды к дрейфующему судну и вывела его на чистую воду. Такое плавание в зимний период в Антарктике было осуществлено впервые. НЭС «Михаил Сомов» было награждено орденом Трудового Красного Знамени, начальник экспедиции, капитан судна и командир вертолета были удостоены звания Героя Советского Союза, многие члены экспедиции и экипажа награждены правительственными наградами.

В 1980-е гг. остро встал вопрос изучения антропогенного воздействия на природу. Наблюдения, проведенные сотрудниками ААНИИ на дрейфующих станциях и в морских экспедициях, позволили выявить ряд закономерностей распределения загрязняющих веществ в морской воде и снежно-ледяном покрове Северного Ледовитого океана. На основе комплексных исследований устьевых областей рек Сибирского шельфа заложены научные основы оценки антропогенных воздействий на природу Арктики. Впервые были обобщены и систематизированы натурные данные по химическому составу дрейфующих льдов Северного Ледовитого океана.

В эти годы была осуществлена разработка концепции создания сети геофизического мониторинга в Арктике на базе новейших технических и компьютерных достижений, началось внедрение новейшей наблюдательской техники (цифровой ионозонд «Бизон», цифровой магнитометр «Арктика»).

В 1989 г. в институте была разработана и внедрена в практику первая очередь автоматизированной ледово-информационной системы Арктики (АЛИСА), предназначенной для сбора, обработки, анализа и обобщения натурной информации о состоянии ледяного покрова Северного Ледовитого океана и обеспечения соответствующими информацией, прогнозами и расчетами широкого круга потребителей – от отдельного судна до министерства. Эту работу вел и координировал созданный в 1981 г. отдел совершенствования ледово-информационной системы (начальник А.В.Бушуев). Для осуществления функционирования этой системы в 1989 г. был организован Центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ), первым начальником которого стал А.Л.Соколов.

В 1980-е гг. значительно расширился научно-исследовательский флот ААНИИ: были построены и введены в строй НИС «Академик Шулейкин» (1982 г.) и «Профессор Мультановский» (1983 г.), а 10 сентября 1987 г. был поднят Государственный флаг на НЭС ААНИИ «Академик Федоров» (капитан М.Е.Михайлов), ставшем флагманом антарктического флота страны.

На основании многолетних исследований, выполненных сотрудниками ААНИИ в Арктике, были подготовлены и опубликованы фундаментальные «Атлас океа-

нов. Северный Ледовитый океан» (1980 г.) и «Атлас Арктики» (1985 г.), удостоенный Государственной премии.

В 1986 г. институт переехал в новое здание, построенное на Васильевском острове, ул. Беринга, д. 38.

При переезде в новое здание Вычислительный центр ААНИИ получил новое оборудование — две ЭВМ ЕС-1045 и терминальный зал.

1960–1980-е годы стали временем поступательного и планомерного развития исследований в полярных областях.

Научные достижения института в этот период связаны с именами его известных ученых: А.Ф.Трешникова, Б.А.Крутских, Н.А.Корнилова, Е.П.Борисенкова, Ю.В.Николаева, Ю.П.Доронина, Н.А.Волкова, З.М.Гудковича, В.Ф.Захарова, Е.Г.Ковалева, А.А.Кириллова, Ю.А.Горбунова, С.М.Лосева, В.П.Карклина, И.Д.Карелина, В.А.Спичкина, П.А.Гордиенко, А.Я.Бузуева, Е.Г.Никифорова, Н.В.Мустафина, Л.А.Тимохова, А.О.Шпайхера, Г.А.Баскакова, В.П.Русанова, А.В.Коптевой, И.С.Песчанского, Д.Д.Максутова, Д.Е.Хейсина, В.И.Каштеляна, А.А.Гирса, Л.А.Дыдиной, А.И.Воскресенского, А.В.Широчкова, В.В.Богородского, В.П.Гаврило, А.В.Гусева, Е.С.Короткевича, Н.П.Шестерикова, А.П.Легенькова, А.В.Бушуева, В.С.Лошилова, А.А.Романова и др.

### 1990-е годы

1990-е годы в истории ААНИИ характеризуются адаптацией к новым экономическим условиям деятельности в стране. Сократился научный флот и количество исследовательских баз в Арктике и Антарктике, был закрыт Мурманский филиал института (1995 г.), прекратили свое существование дрейфующие станции «Северный полюс» и летние высокоширотные экспедиции. Последняя советская дрейфующая станция СП-31 закрыта в 1991 г. Прекратилось участие специалистов ААНИИ в научно-оперативных группах при обеспечении арктических навигаций. Эти негативные процессы были вызваны резким сокращением бюджетного финансирования института, значительная часть финансов оказалась во внебюджетной сфере.

Тем не менее введение новых механизмов хозяйствования позволило преодолеть кризис, сохранить основные научные кадры и научные школы. В этом немалая заслуга дирекции института, которую в 1992 г. возглавил И.Е.Фролов.

В 1990-е г. институт стал уделять больше внимания анализу накопленных за весь период исследований натуральных данных на базе применения современных информационных технологий. В эти годы в содружестве с зарубежными партнерами подготовлена серия электронных климатических Атласов для Арктики и Антарктики, получившая огромный положительный резонанс в России и за рубежом, опубликован «Океанологический атлас Южного океана», составленный совместно с институтом полярных исследований имени А.Вегенера (1992 г.), первый том (зимние условия) и второй том (летние условия) совместного российско-американского «Атласа Северного Ледовитого океана. Океанология» (1997–1998 гг.).

Получило интенсивное развитие новое научное направление — комплексные исследования природных условий и окружающей среды в связи с промышленным освоением шельфа. В 1992 г. была организована лаборатория «Арктик-шельф» с целью развития методов и технологий гидрометеорологических работ на шельфе арктических и замерзающих морей, а также для обеспечения изыскательских и добывающих компаний, работающих в этих районах. Лабораторию много лет возглавлял Г.Н.Зубакин, начальником морских экспедиций неоднократно являлся Ю.П.Гудошников.

Успешно развивалось международное сотрудничество с родственными зарубежными научными центрами из Германии, Норвегии, США, Финляндии и других стран.

В 1993–1995 гг. ААНИИ принял активное участие в международном проекте «Северный морской путь» (INSROP) совместно с коллегами из Норвегии и Японии. В этом проекте рассматривался широкий комплекс проблем, связанных с использованием Северного морского пути для транзитных морских перевозок. Летом 1995 г. в рамках проекта была организована морская экспедиция по трассе СМП на борту д/э «Кандалакша».

Летом 1994 г. на НЭС «Академик Федоров» была организована международная экспедиция совместно со шведскими учеными «Экология тундры-94» по трассе СМП. В экспедиции были проведены комплексные исследования состояния экосистемы арктического побережья России, получены уникальные данные об антропогенном влиянии на арктическую природу.

В апреле–мае 1998 г. ААНИИ принял участие в международной экспедиции на борту ледокола «Капитан Драницын» в рамках проекта ARCDEV, реализованного под эгидой ЕС (руководитель научных работ от ААНИИ С.М.Прямыков). Результаты наблюдений, выполненных в период экспедиции, послужили основой для разработки ряда экономических обоснований эффективности круглогодичной транспортировки углеводородов на западном участке СМП.

В октябре–ноябре 1998 г. институтом совместно с институтом океанологии РАН на НЭС «Академик Федоров» проведена комплексная научная экспедиция в районе, расположенном к северу от Земли Франца-Иосифа и Шпицбергена (начальник экспедиции И.Е.Фролов, капитан В.А.Викторов). Впервые судно работало в столь высоких широтах без ледокольного сопровождения в позднеосенних условиях. Экспедицией была осуществлена постановка системы АТОК (акустическая термометрия океанского климата), проведены комплексные океанографические, гидрохимические и биологические исследования, впервые в Арктике осуществлена постановка седиментационной станции.

7 августа 1992 г. вышел Указ Президента РФ о переименовании Советской антарктической экспедиции (САЭ) в Российскую (РАЭ). В 1997 г. принято Постановление Правительства Российской Федерации «О деятельности Российской антарктической экспедиции», которое определило минимально допустимые параметры деятельности РАЭ. В Постановлении было подчеркнуто, что в основу исследовательской деятельности России в Антарктиде положен принцип возможной минимизации расходов, в то же время обеспечивающих сохранение действительного присутствия нашего государства в Антарктике. Несмотря на сложную экономическую ситуацию, благодаря поддержке со стороны Правительства РФ и активной работе Росгидромета и ААНИИ, удалось сохранить российское присутствие в Антарктике.

С 12 февраля по 9 июня 1992 г. в юго-западной части моря Уэдделла на дрейфующем льду была организована первая в истории изучения Антарктики научная российско-американская дрейфующая станция «Уэдделл-1». На станции работали 15 российских и 17 американских специалистов под руководством В.В.Лукина.

Российская наука в Антарктике в 1990-е гг. достигла существенных успехов, связанных, прежде всего, с исследованиями на внутриконтинентальной станции Восток. Ледяной керн, полученный на станции из сверхглубокой скважины, позволил установить климатические изменения на планете за последние 400 тыс. лет.

В 1990 г. в институте вступил в строй новый лабораторный корпус, в котором расположились два ледовых бассейна, проектирование которых осуществлялось под руководством И.И.Поздняка. Начальником технической группы обеспечения экспериментов в бассейне бесценно является П.М.Николаев.

В 1998 г. на базе ААНИИ совместно с РГГМУ создан учебно-научный Центр «Полярный университет». Привлечение ведущих ученых ААНИИ к работе Центра

позволило существенно повысить качество подготовки молодых специалистов-гидрометеорологов. Деятельность Центра направлена на включение студентов на стадии обучения в процесс выполнения научных исследований института и их участие в экспедициях.

В 1999 г. принято решение о начале реализации совместного российско-германского проекта «Лаборатория полярных и морских исследований имени О.Ю.Шмидта», послужившего научным «трамплином» для многих молодых ученых, изучающих природу полярных областей.

Постановлением Правительства России от 5 июня 1994 г. за № 648 институту присвоен статус: Государственный научный центр Российской Федерации Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ГНЦ РФ АНИИ) и выдано соответствующее свидетельство Министерства науки и технической политики Российской Федерации. Данный статус затем был дважды подтвержден – в 1997 г. и 2000 г.

2 февраля 1998 г. Постановлением Правительства Российской Федерации музею Арктики и Антарктики присвоен статус Российского государственного музея Арктики и Антарктики (РГМАА).

Таким образом, несмотря на значительное сокращение объема отечественных исследований в Арктике и Антарктике, АНИИ в 1990-е гг. практически сохранил свой научный потенциал, что позволило в 2000-е гг. развивать свою деятельность на новом уровне. В этот период значительный импульс получила международная деятельность АНИИ.

#### 2000-е годы

Первое десятилетие XXI века в деятельности АНИИ ознаменовалось возобновлением работы дрейфующих научно-исследовательских станций «Северный полюс» – после 12-летнего перерыва 25 апреля 2003 г. была открыта дрейфующая станция СП-32.

14 апреля 2003 г. в целях восстановления экспедиционных исследований и работ в центральной части Северного Ледовитого океана Приказом Росгидромета № 98 организована Высокоширотная арктическая экспедиция (ВАЭ). Начальником ВАЭ стал В.Т.Соколов. Все последующие дрейфующие станции были организованы в рамках ВАЭ. В сентябре 2009 г. была организована очередная дрейфующая станция СП-37.

Начиная с 2004 г. мероприятия по организации и эвакуации дрейфующих станций осуществляются в рамках комплексной морской высокоширотной экспедиции «Арктика». В этих экспедициях, обычно работающих на борту НЭС «Академик Федоров», принимают участие представители многих отечественных ведомств и научно-исследовательских институтов. В задачи экспедиций входит комплексное изучение природных условий высокоширотной Арктики и их изменчивости в современную климатическую эпоху.

В рамках экспедиции «Арктика-2005» 29 августа 2005 г. научно-экспедиционное судно АНИИ «Академик Федоров» стало первым в мире транспортным судном, которое достигло Северного полюса без сопровождения ледокола (начальник экспедиции И.Е.Фролов, капитан М.С.Калошин).

В 2000-е гг. АНИИ активно участвует в работах по определению внешней границы континентального шельфа России в Арктике. В 2000, 2005 и 2007 гг. сотрудники института приняли активное участие в экспедициях, организованных совместно с ВНИИОкеангеология на борту НЭС «Академик Федоров» и атомном ледоколе «Россия». Материалы, полученные в этих экспедициях, легли в основу заявки России на принадлежность шельфа арктических морей, подготовленную для Комиссии ООН.

В 2003 г. институт принял участие в работе по созданию карт рельефа дна Северного Ледовитого океана, удостоенных премией Правительства РФ.

В этом же году на базе института была организована российско-норвежская лаборатория исследований климата Арктики «Фрам».

В 2001 г. в ААНИИ была возобновлена работа центра полярной медицины (начальник В.Н.Шеповальников).

В последнее десятилетие работы РАЭ по исследованию подледникового озера Восток в Антарктиде вышли на финишную прямую. 22 января 2006 г. при бурении скважины над подледниковым озером достигнута рекордная глубина 3650,2 м. В полученных кернах льда озера обнаружались микроорганизмы, возраст которых составляет 400 000 лет. В настоящее время разработаны технологии проникновения в водную толщу озера, исключающие его загрязнение.

Центральным событием в 2000-е гг. стали организация и проведение по инициативе России Международного полярного года 2007/08. Ведущие сотрудники ААНИИ (И.Е.Фролов, А.И.Данилов, В.Г.Дмитриев, А.В.Клепиков и др.) приняли самое активное участие в разработке Программы МПГ, деятельности Межведомственного научно-координационного комитета, возглавляемого директором ААНИИ И.Е.Фроловым.

Центральным событием МПГ 2007/08 стала морская высокоширотная экспедиция «Арктика-2007» на борту НЭС «Академик Федоров», организованная ААНИИ. Первый этап экспедиции выполнялся в рамках Высокоширотной глубоководной экспедиции под руководством А.Н.Чилингарова. 2 августа 2007 г. впервые в истории на дне Северного Ледовитого океана в географической точке Северного полюса на глубине 4261 м экипажем глубоководного аппарата «Мир-1» (А.М.Сагалевиц, А.Н.Чилингаров, В.С.Груздев) был установлен Государственный флаг Российской Федерации. Второй этап экспедиции (начальник экспедиции В.Т.Соколов) был связан с выполнением комплекса научных исследований и эвакуацией научно-исследовательской дрейфующей «Ледовой базы». На третьем этапе экспедиции была организована дрейфующая станция СП-35. Маршрут экспедиции проходил по отдельным районам Северного Ледовитого океана, никогда ранее не посещавшимся отечественными судами.

В течение МПГ сотрудники ААНИИ приняли участие в десятках научных проектов и экспедициях, организованных в рамках МПГ как в Арктике, так и Антарктике.

В середине 2000-х гг. в ААНИИ разработаны новые технологии гидрометеорологического обеспечения мореплавания в Арктике и замерзающих морях России, организованные в виде автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе современных электронных картографических и геоинформационных систем. Указанные технологии успешно применяются при гидрометеорологическом обеспечении круглогодичных навигаций в Татарском проливе, Карском, Баренцевом морях и Арктическом бассейне. Использование новых технологий позволило ОАО «ГМК Норильский Никель» осуществлять плавание своих судов в п. Дудинка круглогодично в течение 2006-2010 гг. без ледокольной поддержки.

В 2000-е годы – время «возвращения» России в полярные области – ААНИИ возобновил приостановленные в предыдущее десятилетие программы и исследования в полярных областях. Во время МПГ 2007/08 ААНИИ, подтвердив статус центра полярных исследований, сыграл лидирующую роль в реализации отечественной программы МПГ.

Современные успехи института во многом обеспечены трудом известных ученых и ведущих специалистов, продолживших славные традиции научных школ ААНИИ и работающих в институте в настоящее время: И.Е.Фролова, А.И.Данилова,

В.Г.Дмитриева, Е.У.Миронова, Г.В.Алексеева, Владимира Васильевича Иванова, Владимира Владимировича Иванова, В.А.Лихоманова, Л.М.Саватюгина, С.В.Бресткина, О.А.Трошичева, В.Ф.Радионова, В.А.Романцова, И.М.Ашика, В.В.Лукина, В.Н.Смирнова, Г.А.Лебедева, Г.Н.Зубакина, В.Н.Шеповальникова, А.П.Макштаса и мн. др.

В настоящее время ААНИИ включает в себя 21 научное подразделение, в том числе Высокоширотную арктическую экспедицию, Российскую антарктическую экспедицию, Центр ледовой и гидрометеорологической информации, Центр полярной медицины, Инженерно-экологический центр, научно-экспедиционный флот (в том числе НЭС «Академик Федоров», оснащенное современным исследовательским оборудованием), уникальный специализированный ледовый бассейн, научно-исследовательскую и опытно-экспериментальную базу – станции «Ладожская» и «Горьковская» (в Ленинградской области), Мировой центр данных (МЦД) по морскому льду.

За 90 лет существования института было совершено множество географических открытий в Арктике: открыт ряд арктических островов, нанесен на карту архипелаг Северная Земля, открыты подводные хребты в центральной части Северного Ледовитого океана. Последние 50 лет стали временем открытий в Антарктике, за эти годы практически заново была составлена карта шестого континента.

институту принадлежит важнейшая роль в освоении СМП и организации научно-оперативного обеспечения навигации.

Международная деятельность, в которой институт принимал участие с первых лет своего существования, участие в выдающихся международных проектах, в том числе трех программах Международного полярного года, вывели ААНИИ в число ведущих мировых научных центров по исследованию полярных областей.

В разные годы в институте работали такие выдающиеся ученые и организаторы науки, как О.Ю.Шмидт, Р.Л.Самойлович, В.Ю.Визе, П.П.Ширшов, Е.К.Федоров, М.М.Сомов, В.В.Фролов, А.Ф.Трешников и др. За годы существования института в нем выросло несколько поколений полярных исследователей.

Все это, а также многогранная научная деятельность, открытие новых научных дисциплин способствовали утверждению нашей страны в статусе великой полярной державы.

*A.O.ANDREEV, M.V.DUKALSKAYA, S.V.FROLOV*

## CHAPTERS IN THE AARI'S HISTORY

*The article presents a brief overview of the 90-year history of the Arctic and Antarctic Research Institute – the main center of Russian polar research.*

*Keywords:* history of the polar research, Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), North Expedition.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МПГ 2007/08 И ИХ РАЗВИТИЕ

член-корр. РАН, д-р геогр. наук А.Н.ЧИЛИНГАРОВ<sup>1</sup>,  
канд. геогр. наук А.И.БЕДРИЦКИЙ<sup>2</sup>, проф., д-р геогр. наук И.Е.ФРОЛОВ<sup>3</sup>,  
канд. физ.-мат. наук А.И.ДАНИЛОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук В.Г.ДМИТРИЕВ<sup>3</sup>,  
канд. физ.-мат. наук А.В.КЛЕПИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Государственная Дума Российской Федерации, г. Москва

<sup>2</sup> Администрация Президента Российской Федерации, г. Москва

<sup>3</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, v\_dmitriev@aari.ru

*МПГ 2007/08 представлял собой крупномасштабный международный научный эксперимент, включающий согласованные по времени, пространству и методическому обеспечению научные мероприятия по сбору и анализу фактических данных о состоянии окружающей среды в ключевых районах полярных областей Земли. Активная фаза МПГ проходила в период с 1 марта 2007 г. по 1 марта 2009 г. За период МПГ было проведено 159 морских и сухопутных российских экспедиций в Арктике и Антарктике. Наиболее масштабные исследования выполнены в арктических морях и высокоширотной зоне Северного Ледовитого океана. В статье кратко изложена история подготовки и проведения МПГ в России, приводятся основные научные результаты.*

*Ключевые слова:* Антарктика, Арктика, климат, Северный Ледовитый океан.

### ВВЕДЕНИЕ

В изучении полярных областей Земли особое место занимают крупные международные проекты. Это первый и второй Международный полярный год (1882/83 г., 1932/33 г.) и Международный геофизический год (1957/58 г.)

В 2007 году исполнилось 50 лет после проведения МГГ и соответственно 75 и 125 лет со времени Второго и Первого МПГ. Сложились предпосылки для проведения широкомасштабных исследований в Арктике и Антарктике, используя новые подходы и методы, чтобы решить важные задачи, стоящие перед мировой наукой и практикой в освоении полярных областей Земли.

25 октября 2001 г. в Брюсселе на совместном семинаре ученых России, Европейского союза, США, Канады «Общий подход к совместным прикладным исследованиям для освоения Арктики» заместитель Председателя Государственной Думы Российской Федерации А.Н.Чилингаров выступил с инициативой проведения МПГ 2007/08.

Понимание мировой научной общественностью важности развития исследований процессов, определяющих изменения окружающей среды полярных областей, а также разработки систем мониторинга и прогнозирования, с учетом повышенной чувствительности высокоширотных зон нашей планеты к глобальным, естественным и антропогенным воздействиям, сыграло решающую роль в признании необходимости и целесообразности проведения в 2007–2008 гг. очередного МПГ.

Инициатива России о проведении МПГ 2007/08, была поддержана на 14-м Всемирном метеорологическом конгрессе ВМО (2003 г.), и 56-я сессия Исполнительного совета ВМО (2004 г.) рекомендовала странам-членам, межправительственным и неправительственным организациям внести вклад в реализацию МПГ посредством предоставления необходимых технических средств и логистической

поддержки на национальном и международном уровнях и предложила Международному совету по науке (МСНС) продолжить совместную с ВМО подготовку и реализацию МПГ.

Генеральный секретарь ВМО учредил Международный руководящий комитет по МПГ с целевой группой, разработавшей краткий план программной деятельности, которая должна осуществляться как вклад программ ВМО в МПГ.

В период 2002–2004 гг. в инициативном порядке планирование МПГ 2007/08 взял на себя МСНС, как организация, проводившая МПГ 1957/58 г., являвшийся по локализации и задачам исследований также «Полярным», создав международную группу по планированию МПГ, в которую от России вошел академик В.М.Котляков.

Исполнительный Совет МСНС в феврале 2004 г. принял решение об учреждении Международного полярного года 2007–2008 гг. с последующим подтверждением этого 28-й сессией Генеральной Ассамблеи МСНС и предложил ВМО совместно быть спонсорами МПГ и учредить совместный комитет по планированию и координации МПГ. Признавая, что концепция МСНС в отношении МПГ охватывает широкий набор научных дисциплин и что она включает в себя сильные компоненты по климату и мониторингу окружающей среды, Совет согласился с тем, что ВМО и МСНС должны действовать совместно как лидирующие учреждения по подготовке и осуществлению МПГ, и принял решение об учреждении Объединенного организационного комитета (ООК МПГ) для планирования и координации МПГ 2007/08. Он также решил предложить другим соответствующим организациям, таким как Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО, Арктический совет, Международный арктический научный комитет, Научный комитет по антарктическим исследованиям, Форум арктических исследовательских операторов, Научный совет по исследованиям Северного Ледовитого океана, Комитет антарктических операторов, Европейский полярный совет, вносить вклады через свои страны-члены в интенсификацию научных исследований и развитие материально-технической инфраструктуры для операций и исследований в полярных регионах в ходе подготовки и осуществления МПГ.

На базе британской Антарктической службы был создан Международный офис по программе МПГ 2007/08.

#### **НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ УЧАСТИЯ**

На заседании Совета по проблемам Крайнего Севера и Арктики при Правительстве Российской Федерации 26 ноября 2002 г. было принято решение, согласно которому МИДу России совместно с Росгидрометом поручено рассмотреть организационные вопросы, связанные с участием России в МПГ 2007/08.

В первой половине 2003 г. межведомственной группой под руководством А.Н.Чилингарова совместными усилиями Росгидромета и РАН была разработана Концепция проведения МПГ 2007/08, получившая высокую оценку ВМО [2, 24].

В июне 2003 г. делегация Росгидромета и РАН приняла участие в рабочем совещании с Директоратом Европейской Комиссии по исследованиям. На совещании, проходившем в Брюсселе, была одобрена российская концепция проведения МПГ 2007–2008 гг. На основании решения данного совещания в ААНИИ в январе 2004 г. Росгидрометом и РАН было проведено Международное Совещание по сотрудничеству в подготовке МПГ 2007/08. Главная его цель состояла в определении потенциальных стран – участников МПГ 2007/08 и заинтересованных международных организаций, а также определении областей общих интересов и возможностей для будущего сотрудничества.

Правительство Российской Федерации в феврале 2004 г. поручило Росгидромету подготовить и внести в установленном порядке проект постановления Правитель-

ства по вопросу образования национального комитета по участию Российской Федерации в подготовке и проведении в 2007–2008 гг. Международного полярного года.

По поручению Правительства Российской Федерации от 23.12.2004 г. № АЖ-П12-6824 30 марта 2005 г. Руководителем Росгидромета А.И.Бедрицким утверждено положение о российском Организационном комитете по участию Российской Федерации в подготовке и проведении мероприятий в рамках МПГ 2007/08 (далее Оргкомитет).

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 19.11.2004 г. № 1499 по согласованию с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и Российской академией наук сопредседателями Оргкомитета – Руководителем Росгидромета А.И.Бедрицким и Заместителем Председателя Государственной Думы Федерального Собрания А.Н.Чилингаровым в апреле 2005 г. утвержден состав Оргкомитета, и с 8 апреля начались его регулярные заседания.

Согласно принятым решениям в ААНИИ был сформирован Центр по научному и информационно-аналитическому обеспечению участия России в МПГ 2007/08 (НИАЦ), образован секретариат Оргкомитета и создан российский веб-сайт МПГ.

Учитывая особую важность арктического региона для России, комплексный многодисциплинарный характер работ МПГ в Арктике, требующих согласованной деятельности на международном уровне, Росгидромет совместно с РАН обратился к ВМО и МСНС с предложением рассмотреть вопрос о создании Евразийского отделения Международного офиса по МПГ 2007/08 в ААНИИ с возложением на него работы по координации в исследованиях стран евразийского сектора Арктики по международным проектам МПГ 2007/08, которое было поддержано ООК МПГ.

В сентябре 2006 г. был организован Межведомственный научно-координационный комитет (МНКК) для обеспечения научной экспертизы проектов и координации исследований и работ, осуществляемых российскими организациями в рамках МПГ 2007/08. Комитет включал 10 Рабочих групп по основным направлениям российских научных исследований в период МПГ. В период 2006–2007 гг. МНКК проводил регулярные заседания по вопросам планирования мероприятий МПГ и координации межведомственных исследований [22].

В соответствии с рекомендациями ООК МПГ в январе 2005 г. российским Оргкомитетом был сформирован и представлен в Международный офис 51 проект для включения в международную программу исследований МПГ 2007/08 [10, 12, 18, 19, 27–28].

#### **ЦЕРЕМОНИИ НАЧАЛА И ОКОНЧАНИЯ МПГ 2007/08**

Международная церемония открытия МПГ 2007/08, в мероприятиях которой объединили усилия десятки тысяч ученых и исследователей из 63 стран, состоялась 1-го марта 2007 г. в офисе МОК ЮНЕСКО в Париже. Национальные церемонии открытия МПГ провели Аргентина, Великобритания, Германия, Дания, Италия, Канада, Китай, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Португалия, Россия, США, Украина, Финляндия, Швеция, Япония и другие страны.

Россия отметила начало МПГ Высокоширотной антарктической экспедицией на Южный полюс. Началу МПГ было посвящено специальное заседание российского Оргкомитета МПГ, где было заслушано обращение Сопредседателей Оргкомитета А.И.Бедрицкого и А.Н.Чилингарова, который был назначен специальным представителем Президента Российской Федерации по вопросам МПГ. Началу МПГ были посвящены пресс-конференция в Русском Географическом обществе, собрание представителей научных организаций и вузов в Санкт-Петербурге с участием представителей органов государственной власти и торжественное заседание «Дни Арктики в России» (Колонный зал Дома союзов, Москва).

Процедура завершения МПГ 2007/08, полевая стадия которого формально закончилась 1 марта 2009 г., была организована ВМО 24–25 февраля 2009 г. В те-

чение двух дней достижения в изучении полярных регионов, полученные в результате МПГ, были обнародованы на торжественной церемонии, организованной ВМО, МСНС, ООК МПГ и Международным программным офисом МПГ в Женеве. На церемонии был представлен отчет «Современное состояние полярных исследований» – своеобразное послание, включающее первые итоги МПГ и планы на будущее. Церемонии предшествовали пресс-конференция во Дворце Наций и фотовыставка «Наше полярное наследие». Представителем ВМО, ответственным за проведение мероприятий, являлся Э.И.Сарухян, Специальный советник Генерального секретаря ВМО по МПГ, член ООК МПГ.

Междисциплинарные научные исследования и разработки ученых стран-участниц МПГ были отмечены «Сертификатами признательности», присужденными ВМО и МСНС. Непосредственно на церемонии сертификаты вручили двум участникам МПГ – академику В.М.Котлякову, участнику МПГ 1957/58, и самой молодой участнице МПГ 2007/08 Мелиани Реймонд из Новой Зеландии.

### **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МПГ 2007/08**

МПГ 2007/08 представлял собой крупномасштабный международный научный эксперимент, включающий согласованные по времени, пространству и методическому обеспечению научные мероприятия по сбору и анализу фактических данных о состоянии окружающей среды в ключевых районах полярных областей Земли с целью:

- определения текущих и оценки будущих изменений климата полярных областей и их проявлений в природных комплексах Арктики и Антарктики;
- развития технологий мониторинга и прогнозирования процессов в атмосфере, океане, водах суши, околоземном космическом пространстве в полярных регионах;
- оценки и прогноза загрязнения окружающей природной среды полярных регионов, их влияния на экосистемы полярных районов;
- оценки влияния специфических полярных природно-климатических и экологических факторов на жизнеобеспечение и деятельность населения;
- выработки рекомендаций по учету условий меняющегося климата и состояния окружающей среды в интересах устойчивого социально-экономического развития и обеспечения рационального природопользования.

Основная цель участия России в проведении МПГ 2007/08 состояла в получении новых знаний о гидрометеорологических и других геофизических процессах в полярных регионах России и в Антарктике на основе значительного увеличения объема синхронизированных, скоординированных и согласованных в методическом аспекте наблюдений в ключевых районах полярных областей и интенсификация развития средств и методов комплексного изучения, оценок и прогнозов состояния природной среды Арктики и Антарктики в условиях меняющегося климата.

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ МПГ**

Совместно с учреждениями и научными организациями Российской академии наук, Минобороны России, Минприроды России, Минтранса России, Минсельхоза России Росгидрометом в марте 2005 г. был разработан План действий по участию Российской Федерации в подготовке и проведении МПГ 2007/08 (План действий) [20], одобренный Оргкомитетом по МПГ, Научным советом РАН по изучению Арктики и Антарктики и Морской коллегией при Правительстве РФ. Согласно Плану действий выполнение мероприятий МПГ 2007/08 в России было намечено в три стадии (подготовительная – 2005–2006 гг., экспедиционная – 2007–2008 гг. и заключительная – 2009–2010 гг.).

Главной целью Плана действий была организация участия России в мероприятиях МПГ 2007/08 г. в интересах устойчивого развития арктической зоны Российской Федерации, эффективного использования природно-ресурсного потенциала Арктики и укрепления геополитического присутствия России в Антарктике.

В Плате отражены предложения 50-ти организаций Росгидромета, РАН, РАМН, РАСХН, Минприроды России, Минобрнауки России, Минсельхоза России, Минздравсоцразвития России, общественных и коммерческих организаций.

Согласно Плану Росгидромет с участием специалистов РАН, Минэкономразвития России, МПР России, Минобрнауки России, Минобороны России, Минсельхоза России, Минтранса России, Минрегиона России, других ведомств и негосударственных организаций (в первую очередь Полярного фонда и Ассоциации коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ) разработал Научную программу участия России в проведении МПГ 2007/08 [11, 14, 23]. Исходным материалом послужили более 160 предложений, которые в 2006 г. представили в Оргкомитет свыше 40 организаций указанных министерств и ведомств, общественных и коммерческих организаций.

В программе отражены все основные направления научных исследований полярных районов в период МПГ:

- гидрометеорологические и гелиогеофизические условия полярных областей;
- строение и история геологического развития литосферы полярных районов;
- наземные и морские экосистемы Арктики и Антарктики;
- развитие наблюдательной сети;
- информационные системы, управление данными;
- качество жизни населения и социально-экономическое развитие полярных регионов;
- наращивание образовательного и научного потенциала в области полярных исследований, распространение знаний среди широкой общественности.

Для выполнения научных исследований и работ НИАЦ совместно с организациями Росгидромета, РАН, Минобороны России, Минприроды России, Минсельхоза России, Минтранса России разработал План реализации Научной программы участия Российской Федерации в проведении Международного полярного года 2007/08 (далее – План реализации), который был утвержден на заседании Оргкомитета 5 марта 2007 г.

План реализации включал проведение более 150 экспедиций и выполнение более 200 научных проектов. В МПГ участвовало более 80 российских организаций.

Научные направления Плана реализации включали комплексные исследования состояния природной среды, в том числе исследования климата и палеоклимата полярных областей, атмосферы, морской среды, криосферы, литосферы, околоземного космического пространства, а также экосистем полярных областей [1, 5–9].

Работы в период 2007–2009 гг. проводились в рамках подпрограмм «Освоение и использование Арктики», «Изучение и исследование Антарктики», «Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане», «Исследование природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан», ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники», ВЦП Росгидромета «Совершенствование системы обеспечения предупреждениями об опасных природных явлениях, о фактических и прогнозируемых резких изменениях погоды, которые могут угрожать жизни и здоровью населения и нанести ущерб отраслям экономики», программы Президиума РАН «Окружающая среда полярных регионов, ее прошлые изменения и вероятные изменения в ближайшем будущем», программы Отделения наук о Земле РАН «Эволюция криосферы в условиях меняющегося климата», грантов РФФИ, других программ.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

За период МПГ было проведено 159 морских и сухопутных российских экспедиций в Арктике и Антарктике.

Большую роль в изучении процессов в океане и атмосфере над ним сыграли комплексные экспедиции, проведенные в Северном Ледовитом океане. Здесь работали дрейфующие станции СП-35 и СП-36, российские научные суда «Академик Федоров», «Михаил Сомов», «Иван Петров», «Академик Мстислав Келдыш» и другие. Исследования также проводили суда «Поларштерн» (Германия), «Оден» (Швеция), «Хили» и «Амундсен» (США) и некоторые другие [15–17, 25–26]. 2 августа 2007 г. глубоководные обитаемые аппараты «МИР-1» и «МИР-2» впервые в истории полярных исследований совершили погружение и достигли дна океана в точке Северного полюса.

Материалы работ в морской Арктике позволяют по-новому оценить пространственно-временную изменчивость характеристик вод. Океанографические наблюдения показали, что температура атлантических промежуточных вод, поступающих в Северный Ледовитый океан, повысилась на 1,01,5 °С по сравнению с 1970-ми гг. Атлантические воды поднялись к поверхности океана на 20–80 м, то есть уменьшилась толщина верхнего слоя опресненных вод, формирующегося под влиянием речного стока, осадков и таяния льдов. Следуя основным течениям в верхнем слое океана, более пресные воды выносились в сторону Гренландии и Канадского архипелага, формируя здесь существенные (до 2,0 ‰) отрицательные аномалии солености.

Выполнены исследования системы полыней и фронтальных разделов в море Лаптевых как индикаторов состояния и климатической изменчивости в морях Сибирского шельфа. Впервые в районе исследований в придонном слое зафиксировано отопляющее влияние атлантических вод, проникающих из северных районов моря Лаптевых.

Наметившаяся перестройка вертикальных и горизонтальных термохалинных полей пока не позволяет ответить на основной вопрос термодинамики Северного Ледовитого океана: являются ли современные изменения в атмосфере и океане свойством арктической климатической системы, за которым последует возврат в одно из наблюдавшихся ранее условно равновесных состояний, или произойдет необратимая перестройка самой структуры климатической системы – термохалинных полей, циркуляции вод во всей толще океана, макроструктуры ледяного покрова и системы его дрейфа, включая возникновение новых, ранее не наблюдавшихся особенностей состояния и циркуляции вод.

Работы на дрейфующих станциях позволили оценить роль сезонной трансформации морского льда в Арктике в увеличении амплитуды годовых колебаний концентрации  $\text{CO}_2$  в арктической атмосфере. Измерения потоков  $\text{CO}_2$ , выполненные на станции СП-35, подтвердили его поступление в атмосферу в зимний период при нарастании льда и увеличение стока  $\text{CO}_2$  в летний период при таянии льда.

Был осуществлен дрейф французской яхты «Тара» через Центральный бассейн, повторившей дрейф Ф.Нансена на «Фраме». Дрейф «Тары» продолжался с 4 сентября 2006 г. по 24 января 2008 г. Материалы экспедиции еще обрабатываются, но сравнение с дрейфом «Фрама» показывает резкое увеличение скорости дрейфа «Тары» (более чем в два раза). При этом дрейф «Тары» проходил ближе к Северному полюсу, чем дрейф «Фрама». Это подтверждает предположение об общем увеличении скорости динамических процессов в Арктике, что, вероятно, связано с потеплением климата.

Экспедиционные работы, проведенные в период МПГ в Арктике, также позволили:

- уточнить параметры водообмена между Тихим и Северным Ледовитым океанами;
- установить сокращение площади распространения летних тихоокеанских вод, значительный рост температуры и расширение ареала зимних тихоокеанских вод;
- оценить состояние загрязнения архипелага Шпицберген и восточной части Российской Арктики и установить, что загрязнение в обоих районах не является критическим;
- провести комплексные геофизические исследования на архипелаге Шпицберген.

В рамках изучения взаимодействия океана и атмосферы получены значения турбулентных потоков тепла, импульса, влаги и углекислого газа в различных условиях Арктики. Эти данные необходимы для создания сопряженных моделей океана и атмосферы.

Институт физики атмосферы РАН оценил перенос в атмосфере тяжелых металлов за 27 лет с 1981 по 2007 г. Атмосферный вклад заполярных промышленных комплексов в загрязнение окружающей среды северных районов России уменьшился за этот период, при значительных сезонных и пространственных вариациях. Годовой поток из атмосферы никеля, меди и кадмия в воды пелагиальной зоны арктических морей вполне сравним с вкладом речного стока.

Полярный институт рыбного хозяйства и океанографии получил оценки потоков поверхностных и придонных вод на обширной акватории между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа, которые могут быть использованы в расчетах водного и теплового баланса Северного Ледовитого океана.

Государственный гидрологический институт создал метод прогноза продолжительности наводнений, вызванных заторами льда, и оценил сток крупных сибирских рек в Северный Ледовитый океан.

Институт водных проблем РАН разработал методику пространственно-временного статистического анализа данных натурных наблюдений изменчивости сроков наступления ледовых явлений в устьевых областях рек: Сев. Двины, Онеги, Мезени, Печоры, Оби – и предложил гипотезу, связавшую полярные климатические изменения со скоростью вращения Земли.

Выполнен комплекс измерений уровней загрязнения снежного покрова на территории Республики Саха (Якутия) и Чукотского автономного округа. Предварительный анализ данных показал, что в восточной части Российской Арктики концентрации сажевого аэрозоля в снеге низки и не превосходят средних величин, измеренных четверть века назад за пределами Российской Арктики.

Начаты работы по бурению мерзлотной скважины глубиной 200 м на берегу озера Эльгыгытгын с целью выявления уникальных палеоклиматических характеристик Чукотки.

Получены новые данные о происхождении и развитии дельты р. Лены и береговой зоны моря Лаптевых (экспедиция «Лена-2008»). Выявлено отсутствие значимых изменений в температурах и глубинах сезонного протаивания верхнего слоя вечномерзлых пород на полигоне о. Самойловский в дельте р. Лены за последние 7 лет наблюдений.

Учеными ИФА РАН совместно со специалистами Росгидромета и Университета Хельсинки проведены комплексные исследования состава приземного воздуха в рамках экспедиции вагона-обсерватории от Москвы до Владивостока.

ФИАИАН выполнил исследование по мониторингу космических лучей в арктической атмосфере и на уровне моря. Наблюдаемые потоки заряженных частиц в земной атмосфере от уровня Земли до высот 30–35 км свидетельствуют о необычно глубоком и продолжительном текущем минимуме солнечной активности.

Исследования состояния и изменений арктической вечной мерзлоты проведены в десяти наземных и прибрежных экспедициях, выполненных институтами РАН. В полярных районах Западной и Восточной Сибири изучались динамика отступления берегов, температурный режим многолетнемерзлых толщ и динамика глубины сезонного протаивания на мониторинговых площадках (ИГ РАН, ИКЗ СО РАН, ИМЗ СО РАН, ЦЭПЛ РАН). Проводилось изучение разрезов четвертичных отложений береговых обрывов Енисейского Севера. Выполнены описание льдов различного генезиса и исследование особенностей ледового комплекса Западного Таймыра, изучение ландшафтной структуры и видового разнообразия водораздельных поверхностей Енисейского Севера. Проведены исследования влияния процессов деградации вечной мерзлоты на биогенные потоки углерода в тундрах Чукотского автономного округа.

В рамках международных полевых учебных практик МГУ по мерзлотоведению на побережье Енисейского залива изучен ледовый комплекс Западного Таймыра. Получены новые данные по изотопному и химическому составу подземных льдов, изучены вмещающие льды четвертичные отложения.

Важное геополитическое и экономическое значение имеют результаты экспедиции «Арктика-2007» на а/л «Россия» (МПР России, РАН, Росгидромет), в ходе которой получены новые данные для обоснования внешней границы континентального шельфа в Арктике и комплекс данных по природной среде высокоширотной Арктики. Эти данные войдут в пакет документов, которые Россия представит в Комиссию ООН по Морскому праву.

Геолого-геофизические работы проводились силами организаций РАН и Минприроды России. Выполнена реконструкция тектонической эволюции шельфового блока моря Лаптевых на протяжении позднего палеозоя и мезозоя (ГИН РАН). Исследована тектоническая эволюция Западной Арктики – Северной Атлантики (Земля Франца-Иосифа, Шпицберген, восток и север Гренландии, Канадская Арктика) (ПМГРЭ). Проведены сеймотектонические исследования плейстоценовых областей Хараулахской группы катастрофических палеоземлетрясений (ИГАиБМ СО РАН, ИЗК СО РАН).

В рамках исследований наземных и морских экосистем Арктики проводились обширные экспедиционные работы по изучению состояния популяций и их реакции на климатические и антропогенные изменения. Особое внимание уделялось вопросам загрязнения окружающей природной среды полярных регионов и его влияния на экосистемы Арктики.

Выполнены большие работы по восстановлению и реорганизации сети метеорологических, актинометрических и аэрологических наблюдений и измерений уровня моря в Российской Арктике. Для наблюдений за атмосферой совместно с NOAA (США) организована гидрометеорологическая обсерватория в Тикси.

Институтом системного анализа РАН, Институтом географии РАН и ААНИИ проводились этно-экологические и социально-экономические исследования в прибрежной зоне Арктики. Врачами-специалистами выполнено более 900 осмотров детского и взрослого населения. Проведено анкетирование взрослого населения и антропометрия взрослого и детского населения для оценки пищевого статуса. Проведен отбор проб воздуха, воды, почв, растительности, продуктов питания. Проведенная оценка содержания тяжелых металлов (хром, никель, кадмий) показала, что имеется превышение ПДК по никелю, превышение концентрации тяжелых металлов в п. Харп. Отмечен высокий уровень ЛОР патологии, и наблюдается рост онкологических заболеваний.

Качество жизни населения определяется не столько физиологическим здоровьем, сколько социально-психологическим и социально-экономическим фоном ре-

гиона, при сохранении определенного уровня стабильности традиционного уклада жизни населения. Состояние физиологического здоровья является своеобразным маркером общесистемного «социального здоровья» региона. В этой связи весьма актуальными были комплексные исследования качества жизни населения в контексте таких факторов, как активное техногенное и антропогенное воздействие из-за интенсивного промышленного освоения ряда северных регионов, а также глобальные климатические изменения.

В комплексных исследованиях культурного и природного наследия сотрудниками РНИИ культурного и природного наследия имени Д.С.Лихачева в ноябре 2008 г. были обследованы памятники истории и культуры на Земле Франца-Иосифа (о. Земля Александры), в Большеземельской тундре (р-н г. Воркуты). Выявлен и зафиксирован ряд объектов, отнесенных к памятникам истории освоения Арктики, науки и техники, ненецкой и поморской культуры, природной среды Арктики.

В Антарктике работы по 24-м проектам МПГ 2007/08 проводились в рамках Российской антарктической экспедиции на пяти постоянно действующих станциях, нескольких сезонных базах, во время внутриконтинентальных санно-гусеничных походов и в Южном океане — с борта судов «Академик Федоров» и «Академик Александр Карпинский» [16–18, 25–26]. Большинство проектов связано с исследованиями климата.

В рамках проекта «Сбор данных метеорологических измерений в активную фазу МПГ для научных и прикладных исследований» (COMPASS) в результате установки автоматических метеостанций на законсервированных станциях Молодежная, Русская и Ленинградская восстановлена российская циркумполярная сеть метеонаблюдений. Выполнен анализ результатов метеорологических измерений на станциях России, Чили, Аргентины, Бельгии, Индии, Великобритании, Украины и Австралии. Длина климатических рядов лишь 15 антарктических станций превышает 50 лет, и трудно сказать, отражают ли изменения температуры в Антарктике (потепление на 0,6 °С к началу XXI века по сравнению с концом XIX века) глобальные изменения климата для планеты в целом. Данные по среднегодовой температуре приземного воздуха на станциях в Антарктике показывают, что за период 1957–2008 гг. на большинстве станций тренды положительны. Из 15 станций с длинными рядами только на 4-х тренд является отрицательным, при этом большинство трендов не являются статистически значимыми. Показано, что за последние десятилетия заметное потепление климата наблюдается в районе Антарктического полуострова, как в приземном слое, так и в тропосфере. Здесь наблюдается уменьшение амплитуды годового и суточного хода температуры воздуха за счет роста минимальных значений.

Исследования солнечной радиации и прозрачности антарктической атмосферы показали, что за более чем 50-летний период отсутствует статистически значимый тренд в поступлении суммарной радиации, в межвулканические периоды прозрачность атмосферы и аэрозольное ослабление радиации были стабильны.

Как показали исследования общего содержания озона (ОСО), необходимой предпосылкой для формирования отрицательной аномалии ОСО является преобладание процессов фотохимического разрушения озона над процессами его образования. Это возможно при наличии развитого стратосферного циркумполярного вихря. Он изолирует стратосферные слои над Антарктикой от стратосферы умеренных широт и препятствует переносу богатых озоном воздушных масс внутрь охватываемой им зоны. Сохранение ядра холода с экстремально низкими температурами в зоне действия вихря способствует протеканию озоноразрушающих фотохимических реакций. Установлена стабилизация мощной антарктической «озоновой дыры» в весеннее время над Антарктикой. На ст. Мирный за период 1975–1995 гг. ОСО в период максимального развития «озоновой дыры» уменьшилось с 410 до

240 единиц Добсона и все последующие годы, включая период МПГ 2007/08, колебалось у этого значения.

В гелиогеофизических исследованиях даны оценки влияния галактических лучей, направляемых солнечным ветром, на температурный режим и ветровой режим в южной околополюсной области. В результате выполненных исследований было обнаружено, что состояние атмосферы критическим образом зависит от вариаций параметров солнечного ветра, а именно межпланетного электрического поля.

Океанографические работы в Южном океане позволили установить положение, структуру и динамику его главных фронтальных зон. Работы в море Амундсена показали, что относительно теплая и соленая циркумполярная глубинная вода Южного океана, проникая на шельф Западной Антарктиды, способствует ускоренному таянию шельфовых ледников. Работы в заливе Прюдс позволили впервые установить факт опускания шельфовых вод по материковому склону Антарктики с образованием в этом районе антарктических донных вод. Температура обнаруженных донных вод составляет от  $-0,3$  до  $-1,6$  °С, соленость  $34,54$ – $34,62$  ‰. Опускание плотных вод в глубинные слои может оказывать влияние на глобальный климат, так как переносимые при этом парниковые газы лишаются контакта с атмосферой на сотни лет.

Были продолжены интенсивные работы по изучению подледникового озера Восток. Завершены исследования кернов льда из воды подледникового озера в интервале глубин  $3536$ – $3667$  м. Получены новые данные о газовом, изотопном и гидрологическом режимах озера. Установлено, что за счет донного таяния ледника в северной части озера в подледниковый водоем ежегодно поступает  $20$ – $40$  млн т воды, а расход гидротермальных источников на дне озера оценивается в  $2,8$ – $5,5$  млн т воды в год. По данным наземных геофизических исследований построены карты подледного рельефа и мощности ледника и водного слоя озера Восток. Сделаны оценки изменений температуры воздуха и мощности ледникового покрова в центральных районах Антарктиды в период времени  $0,5$ – $1$  млн лет назад.

Гляциологами впервые оценены изменения аккумуляции и стока материкового льда и получены оценки баланса массы Антарктического ледникового покрова за последние 50 лет. Установлено, что баланс массы Антарктического ледникового покрова на протяжении 2-й половины XX века являлся положительным.

В прибрежной зоне в районе станции Прогресс проведены работы по изучению видового разнообразия и численности популяции различных форм бентоса с помощью легководолазной техники. В результате получены структура и распределения донных биоценозов, даны оценки численности и биомассы ледовой биоты в прибрежной зоне Антарктики.

В районе плато Кергелен (море Содружества) были выполнены морские геолого-геофизические работы (сейсмическое профилирование и аэромагнитные наблюдения) с судов «Академик Александр Карпинский» и «Поларштерн». Благодаря высокому качеству сейсмических материалов удалось обнаружить различия внутреннего строения и физических свойств земной коры, позволившие определить ее происхождение. Установлены взаимоотношения утолщенной магматической коры южной части плато Кергелен с рифтогенной и океанической корой моря Содружества и моря Дейвиса. По результатам интерпретации геофизических данных была сформирована новая геодинамическая модель и установлено, что раскол литосферы между Индией и Антарктикой произошел около  $137$  млн лет назад. Увеличение мощности базальтового слоя океанической коры с возрастом около  $134$  млн лет связывается с активизацией мантийной конвекции.

Мероприятия по наращиванию научного потенциала условно можно разделить на два направления: мероприятия, направленные на участников профессиональной среды, и мероприятия, ориентированные на общественность. В первом

направлении приняли участие Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), ААНИИ и другие НИУ Росгидромета, МГУ и СПбГУ, Морская академия имени адмирала Макарова, Полярная академия и др. В учебные программы гидрометеорологов и смежных специальностей были включены вопросы, связанные с изучением Арктики и Антарктики, историей МПГ и проблемами, решаемыми в рамках МПГ 2007/08. Были сформированы магистерские образовательные программы по полярной гидрометеорологии (метеорология, гидрология, океанология), географии и комплексному управлению арктическими ресурсами и устойчивому развитию, объявлены гранты на подготовку дипломных проектов, магистерских и кандидатских диссертаций по арктической тематике.

В летний период 2007–2008 гг. было организовано проведение производственных практик студентов на Белом и Баренцевом морях. В январе 2007 и 2008 гг. проводились региональные олимпиады, посвященные арктической тематике и проведению МПГ для школьников Санкт-Петербурга. В апреле 2008 г. в рамках 3-го тура Всероссийской студенческой олимпиады по гидрометеорологии проводились конкурсы студенческих работ и Международная студенческая олимпиада «Международный полярный год — прошлое, настоящее, будущее. Исследование Арктики и Антарктики». Более 60 студентов приняли участие в олимпиаде, предложив массу интересных и актуальных работ, связанных с проблемами полярных областей.

В ноябре 2008 г. в РГГМУ при поддержке Правительства Санкт-Петербурга в рамках Международного молодежного «О-Мега форума» проходила международная конференция по тематике МПГ. Тесная научная кооперация с зарубежными участниками конференции в выполнении совместных программ позволила существенно пополнить банк данных по полярным областям Земли новой информацией, которая может быть использована для обоснованных количественных оценок изменений климата.

МГУ провел междисциплинарные курсы для студентов и аспирантов «Мерзлота и перигляциальная геоморфология Западной Сибири и Западного Таймыра».

В рамках второго направления были реализованы проекты по освещению мероприятий, проводимых в РГГМУ, посвященных арктической тематике, в средствах массовой информации — публикации в ведущих российских изданиях, ориентированных на регионального или тематического читателя: Информационный бюллетень «Новости МПГ 2007/08», «Вечерний Петербург», «Известия», «Санкт-Петербургские ведомости», «Метро», «Мой район», «Комсомольская правда — Санкт-Петербург» и другие. Было реализовано освещение полярных мероприятий на телевидение: «5-й канал», «СТС», Телеканал Россия «Вести» и другие.

Проведение данных мероприятий позволило существенно повысить степень информационного обмена и вовлеченности молодых ученых, специалистов, студентов и аспирантов в решении многих насущных проблем на территории Арктики и Антарктики, в том числе позволило осуществить вовлечение широких масс в тематику МПГ.

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДВЕДЕНИЯ ИТОГОВ МПГ И ОБМЕНА ДАННЫМИ**

В рамках подпрограммы «Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане» ФЦП «Мировой океан» для создания полного и высококачественного полидисциплинарного информационного фонда по полярным областям Земли введен в действие ряд нормативно-методических документов и информационно-технологических средств управления данными МПГ 2007/08: «Принципы управления данными в Научной программе участия Российской Федерации в проведении Международного полярного года 2007/08» и «План управления данными научной программы участия Российской Федерации в проведении Международного полярного года 2007/08», в которых определены основные принципы

и общие правила сбора и обмена национальными данными МПГ 2007/08 и установлены схемы и регламент сбора, накопления и распространения данных [3, 4].

Проведены обучающие курсы по организации управления данными МПГ 2007/08 и использованию информационной системы «МПГ 2007/08-Инфо» для формирования фонда данных и метаданных. Начаты работы по наполнению информационной базы «МПГ 2007/08-Инфо».

Российское участие в МПГ широко представлено на отечественных и международных совещаниях, конференциях и симпозиумах, число которых только в период 2004–2009 гг. превысило 35. Среди форумов, посвященных тематике МПГ, особое место занимают: Международное совещание «Сотрудничество в подготовке Международного полярного года 2007–2008» (22–23 января 2004 г., Санкт-Петербург); заседания Комитета старших должностных лиц Арктического совета (6–7 апреля 2005 г., г. Якутск; 11–14 октября 2005 г., г. Ханты-Мансийск); Координационное совещание ВМО по метеорологии Антарктики и вопросам подготовки МПГ (21–23 ноября 2005 г., Санкт-Петербург); Международный форум на Полярном круге «Лики Севера», посвященный открытию Международного полярного года (15–18 февраля 2007 г., г. Салехард); крупнейшая международная конференция «Полярные исследования — перспективы изучения Арктики и Антарктики в период Международного полярного года» (Санкт-Петербург, Россия, 8–11 июля 2008 г.) и уникальная серия конференций «Россия в МПГ», проходивших ежегодно, начиная с 2005 г., в г. Сочи.

Результаты исследований оперативно публиковались в ежемесячном информационном бюллетене «Новости МПГ 2007/08», издаваемом ААНИИ с апреля 2007 г. и переведенном на английский язык. Кроме того, изданы два сборника «Экспедиционные исследования в период МПГ 2007/08» [25, 26].

Начата работа по изданию многоотомного труда серии «Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Первые результаты». В составе серии в 2010–2011 гг. выйдут книги «Полярная атмосфера», «Океанография и морской лед», «Полярная криосфера и воды суши», «Строение и история развития литосферы», «Наземные и морские экосистемы», «Качество жизни и социально-экономическое развитие полярных регионов» и «Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований». Помимо перечисленных, в период МПГ опубликован целый ряд монографий, обзоров и статей. Материалы исследований МПГ представлены на 9 международных выставках.

#### НАСЛЕДИЕ МПГ

МПГ 2007/08, безусловно, способствовал принятию важных стратегических государственных решений по развитию деятельности России в высоких широтах. В первую очередь следует отметить решения заседания Правительства РФ «Об обеспечении интересов Российской Федерации в высокоширотных и полярных регионах» (апрель 2008 г.), «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу», утвержденные в сентябре 2008 г. Президентом России; придание Морской коллегии при правительстве России дополнительных полномочий, связанных с освоением Арктики и Антарктики, разработку Стратегии обеспечения российского присутствия в Антарктике на период до 2025 г. и Стратегии развития арктической зоны РФ до 2025 г. и на более отдаленную перспективу [13].

К наследию МПГ относятся восстановление и реорганизация сети метеорологических, актинометрических и аэрологических наблюдений и измерений уровня моря в Российской Арктике; большой объем натурных исследований природной среды Арктики и Антарктики; новые данные для обоснования внешней границы континентального шельфа в Арктике; первое в истории глубоководное погружение лю-

дей на дно Северного Ледовитого океана в точке полюса; полидисциплинарный информационный фонд по полярным областям Земли; лаборатория по изучению кернов льда (ААНИИ); предложения по созданию российского компонента Сети арктических опорных наблюдений (САОН); совместная с NOAA (США) гидрометеорологическая обсерватория в Тикси; программы научных исследований и других работ.

Особо следует отметить идею проведения Международного полярного десятилетия, высказанную на 60-й сессии Исполнительного Совета ВМО и поддержанную многими международными организациями и научной общественностью.

Важным наследием МПГ 2007/08 является объединение интересов арктических стран в развитии и интеграции общих систем наблюдений за состоянием различных компонентов природной среды и социума в условиях заметных изменений климата.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МПГ, проведенный под эгидой МСНС и ВМО, стал подлинно международным, междисциплинарным начинанием, включившим более 160 международных научных проектов, подготовленных на основе проектных предложений более 60 стран.

Участие Российской Федерации в МПГ 2007/08 позволило резко поднять уровень и объем российских полярных исследований в целях обеспечения национальных интересов России в Арктике, эффективного и безопасного освоения энергетического и транспортного потенциала Арктики, безопасности населения и сохранения окружающей природной среды, укрепить престиж России как ведущей полярной державы.

Научная программа МПГ 2007/08 значительно отличалась от программ прошлых МПГ и других программ крупномасштабных научных исследований в полярных регионах. Она положительно выделялась не только тем, что более 30 международных проектов МПГ были ориентированы на исследования в области социальных наук. Весьма знаменательно, что были предприняты специальные усилия для включения в МПГ 2007/08 междисциплинарных исследований и проектов, осуществляющих синтез знаний.

Как подчеркнуто в заявлении Объединенного комитета МСНС и ВМО «Современное состояние полярных исследований», впервые в истории МПГ – МПГ ученые в областях физических, естественных, и общественных наук работали вместе в рамках единой междисциплинарной научной программы. Эта новая форма междисциплинарного сотрудничества воспринимается как одно из достижений МПГ и его долговременное наследие. Она также отражает знаменательный прогресс в нашем осознании сложности процессов в полярных регионах, важности научного синтеза, интеграции знаний и обмена данными в понимании процессов, влияющих на нашу планету.

«Работа, начатая МПГ, должна продолжаться», – сказал г-н Мишель Жарро, Генеральный секретарь ВМО. «Необходимость международного сотрудничества в полярных регионах будет сохраняться и в последующие десятилетия», – отметил он. Г-жа Катрин Брешиньяк, президент МСНС, поддержала эту точку зрения: «МПГ способствовал дальнейшему укреплению связей МСНС-ВМО в области координации полярных исследований, и мы должны продолжать оказывать содействие научному сообществу в стремлении понять и предсказать изменение в полярных регионах и его глобальные проявления в этот критический период».

Объединенный комитет МПГ в заявлении «Современное состояние полярных исследований» выделил научные проблемы, которые имеют общечеловеческое значение и сохраняют свою актуальность и после завершения МПГ: быстрое изменение климата в Арктике и в отдельных частях Антарктики; сокращение объемов снега и льда в мире (морской лед, ледники, ледяные щиты, снежный по-

кров, вечная мерзлота); влияние крупных ледяных щитов на повышение уровня Мирового океана и роль подледниковой среды в динамике ледяных щитов; глобальные климатические последствия изменений в океанической циркуляции; сокращение биоразнообразия и изменения в структуре и распространении экосистем; выброс метана в атмосферу вследствие таяния вечной мерзлоты; совершенствование сценариев и прогнозов на базе моделей погоды и климата; глобальный перенос загрязняющих и токсичных веществ в полярные регионы и последующее их воздействие на окружающую среду, население и экосистемы; здоровье и благосостояние жителей Арктики и арктических общин.

В результате проведения только Россией более полутора сотен морских и сухопутных экспедиций, в которых участвовали десятки крупнейших институтов Росгидромета, РАН, других министерств, некоммерческие и другие организации, зачастую совместно с зарубежными коллегами, получен уникальный объем натуральных данных. Эти данные войдут в создаваемый полидисциплинарный фонд, доступный российским и зарубежным исследователям.

Развитие системы гидрометеорологического мониторинга и гидрометеорологического обеспечения морской и хозяйственной деятельности в Арктике обеспечит снижение негативных последствий и повышение эффективности деятельности в полярных районах за счет своевременного учета неблагоприятных гидрометеорологических условий.

Проведенные работы по мониторингу ледовой обстановки Северного Ледовитого океана, геодинамическим наблюдениям Арктики позволят найти новые решения проблем оценки изменения оледенения, нарушений вечной мерзлоты и наледей, трансформации оленьих пастбищ, эрозии берегов, картирования морских течений, фиксации антропогенных воздействий, дрейфа островов с использованием современных спутниковых технологий, в том числе базирующихся на данных дистанционного зондирования Земли, будут способствовать созданию сети постоянно действующих спутниковых дифференциальных станций для картографо-геодезического и навигационного обеспечения территории Арктической зоны, транспортных систем, включая Северный морской путь.

Углубление знаний о природной среде и прогнозирование возможных изменений в будущем необходимы для надежного обеспечения гидрометеорологической и ледовой информацией судоходства в Арктике, для проектирования судов и ледоколов, проектирования и эксплуатации платформ на шельфе.

Полученные в Антарктике данные внесли существенный вклад в достижение главной цели антарктических исследований – определение прошлых и текущих, а также оценка будущих изменений антарктической природной среды.

Результаты МПГ 2007/08 позволяют сохранить национальное наследие – итоги деятельности различных поколений российских и советских исследователей полярных областей Земли для будущего использования; создадут потенциал для развития научных исследований и информационного обеспечения деятельности в полярных районах; внесут значительный вклад в развитие отечественной и мировой науки; дадут возможность осознать пределы естественной изменчивости климатической системы и оценить тенденции будущих климатических изменений; составят основу для повышения качества прогнозирования состояния окружающей природной среды.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.В.Алексееву, Е.Н.Андреевой, И.М.Ашику, Г.Н.Дегтевой, В.М.Грузинову, В.М.Котлякову, А.А.Кузнецову, В.Е.Лагуну, Г.Л.Лейченко, Ю.Г.Леонову, В.Я.Липенкову, А.П.Макштасу, Г.Г.Матишову, М.Ю.Москалевскому, А.В.Неелову, В.Ф.Радионову, Э.И.Саруханяну, Ю.Ф.Сычеву, В.Т.Соколову, А.А.Тишкову, О.А.Трошичеву, В.Н.Шеповальникову за оказанное содействие при написании статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Г.В., Данилов А.И., Дмитриев В.Г.* Климатические исследования полярных районов // Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ 2007/08». 3–5 октября 2006 г., г. Сочи. М., 2006. С. 10–11.
2. *Бедрицкий А.И., Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Котляков В.М., Москалевский М.Ю., Сычев Ю.Ф., Фролов И.Е., Чилингаров А.Н.* Концепция проведения Международного полярного года в 2007–2008 гг. // Известия РАН. Серия Географическая. 2007. № 1. С. 7–12.
3. *Вязилов Е.Д., Дмитриев В.Г., Михайлов Н.Н., Карпенко Г.А.* Организация и управление данными. Концепция обмена данными в период МПГ // Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ 2007/08». 3–5 октября 2006 г., г. Сочи. М., 2006. С. 80.
4. *Вязилов Е.Д., Дмитриев В.Г., Карпенко Г.А., Михайлов Н.Н., Белов С.В., Сухоносков С.В.* Модель информационного обмена в период Международного полярного года // Новости ЕСИМО. Электронное периодическое издание. 2006. Вып. 26. URL: <ftp://mete.ru/resource/magazine/news26.mht> (дата обращения 01.02.2010)
5. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г.* Навстречу Международному полярному году. Международный полярный год шагает по России // Бюллетень Национального комитета географов России. М., 2007. С. 10–13.
6. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г.* Перспективы развития Арктики как ориентиры для формирования стратегических направлений научных полярных исследований // Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ – первые результаты». 3–9 октября 2007 г., г. Сочи. М., 2007. С. 12–13.
7. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Алексеев Г.В., Клепиков А.В., Моргунов Б.А., Петров В.С.* Изменение климата и устойчивое развитие Арктики // Тр. ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 241–258.
8. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В.* Комплексные исследования Антарктики и антарктической зоны Южного океана // Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ 2007/08». 3–5 октября 2006 г., г. Сочи. М., 2006. С. 33–35.
9. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Ашик И.М., Соколов В.Т.* О плане экспедиционных исследований в 2007 г. в рамках участия Российской Федерации в проведении МПГ 2007/08 // Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ – первые результаты». 3–9 октября 2007 г., г. Сочи. М., 2007. С. 8–9.
10. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Прямиков С.М.* О подготовке участия Российской Федерации в мероприятиях Международного полярного года 2007/08 // Тезисы докладов Итоговой сессии Ученого совета ААНИИ по результатам работ 2005 г. Экспресс-информация. 2005. Вып. 22. С. 77–78.
11. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Прямиков С.М., Москалевский М.Ю.* Научная программа участия Российской Федерации в проведении Международного полярного года (2007/08 год). М.: Изд. центр АНО Метеоагентство Росгидромета, 2006. 86 с.
12. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Прямиков С.М., Москалевский М.Ю.* О подготовке научной программы участия Российской Федерации в проведении Международного полярного года (2007–2008 год) // Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ 2007/08». 3–5 октября 2006 г., г. Сочи. М., 2006. С. 5–8.
13. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Кочемасов Ю.В., Кочемасова Е.Ю., Моргунов Б.А., Седов Н.Ю., Шаров А.Н.* Приоритеты перспективного развития Российской Арктики. СПб.: ААНИИ, 2008. 116 с.
14. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Кочемасов Ю.В., Моргунов Б.А., Фролов И.Е.* Стратегическая оценка окружающей природной среды как основа формирования и реализации плана действий по устойчивому развитию Арктики. СПб.: ААНИИ, 2005. 52 с.
15. *Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Мартыщенко В.А.* Вклад исследований Международного полярного года 2007/08 в освоение ресурсов российского арктического шельфа // Труды RAO/GIS Offshore. СПб.: Химиздат, 2009. Т. 1. С. 8.
16. *Дмитриев В.Г.* О системе научных мероприятий в 2008 г. и планировании заключительной фазы Международного полярного года 2007/08 // Тезисы докладов научной конференции «Вклад Россия в МПГ». 02–08 октября 2008 г., г. Сочи. М., 2008. С. 4–9.
17. *Дмитриев В.Г.* Участие Российской Федерации в проведении Международного полярного года // Экология человека. 2009. № 6. С. 6–7.

18. *Дмитриев В.Г., Клепиков А.В.* Российские антарктические проекты Международного полярного года 2007–2008 гг. // *Материалы Пятого симпозиума «Метеорологические исследования в Антарктике»* 14–16 ноября 2005 г., Санкт-Петербург. СПб.: ААНИИ, 2005. С. 74–75.
19. *Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Прямиков С.М.* Организация подготовки участия Российской Федерации в мероприятиях Международного полярного года 2007/08 гг. // *Материалы Совещания по подготовке Международного полярного года.* 16–21 октября 2005 г., г. Сочи. М.: 2005. С. 65–73.
20. Современное состояние полярных исследований. Заявление Объединенного комитета Международного совета по науке Всемирной Метеорологической Организации по Международному полярному году 2007/2008. Женева: ВМО, 2009. 12 с.
21. *Фролов И.Е., Данилов А.И., Дмитриев В.Г.* О деятельности Межведомственного научно-координационного комитета по участию Российской Федерации в подготовке и проведении мероприятий в рамках Международного полярного года (2007/08 год) по координации российских исследований в Арктике и Антарктике в рамках МПГ 2007/08 // *Тезисы докладов научной конференции «Россия в МПГ – первые результаты».* 3–9 октября 2007 г., г. Сочи. М., 2007. С. 10–11.
22. *Фролов И.Е., Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В.* О российских мероприятиях Международного полярного года 2007/2008 // *Вторая Международная арктическая конференция на 10-й юбилейной выставке по судостроению, судоходству, деятельности портов и освоению шельфа.* 2009. СПб., 2009. С. 42–46.
23. *Фролов И.Е., Дмитриев В.Г.* Современная ситуация в Арктической зоне РФ, перспективы и возможные пути социально-экономического развития региона. СПб.: ААНИИ, 2006. 40 с.
24. *Цатуров Ю.С., Фролов И.Е., Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Прямиков С.М., Клепиков А.В.* Международный полярный год 2007–2008 // *Метеорология и гидрология.* 2005. № 10. с 94–107.
25. *Экспедиционные исследования в период МПГ 2007/08. Том 1. Экспедиции 2007 /* Под ред. А.И. Данилова. СПб.: ААНИИ, 2008. 234 с.
26. *Экспедиционные исследования в период МПГ 2007/08. Том 2. Экспедиции 2008 /* Под ред. А.И. Данилова. СПб.: ААНИИ, 2009. 220 с.
27. *Klepikov A.V., Danilov A.I., Dmitriev V.G., Moskalevsky M.Yu.* Coordinated Studies of the Russian Arctic During the International Polar Year 2007/2008 // *The ACIA International Scientific Symposium on Climate Change in the Arctic. Extended Abstracts, Reykjavik, Iceland, 9–12 November 2004. AMAP Report 2004:4. Oral session 9.* P. 1–3.
28. *Frolov I., Danilov A., Dmitriev V., Pryamikov S., Klepikov A.* Russian program of the IPY-2007/2008 studies in the Arctic // *Presentation of the Arctic Climate Impact Assessment overview report and international Polar year 2007/2008 in the Russian Arctic.* 30 March–1 April, 2005. Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia. P. 20–21.

*A.N.CHILINGAROV, A.I.BEDRITSKY, I.E.FROLOV, A.I.DANILOV,  
V.G.DMITRIEV, A.V.KLEPIKOV*

## THE RESULTS OF THE IPY 2007/08 AND THEIR DEVELOPMENT

*IPY 2007/08 is a large-scale international scientific experiment, which includes studies coordinated in time, space and methodology, to collect and analyze the data on the current state of the environment in key areas of the Earth's polar regions. The active phase of IPY was held from March 1, 2007 to March 1, 2009. During the period of IPY 159 expeditions in the land and ocean parts of Russian Arctic and Antarctic were launched. The most intensive studies were held in the coastal Arctic seas and in the high latitude zone of the Arctic Ocean. The article describes the history of the IPY process, preparation and implementation of the IPY projects in Russia, and the main scientific results of Russian IPY studies.*

*Keywords: Antarctic, Arctic, climate, Arctic Ocean.*

## РАЗВИТИЕ РАБОТ И ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ В ОБЛАСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

канд. физ.-мат. наук А.И.ДАНИЛОВ, канд. техн. наук В.Г.ДМИТРИЕВ,  
профессор, д-р геогр. наук И.Е.ФРОЛОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, v\_dmitriev@ari.ru

*В статье изложены направления и задачи работ и исследований в Арктике в области гидрометеорологической безопасности на ближайшее десятилетие, разработанные на основе анализа стратегических документов, определяющих политику Российской Федерации в Арктике и приоритеты перспективного развития Российской Арктики.*

*Системное изложение перспективных работ включает развитие технологий, методов и моделей обеспечения гидрометеорологической безопасности в Арктике, развитие и модернизацию наземной и морской инфраструктуры научных исследований в Арктике, натурные исследования Северного Ледовитого океана, обеспечение научного присутствия в высокоширотной Арктике на основе функционирования научных центров и обсерваторий, а также развитие системы научного обоснования принятия экономических, технологических и технических решений на основе знаний о состоянии и изменениях природной среды и климата Арктической зоны Российской Федерации и Арктики в целом.*

*Статья рассчитана на широкий круг читателей.*

**Ключевые слова:** Арктика, гидрометеорологическая безопасность, научные исследования, направления и задачи работ.

В исторической ретроспективе арктические районы всегда занимали особое место в политике Российского государства. Российские и советские ученые внесли огромный вклад в изучение Арктики, сделали многие важные географические открытия в этом регионе. Начиная с 30-х годов прошлого столетия, осуществлялось беспрецедентное хозяйственное освоение Российской Арктики.

В Арктической зоне России сосредоточены основные запасы ряда важнейших полезных ископаемых, которые крайне важны для развития экономики России. Там сконцентрирована добыча природного газа, апатитового концентрата, многих стратегически важных цветных и драгоценных металлов (никель, медь, кобальт и другие), производится продукция, обеспечивающая получение около 11 % национального дохода России (при доле населения, равной 1 %) и составляющая 22 % объема общероссийского экспорта.

Через Арктику проходят потенциально кратчайшие пути между рынками Северо-Западной Европы и Тихоокеанского региона (Японии, Китая, США, Канады). В условиях увеличения транспортной активности в мировой экономике, перспектив развития высокорентабельных трансконтинентальных перевозок, роста добычи нефти и газа на континентальном шельфе, повышения внутренних и внешних транспортных потребностей возрастают значение и роль арктической транспортной системы и ее ключевого элемента – Северного морского пути – исторически сложившейся национальной единой транспортной коммуникации Российской Федерации в Арктике, которая соединяет транспортные подсистемы Европейского, Сибирского и Дальневосточного Севера. При использовании СМП вме-

сто действующих маршрутов через Суэцкий и Панамский каналы путь из порта Роттердам сокращается: до порта Йокогама – на 3860 морских миль (на 34 %); до порта Шанхай на 2449 миль (на 23 %); до порта Ванкувер на 1932 мили (на 22 %).

Экологическую значимость Арктики определяют наличие уникальных экосистем (вклад природного комплекса Российской Арктики в сохранение глобальной устойчивости биосферы оценивается в 12 %), существенный вклад в обеспечение устойчивости климата планеты, большая роль в сохранении биологического равновесия на планете и необходимость сохранения традиционной системы природопользования коренных народов, для которых биологические ресурсы являются основой обеспечения их жизнедеятельности. Арктика является климатообразующим регионом планеты, поэтому состояние окружающей среды в Арктике является одновременно и важным индикатором глобальных изменений, которые проявляются в этом регионе наиболее значимо.

В силу особого географического положения, наличия больших запасов природных ресурсов, оборонной, научной и экологической значимости Арктика является местом пересечения интересов многих стран.

На международном уровне в Арктике инструментом согласования вопросов устойчивого экономического развития региона и защиты его природной среды стал Арктический совет, образованный правительствами восьми приарктических государств: Дании, Исландии, Канады, Норвегии, России, США, Финляндии, Швеции – и международными организациями, объединяющими коренные народы Севера. Арктический Совет призван осуществлять согласованную политику арктических стран в области охраны окружающей природной среды и устойчивого развития региона [3].

Экономическая, оборонная, научная и иная деятельность в Арктике определяют масштабы присутствия нашей страны в этом регионе. В этом отношении наибольшие проблемы возникают с удаленными, высокоширотными районами: острова, архипелаги, экономическая зона Российской Федерации, где хозяйственная деятельность ограничена или отсутствует, а основной формой присутствия являются научные исследования, прикладные работы, систематические наблюдения за окружающей средой (главным образом, гидрометеорологические), действующие особо охраняемые природные территории и, в разной степени, туризм. Поддержка и обоснованное развитие этих видов деятельности является важным элементом обеспечения присутствия РФ в Арктике. В этом отношении показательным оказался 2007 г., первый год Международного полярного года 2007/08 [1, 4], когда Российская Федерация провела широкомасштабные экспедиционные исследования, вызвавшие широкий международный резонанс.

Правительство Российской Федерации осуществляет меры по обеспечению проведения государственной политики в Арктике, организует разработку долгосрочной стратегии освоения и использования Арктики и ее реализацию в рамках федеральных и ведомственных целевых программ, руководит этой деятельностью, устанавливает порядок целевого финансирования и материально-технического обеспечения выполняемых программных мероприятий и текущих работ, осуществляемых в соответствии с полномочиями федеральных органов исполнительной власти [2].

Принятые в 2008 г. «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» [6] определяют главные цели, основные задачи, стратегические приоритеты и механизмы реализации государственной политики Российской Федерации в Арктике, а также систему мер стратегического планирования социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности России.

В аспекте научной деятельности в настоящее время основной федеральной целевой программой (ФЦП) по обеспечению проведения государственной политики в Арктике выступает ФЦП «Мировой океан» (подпрограммы «Создание еди-

ной системы информации об обстановке в Мировом океане», «Исследование природы Мирового океана», «Освоение и использование Арктики»).

Актуальность комплекса проблем и задач обуславливает необходимость признать основными на ближайшую перспективу следующие направления деятельности по обеспечению интересов Российской Федерации в высокоширотных и полярных регионах:

- совершенствование нормативной правовой базы, определяющей долговременные цели и задачи деятельности Российской Федерации в высокоширотных и полярных регионах Арктики, направленные на защиту национальных интересов в освоении минеральных и углеводородных месторождений континентального шельфа, в развитии и использовании арктической транспортной магистрали – Северного морского пути, а также развитии международного сотрудничества в арктическом регионе;
- определение внешних границ континентального шельфа Российской Федерации;

- разработку и осуществление проектов в области социально-экономического развития арктического региона;

- развитие отечественной системы мониторинга состояния и загрязнения природной среды в высокоширотных и полярных районах, обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности хозяйственной деятельности в Арктике;

- осуществление научных исследований природной среды и климата Арктики;

- развитие отечественного научно-исследовательского, аварийно-спасательного и ледокольного флота.

Задачи деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях в Арктике включают:

- создание условий, способствующих достижению необходимого уровня и качества специализированного гидрометеорологического обеспечения работ в Арктике, позволяющего снизить отрицательное воздействие опасных гидрометеорологических и/или геофизических явлений;

- создание и развитие наземных, морских и космических систем наблюдений;

- разработку новых и развитие существующих методов прогнозирования опасных погодных явлений в Арктике;

- разработку новых и развитие существующих рекомендаций по предотвращению и/или уменьшению влияния опасных погодных явлений;

- создание системы обеспечения своевременного предупреждения об опасных гидрометеорологических и геофизических явлениях и высоких уровнях загрязнений окружающей среды, адекватной потребностям социально-экономического комплекса;

- оценку последствий глобальных климатических изменений в Арктике в среднесрочной и долгосрочной перспективе и разработку мер по адаптации к этим изменениям и ослаблению их отрицательных социально-экономических последствий с особым вниманием к мерам по повышению устойчивости инфраструктуры.

#### **ПРИРОДНЫЕ ОПАСНОСТИ И РИСКИ. ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Сложные природно-климатические условия Арктики создают высокие природные риски для социально-экономического комплекса и существенно влияют на экономическую эффективность хозяйственной деятельности.

На глобальном уровне проблемы гидрометеорологической безопасности (ГМБ) в высокоширотных и полярных районах определяются необходимостью мониторинга погодно-климатических условий, тенденции к изменению которых наиболее отчетливо проявляются именно в полярных районах Земли. Для Арктики одной из главных проблем ГМБ выступает своевременное обнаружение и реагирование на проявления глобальных климатических изменений. Мониторинг должен выполняться в рамках международных обязательств по внесению вклада России в

действия, предпринимаемые на всех уровнях для оказания содействия и обеспечения устойчивого социально-экономического развития стран и защиты жизни и имущества населения Земли.

На национальном уровне проблемы ГМБ в высокоширотных и полярных районах определяются необходимостью обеспечения деятельности отраслей экономики страны, взаимодействия с другими государственными системами безопасности (Глобальная морская система спасения при бедствиях, системы Минобороны России, пограничных войск, МЧС России, Минздрава России и др.), обеспечения функционирования государственных коммуникаций (СМП, морской, речной, железнодорожный, трубопроводный и др. транспорт, энергетические сети, связь и т.п.), обеспечения национальной независимости от зарубежных источников гидрометеорологической информации.

На региональном уровне проблемы ГМБ в высокоширотных и полярных районах определяются необходимостью обеспечения устойчивого развития административно-территориальных единиц и требованиями снижения угрозы жизни и имуществу населения от опасных гидрометеорологических явлений, обеспечения безопасного функционирования конкретных субъектов деятельности в сельском хозяйстве, рыболовстве, лесном хозяйстве, в сфере водохозяйственной деятельности, на объектах энергетики, наземного, морского и авиационного транспорта, строительства, городского хозяйства, в рекреационной и туристической индустрии, в структурах системы связи, войсковых частях и т.д.

Развитие системы ГМБ базируется на современных системах наблюдений, передачи и обработки информации.

Главной стратегической задачей ГМБ России в Арктике является восстановление и развитие системы гидрометеорологического обеспечения потребностей экономики и жизнедеятельности населения на основе национальных наземных и космических наблюдательных систем и технологий.

#### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ НА ШЕЛЬФЕ**

Особое значение имеет обеспечение гидрометеорологической безопасности работ по освоению морских месторождений нефти и газа. Это крупные проекты в сложных природно-климатических условиях, которые существенно влияют на их безопасность и экономическую эффективность. Усиление активности в разработке шельфовых углеводородных месторождений предопределило стремительное развитие методов и технологий специализированного гидрометеорологического обеспечения такой деятельности с учетом неблагоприятных природных и погодных условий, особенно характерных для арктических шельфовых районов. При этом критическое значение имеют точность и достоверность обнаружения и прогнозирования гидрометеорологических угроз с обеспечением необходимого промежутка времени для мобилизации личного состава и активации системы защитных мероприятий.

Эта задача может быть решена посредством развития и совместного использования систем наблюдений различного уровня, а именно: локальных систем, функционирующих непосредственно на платформах и терминалах; региональных систем, функционирующих в пределах конкретной акватории (моря), и глобальной системы. При этом данные наблюдений локальных и региональных систем будут использованы в глобальной системе (и наоборот). Именно такой принцип создания оперативных океанографических систем заложен в стратегии развиваемой при поддержке ВМО и МОК Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО).

Основными проблемами развития системы обеспечения гидрометеорологической безопасности работ на шельфе Российской Федерации являются:

– отсутствие нормативной базы системы обеспечения гидрометеорологической безопасности работ на шельфе, закреплённой соответствующими законодательными актами Российской Федерации;

- техническая и технологическая отсталость гидрометеорологической сети (в т.ч. дефицит (а по ряду параметров – отсутствие) надежных отечественных автоматических средств измерений гидрометеорологических параметров);
- ограниченность и несоответствие современным требованиям отечественной системы сбора и распределения данных дистанционного зондирования Земли из космоса (в т.ч. отсутствие развитых отечественных спутниковых систем связи и позиционирования).

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ НАЗЕМНОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ**

Основой гидрометеорологического обеспечения является система наблюдений, включающая гидрометеорологические станции, автоматические средства наблюдений, авиационные и космические аппараты, научные суда. В целом в настоящее время система наблюдений удовлетворяет текущие (весьма ограниченные) потребности морских отраслей, обеспечивая запросы пользователей СМП. Восстанавливается и модернизируется сеть прибрежных и островных станций. В 2006 г. установлены автоматические метеостанции на мысе Желания, о. Визе и о. Мудьюг в Белом море, в Тикси ведутся работы по созданию самой современной гидрометеорологической обсерватории международного класса, ведется работа по внедрению автоматических и автономных средств наблюдения, которая в ближайшие годы будет реализована на кредитные средства МБРР.

Тем не менее функционирование государственной арктической наблюдательной сети сталкивается с рядом проблем. Неудовлетворительная конфигурация сети и нарушение ведомственных нормативов плотности пунктов наблюдений, когда расстояния между метеорологическими станциями в 2–2,5 раза, а между аэрологическими – в 3–4 раза превышают допустимые пределы, приводят к тому, что многие высокоширотные районы не имеют должного освещения информацией.

Стоимость содержания полярных станций (п/с), особенно труднодоступных станций (ТДС), из-за автономного энергохозяйства, связи, высокой стоимости снабжения и его доставки (которая зачастую превышает стоимость завозимых грузов) на порядок превышает стоимость содержания пунктов наблюдений в континентальных районах Российской Федерации, что в условиях дефицита финансирования из федерального бюджета привело к изношенности основных фондов, включая средства жизнеобеспечения и связи, неудовлетворительному техническому обеспечению производства наблюдений приборами и оборудованием, которое лишь по метеорологической программе номинально соответствует типовому табелю. Обновление технических средств осуществляется медленными темпами, не более 10 % в год.

Отмечается дефицит квалифицированных кадров. Общая укомплектованность штатов п/с составляет около 60 %. Не хватает аэрологов, гидрологов. По свидетельству руководителей территориальных управлений Росгидромета, система подготовки кадров нуждается в существенном улучшении. В настоящее время социально-экономический статус сотрудников ТДС находится в удовлетворительном состоянии только для трех ТДС, прошедших полную реконструкцию. Оплата труда работников редко превышает прожиточный минимум.

Отдельно следует остановиться на деятельности Росгидромета в высокоширотных и полярных районах Арктики в области геофизики, которая определяется необходимостью обеспечить действенный мониторинг геофизической обстановки. Проблема геофизического мониторинга имеет отношение к широкому комплексу задач, имеющих оборонное и хозяйственное значение, от обеспечения надежного функционирования наземных и космических систем до хозяйственного освоения российского Севера. В последние десятилетия все большее значение приобретают искусственные источники влияния на геофизические явления и процессы. Изменения могут возникать как в результате непреднамеренных действий при осу-

ществлении различных видов хозяйственной и иной деятельности, так и в связи с преднамеренным влиянием на геофизические процессы в окружающей среде путем проведения активных экспериментов. С последними связывают решение не только научных вопросов по изучению природы явлений, но и возможности прикладного, в том числе военного использования.

Для реального мониторинга геофизической обстановки в указанных выше целях необходима организация специально ориентированной сети, оснащенной средствами радиофизических и геофизических наблюдений, обладающими повышенной чувствительностью и информативностью, с высоким пространственным и временным разрешением. Диагностику искусственных возмущений различного происхождения на фоне естественных вариаций состояния среды целесообразно осуществлять на основе комплексного использования различных независимых средств и методов.

Для создания системы мониторинга геофизической обстановки необходимо осуществить комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, организационно-хозяйственных и других мероприятий, включая:

- реконструкцию сети геофизических наблюдений в Арктике;
- оснащение этой сети современной аппаратурой для геофизических и радиофизических измерений;
- модернизацию средств регистрации быстропротекающих процессов в ионосфере;
- организацию системы оперативного сбора; передачи и обработки геофизической информации в *on-line* режиме;
- разработку методов автоматической обработки комплексной геофизической информации для целей оперативного мониторинга искусственных воздействий на ионосферу;
- проведение НИР по эффектам модификации высокоширотной ионосферы и постановку натуральных экспериментов;
- тестирование и верификацию системы мониторинга по частям и в целом.

Решение этих задач предусматривается федеральной программой «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008–2015 гг.».

#### **РАЗВИТИЕ РОССИЙСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИКЕ**

За последние 15 лет система сбора данных о распределении и состоянии ледяного покрова в морях Арктики с помощью визуальной и инструментальной авиационной разведки полностью прекратила свое существование и вряд ли возродится в ближайшем будущем.

Возможности современных спутниковых инструментальных средств мониторинга ледяного покрова морей для целей навигации намного превосходят возможности авиационных методов, а в ценовом исчислении конечные продукты (снимки, карты распределения льдов и др.) обходятся дешевле результатов авиационной разведки в десятки раз.

Важнейшим звеном инфраструктуры гидрометеорологического обеспечения (ГМО) безопасности судоходства по СМП является автоматизированная ледово-информационная система для Арктики (система «Север»), создававшаяся в 80-х годах прошлого века для оперативного освещения обстановки и обеспечения различных видов морской деятельности. Первая очередь системы в 1989 г. была принята в промышленную эксплуатацию.

В настоящее время указанная система ГМО не в полной мере удовлетворяет современным требованиям. Российская группировка метеорологических спутников Земли находится в кризисном состоянии.

Россия обладает современными технологиями обработки спутниковой информации для нужд мониторинга ледяного покрова арктических морей в интересах обеспечения навигации, однако организации Росгидромета вынуждены работать, в основном (99,5 %), на данных зарубежных спутников. Для обеспечения в будущем информационной независимости России необходимо начать создание собственной группировки спутников, оснащенных обзорными радиолокаторами.

Для сохранения паритета в международном обмене гидрометеорологической информацией в мирное время и независимости от международной космической системы при освещении арктического региона страны в военное время необходимы воссоздание и постоянное поддержание национальной спутниковой группировки космических аппаратов, обеспечивающих, в том числе, решение океанографических задач и оснащённых радиолокационными комплексами, а также имеется необходимость в модернизации наземного комплекса приема, обработки и распространения спутниковых данных.

Комплексное решение задач гидрометеорологического мониторинга арктического региона Земли отражено в проекте многоцелевой космической системы (МКС) «Арктика» в рамках подпрограммы «Освоение и использование Арктики» ФЦП «Мировой океан».

В порядке первоочередных мер следует осуществить разработку проекта МКС «Арктика», обеспечивающего освещение ледовой обстановки, решение задач связи, вещания, навигации, мониторинга состояния природной среды, безопасности жизнедеятельности и природопользования в Арктике, что в полной мере отвечает стратегическим задачам развития Арктики [6].

Актуальность внедрения проекта гидрометеорологического мониторинга арктического региона Земли на основе системы космических аппаратов на высокоэллиптических орбитах заключается в острой необходимости своевременного решения таких задач Росгидромета в Арктике, как:

- анализ и прогноз погоды, ледовой обстановки в морях Северного Ледовитого океана, гелиогеофизической обстановки в околоземном пространстве и т.п.;
- мониторинг чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения;
- мониторинг климатических изменений;
- сбор и ретрансляция информации с наблюдательных платформ наземного и воздушного базирования;
- обмен и распространение обработанных гидрометеорологических и гелиогеофизических данных.

Развитие методов спутникового дистанционного зондирования с использованием информации, полученной от искусственных спутников Земли, и применение ГИС-технологий для картографирования морских льдов позволяет создать автоматизированные процедуры построения и анализа карт ледовой обстановки. Полученные со спутников данные могут использоваться для численных прогнозов погоды и ледовых условий, их визуализации, создания баз данных и распространения фактической и прогностической информации по каналам спутниковой связи.

Предлагаемая система «Арктика» способна осуществлять съемку всего арктического региона каждые 15 минут, что позволит существенно дополнить глобальную спутниковую наблюдательную систему.

МКС «Арктика» не только функционально дополнит и территориально расширит международную геостационарную метеорологическую систему, но также будет иметь большое самостоятельное значение для стратегических интересов Российской Федерации.

#### **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАБОТ**

Система фундаментальных и прикладных научных исследований в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды в интересах обеспечения

социально-экономического развития региона предполагает совокупность крупных мероприятий, которые можно распределить по следующим базовым взаимосвязанным направлениям.

Первое направление – «Развитие технологий, методов и моделей обеспечения гидрометеорологической безопасности в Арктике».

Фундаментальной функцией государства в Арктике и всей Арктической зоне (АЗ) Российской Федерации является обеспечение безопасности населения и экономики региона. В мирное время серьезная угроза этой безопасности исходит от широкого спектра опасных гидрометеорологических природных явлений.

Снижение зависимости населения и хозяйственной деятельности в АЗ от погодных-климатических условий возможно при создании соответствующей системы гидрометеорологической безопасности, ориентированной на географические и социально-экономические особенности этого региона (локализация деятельности и проживания, региональные особенности погодных-климатических условий и т.п.).

Для реализации многоплановых задач социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности России, определенными Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу, первостепенное значение приобретает создание в Арктике системы гидрометеорологической безопасности, ориентированной на географические и социально-экономические особенности этого региона и направленной на развитие, совершенствование и устойчивость систем заблаговременных предупреждений, в первую очередь связанных с научно-техническими инфраструктурами, системами и возможностями для научных исследований, наблюдений, обнаружения, прогнозирования опасных метеорологических, гидрологических и климатических явлений и предупреждений о них.

Реализация сложных и опасных для окружающей среды проектов на арктическом шельфе требует качественного гидрометеобеспечения эксплуатации добывающих платформ, отгрузочных терминалов, погрузочно-разгрузочных и транспортных операций в ледовой обстановке в сложных погодных условиях. Большую опасность для морских сооружений в Баренцевом и Карском морях представляют айсберги и вторжения многолетних льдов. В настоящее время Россия не ведет добычу нефти и газа на арктическом шельфе, однако уже в ближайшее десятилетие ситуация изменится. Будет начата добыча нефти на Приразломном НМ и добыча газа на Штокмановском ГКМ. Необходимо создание специализированных систем гидрометеорологического обеспечения таких сооружений, которые могут стать подсистемами комплексной системы безопасности работ на арктическом шельфе и составной частью систем управления в сложных погодных и ледовых условиях. Такие системы могут включать деятельность на прилегающих территориях и обеспечат информационную поддержку при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Для достижения указанного и реализации основных мер государственной политики Российской Федерации в Арктике в сфере информационных технологий и связи необходимо «создать надежную систему оказания навигационных, гидрометеорологических и информационных услуг, обеспечивающую эффективный контроль хозяйственной, военной, экологической деятельности в Арктике, а также прогнозирование и предупреждение чрезвычайных ситуаций, снижение ущерба в случае их возникновения» [6].

Направление включает такое мероприятие, как разработка и создание системы гидрометеорологической безопасности населения, экономической и иных видов деятельности в Арктике.

В пакет проектов для реализации мероприятий входят:

– разработка технологий, методов и моделей прогнозов и предупреждений об опасных гидрометеорологических явлениях в целях обеспечения защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от воздействия

опасных природных явлений, изменений климата в Арктике, а также предупреждения чрезвычайных ситуаций, снижения ущерба в случае их возникновения;

– разработка технологий информационной поддержки управления арктической транспортной системой, включая разработку, создание и научно-методическое обеспечение современной ледово-гидрометеорологической информационной компоненты;

– разработка научных основ и программного комплекса автоматизированной системы управления рисками при транспортировке и эксплуатации плавучих платформ на шельфе западного сектора Арктики, обусловленных неблагоприятными погодными явлениями в условиях климатических изменений и создание автоматизированной системы анализа уровней загрязнения окружающей среды от промышленных объектов и разрабатываемых месторождений углеводородного сырья на континентальном шельфе.

Развитие системы гидрометеорологической безопасности в Арктике в первую очередь опирается на развитие и модернизацию наземной и морской инфраструктуры научных исследований, что составляет второе направление системы фундаментальных и прикладных научных исследований.

Главной системной проблемой гидрометеорологической деятельности является несоответствие между возрастающим спросом общества и развивающейся экономики Арктической зоны на гидрометеорологическую и другую информацию о состоянии окружающей среды, с одной стороны, и недостаточностью технической, технологической и кадровой базы, с другой стороны, что способствует растущему дисбалансу между увеличивающимся спросом на эту информацию и возможностями ее предоставления.

Решению этой проблемы уделяется пристальное внимание. Для развития и модернизация сети большое значение имел Международный полярный год (МПГ) 2007/08, в период проведения которого был выполнен большой комплекс работ и научно-технических мероприятий по восстановлению и развитию наблюдательной сети в Арктике. В том числе осуществлены приобретение и ремонт строительных конструкций и технологического оборудования, восстановление аэрологических и геофизических наблюдений, проведение пусков метеорологических ракет. Произведена модернизация на 23 российских полярных станциях.

Важнейшим вкладом в развитие системы наблюдений по программам МПГ 2007/08 являются работы по организации станции климатической опорной сети в Тикси в рамках совместного проекта по атмосферным наблюдениям Росгидромета и НОАА (США).

Основное мероприятие этого направления – модернизация и развитие государственной системы гидрометеорологических наблюдений в Арктике на новой технологической основе.

В пакет проектов для реализации мероприятий входят:

– технологическое и методическое обеспечение и восстановление законсервированных станций и развитие сети обслуживаемых и автоматических наблюдений;

– внедрение новых автоматизированных средств и систем наблюдений (автоматические буи и станции, установки термобурения льда и др.);

– модернизация информационно-аналитического центра системы «Север»;

– разработка и создание выносных пунктов приема и обработки космической информации в п. Осиновец (НИС «Ладожская»), п. Тикси, п. Баренцбург;

– создание, методическое обеспечение и техническое развитие 4-х пунктов с оперативно-прогностическими подразделениями Росгидромета в местах базирования органов управления МЧС России и штабов морских операций СМП в Арктике;

– научно-методическая поддержка создания объектов инфраструктуры Российского научного центра на Шпицбергене;

– научно-методическое и технологическое обеспечение развития системы наблюдений и исследований Российского научного центра на Шпицбергене;

– научно-методическое и технологическое обеспечение гидрометеорологической обсерватории в п. Тикси.

Следующее ключевое направление – натурные исследования Северного Ледовитого океана.

Базовые мероприятия направления – экспедиционные работы в Северном Ледовитом океане и обеспечение научного присутствия в высокоширотной Арктике на основе функционирования научных центров и обсерваторий в Арктике, Высокоширотной арктической экспедиции ААНИИ, включая деятельность СП, работы летных океанографических отрядов, научно-исследовательских судов и атомных ледоколов, в частности, включают:

– проведение регулярных экспедиционных наблюдений за состоянием и загрязнением морской среды Арктики, в том числе работ научно-исследовательской дрейфующей станции «Северный полюс»;

– разработку унифицированных модульных обитаемых станций нового поколения морского (на дрейфующем льду) базирования с применением современных энергосберегающих технологий.

Наконец, еще одним необходимым направлением системы фундаментальных и прикладных научных исследований в интересах обеспечения социально-экономического развития региона является развитие системы научного обоснования принятия экономических, технологических и технических решений на основе знаний о состоянии и изменениях природной среды и климата Арктической зоны Российской Федерации и Арктики в целом.

Глобальные изменения климата в XXI веке могут иметь значительные проявления в природной среде полярных районов и повлиять на хозяйственную деятельность и уклад жизни коренных народов Севера.

Климатические изменения влияют на полярные экосистемы и, конечном счете, на здоровье человека и качество его жизни. Усиление антропогенных воздействий в локальных районах текущей и будущей хозяйственной деятельности обуславливает необходимость соответствующих экологических исследований, направленных на разработку мер по снижению негативных последствий.

Необходимы исследования для разработки научно обоснованных сценариев изменений окружающей природной среды Арктики вследствие изменений климата, обоснования адаптационных мероприятий (инфраструктура, население, хозяйственная деятельность), а также рекомендации по рациональному природопользованию.

Прогресс в изучении и предвидении климатических изменений и их последствий в Арктике связан с развитием системы мониторинга на основе комплекса наблюдений со спутников, научно-экспедиционных судов, автономных долговременных станций в водной толще и на поверхности Арктического океана, гидрометеорологических станций и обсерваторий на побережье и островах.

Важную роль сыграют научные центры и специализированные обсерватории в Арктической зоне, которые ориентированы на получение комплексной информации о происходящих изменениях и их механизмах.

Необходимо создание новых информационных продуктов на основе новейших технологий сбора, обработки и анализа данных; совершенствование и создание новых методов расчета и прогноза различной детализации по времени и пространству; развитие фундаментальных исследований процессов в воздушной и морской среде Арктики.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Решение перечисленных выше задач в совокупности позволит добиться главной цели – обеспечения гидрометеорологической безопасности жизненно важных интересов личности, общества и государства от воздействия опасных природных явлений.

Решаемые проблемы соответствует таким приоритетным задачам социально-экономического развития Российской Федерации, как повышение уровня и полноты информированности юридических лиц и населения о состоянии окружающей среды с целью обеспечения личной безопасности и реализации прав и свобод граждан, предотвращение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций, ускорение развития стратегически важных регионов. Решаемые проблемы направлены на обеспечение гидрометеорологической безопасности стратегий развития погодозависимых отраслей экономики, что определяет необходимость выполнения перечисленных выше мероприятий программно-целевым методом в рамках федеральной целевой программы.

В статье использованы опубликованные материалы Минтранса России, Минприроды России, Минэкономразвития России, Минрегиона России, МИД России, Росгидромета, Роскосмоса, материалы международной научно-практической конференции «75 лет с начала планомерного изучения и развития Севморпути» (21–22 февраля 2008 г., Санкт-Петербург, Россия), а также другие опубликованные материалы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрицкий А.И., Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Котляков В.М., Москалевский М.Ю., Сычев Ю.Ф., Фролов И.Е., Чилингаров А.Н. Концепция проведения Международного полярного года в 2007–2008 гг. // Известия РАН. Серия Географическая. 2007. № 1. С. 7–12.
2. Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Кочемасов Ю.В., Кочемасова Е.Ю., Моргунов Б.А., Седова Н.Ю., Шаров А.Н. Приоритеты перспективного развития Российской Арктики. СПб.: ААНИИ, 2008. 116 с.
3. Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Кочемасов Ю.В., Моргунов Б.А., Фролов И.Е. Стратегическая оценка окружающей природной среды как основа формирования и реализации плана действий по устойчивому развитию Арктики. СПб.: ААНИИ, 2005. 52 с.
4. Данилов А.И., Клепиков А.В., Пряников С.М., Москалевский М.Ю. Научная программа участия Российской Федерации в проведении Международного полярного года (2007/08 год). М.: Изд. центр АНО «Метеоагентство Росгидромета», 2006. 86 с.
5. Дмитриев В.Г., Фролов И.Е. Современная ситуация в Арктической зоне РФ, перспективы и возможные пути социально-экономического развития региона СПб.: ААНИИ, 2006. 40 с.
6. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утверждены Президентом Российской Федерации Дмитрием Медведевым 18 сентября 2008 г. (Пр-1969)).

A.I.DANILOV, V.G.DMITRIEV, I.E.FROLOV

#### DEVELOPMENT OF THE ARCTIC SCIENCE INVESTIGATIONS AND OTHER ACTIVITIES FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

*The basic directions of the Arctic future science studies and other activities for environmental protection are presented. This based on the analysis of main Russian official documents and on the priorities of Russian Arctic sustainable development.*

*The view of perspective works includes development of technologies, methods and models of maintenance of hydrometeorological safety in Arctic regions, development and modernization of a land and sea infrastructure of scientific studies in Arctic regions, including the Arctic Ocean and, especially, at the high-altitude part of Arctic on the base of functioning of science centres and observatories. The system of a scientific assessment of acceptance of economic, technological and technical decisions on the base of knowledge of a conditions and changes of an environment and a climate of the Arctic zone of the Russian Federation and Arctic regions as a whole should also be developed.*

*Article is intended on a wide range of readers.*

*Key words:* Arctic, environmental protection, science investigations, basic directions.

## РОССИЯ В АНТАРКТИКЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

зам. директора, начальник РАЭ В.В.ЛУКИН<sup>1</sup>,  
канд. физ.-мат. наук А.В.КЛЕПИКОВ<sup>1</sup>, нач. отдела А.А.БЫСТРАМОВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, kler@aari.ru

<sup>2</sup> Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), г. Москва

*Излагается краткая история, современное состояние и перспективы российских антарктических исследований. Приведена характеристика российской антарктической инфраструктуры. Дается обзор правительственных постановлений, нормативно-правовых документов, на основе которых работает РАЭ. Представлена структура проекта Федерального закона «О регулировании деятельности российских граждан и юридических лиц в Антарктике». Рассматривается проект Стратегии деятельности России в Антарктике. Изложены основные научные результаты, полученные в ходе выполнения подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан».*

*Ключевые слова:* Антарктика, климат, РАЭ, Стратегия, Федеральный закон.

Антарктика является одной из важнейших частей климатической системы нашей планеты. Процессы, протекающие в атмосфере, криосфере и Южном океане, влияют на погодные условия и климат всей Земли. Изменения климата проявляются в Антарктике и, в свою очередь, зависят от состояния климатической системы южной полярной области.

Солнечные и галактические космические лучи оказывают влияние на атмосферу, на озоновый слой, а значит, и на погоду и климат. Исследования ионосферы, магнитосферы и солнечно-земных связей могут выполняться только в Антарктике, так как область геомагнитной полярной шапки находится над материком в отличие от Арктики, где она расположена над Северным Ледовитым океаном.

Антарктида покрыта ледниковым щитом толщиной до 4700 м, который содержит около 90 % мировых запасов льда и почти 80 % мировых запасов пресной воды. Антарктический ледниковый покров отражает изменения климата, связанные с постоянным взаимодействием с океаном и атмосферой, и играет важную роль в формировании климата Земли. Слои антарктического льда хранят информацию, позволяющую реконструировать изменения климата на протяжении сотен тысяч лет.

Наше понимание климатов прошлого невозможно без понимания геологической истории Антарктиды и ее оледенения, а значит, без геолого-геофизических исследований как на континенте, так и в море. В условиях сокращения морских биоресурсов, нехватки белковой пищи для нужд человечества антарктические воды с их богатейшими запасами криля являются одной из последних природных кладовых.

Именно поэтому ученые многих стран проводят исследования труднодоступного ледяного континента и Южного океана. Начало этим работам в 1957 г. положил Международный геофизический год (МГГ), который по праву называют

Третьим полярным годом. Именно тогда были начаты исследования Антарктики и нашей страны.

Их начало связано с выходом Постановления Совмина от 13.07.55 «О проведении в 1955–1958 гг. Комплексной антарктической экспедиции АН СССР». В 1956 г. Первая КАЭ начала исследования на континенте и в антарктических морях. За короткий срок были построены станции Мирный, Оазис, Пионерская, Комсомольская, Советская, Восток, Полюс Недоступности. В результате была создана база для выполнения программы работ МГГ и для будущих исследований. Итогом первого десятилетнего этапа советских антарктических исследований стало издание в 1966 и 1968 гг. двухтомного «Атласа Антарктики», удостоенного Государственной премии.

Концепция расширения работ нашей страны в Антарктике была сформулирована в Постановлении Совмина от 09.03.66 «О мерах по дальнейшему развитию советских исследований в Антарктике». Эта концепция была реализована в период с 1970 по 1990 г., что позволило создать одну из самых мощных антарктических инфраструктур.

Третий этап наших работ в Антарктике, который начался в 1992 г., характеризовался резкими изменениями в стране. Несмотря на серьезные финансовые трудности, удалось сохранить основные элементы нашей антарктической инфраструктуры и направления исследований. Начиная с 7 августа 1992 г. согласно Указу Президента РФ Советская антарктическая экспедиция стала именоваться Российской, а с 1998 г. началось ее финансирование по отдельной строке Федерального бюджета. В том же году была принята Федеральная целевая программа «Мировой океан», в одной из подпрограмм которой, «Изучение и исследование Антарктики», были определены цели и задачи научных исследований региона.

Основой текущих работ в Антарктике является Распоряжение Правительства РФ от 2 июня 2005 г. № 713-Р, в котором были определены новые параметры деятельности Российской антарктической экспедиции (РАЭ) на период 2006–2010 гг. До 2006 г. РАЭ проводило свою работу в минимально допустимых параметрах, определенных Постановлением Правительства РФ от 28 августа 1997 г. № 1113 «О деятельности Российской антарктической экспедиции». Начиная с 1998 г. финансирование РАЭ ежегодно осуществлялось через отдельную строку Федерального бюджета. Последующие постановления Правительства РФ в отношении РАЭ от 9 сентября 1999 № 1027 «О мерах по обеспечению интересов России в Антарктике» и от 24 сентября 2001 г. № 685 «О мерах по обеспечению интересов Российской Федерации в Антарктике и деятельности Российской антарктической экспедиции в 2002–2005 годах» сохраняли минимально допустимые параметры экспедиции. Это означало, с одной стороны, невозможность расширения объектов экспедиционных работ, а с другой – гарантировало финансовое обеспечение данного уровня присутствия в Антарктике независимо от существующих отечественных и зарубежных цен на требуемые товары и услуги.

Новый уровень экономического развития страны в начале XXI века позволил расширить объем экспедиционной деятельности. Увеличена численность сезонного и зимовочного составов до 120 и 110 человек соответственно; сохранилось количество круглогодично действующих станций – 5 (Мирный, Восток, Прогресс, Новолазаревская, Беллинсгаузен); возросло количество сезонных полевых баз до 5 против 2 в 1997 г., к Молодежной и Дружной-4 добавились Русская, Ленинградская и Союз; осталось прежним количество морских судов экспедиции (НЭС «Академик Федоров» – ААНИИ Росгидромета и НИС «Академик Александр Карпинский» – ФГУНПП ПМГРЭ Роснедр); изменилось количество воздушных экспедиционных судов: вместо 2-х вертолетов и 2-х самолетов предлагалось использование

2-х вертолетов, 2-х самолетов на лыжно-колесном шасси и транспортного самолета Ил-76ТД для межконтинентальных перелетов; впервые продекларирована необходимость постройки и эксплуатации четырех снежно-ледовых взлетно-посадочных полос в Антарктиде, в то время как в 1997 г. они не упоминались.

В плане мероприятий по выполнению оптимальных параметров деятельности РАЭ предусматривалось начало проектирования и строительства нового научно-экспедиционного судна для РАЭ и подготовка технико-экономического обоснования для проектирования и постройки нового научно-исследовательского судна для геолого-геофизических исследований в Арктике и в Антарктике. Также предусматривалось в 2010 г. завершить строительство нового зимовочного комплекса и снежно-ледовой взлетно-посадочной полосы на станции Прогресс. Принятые параметры деятельности экспедиции и пункты Плана мероприятий являлись основой для определения расходов целевой строки Федерального бюджета в отношении РАЭ.

Новые параметры деятельности РАЭ предусматривали изменения в сложившейся схеме экспедиционных транспортных операций. Включение в текущие работы двух объектов отечественной инфраструктуры (полевые базы Ленинградская и Русская, расположенные в тихоокеанском секторе) для установки на них автоматических метеорологических, геодезических и геомагнитных станций потребовало организации их эпизодических посещений для технического обслуживания с помощью судна или самолета. Для этого НЭС «Академик Федоров» один раз в два летних сезона будет совершать плавания вокруг Антарктиды в восточном направлении, выполняя при этом материально-техническое снабжение станции Беллинсгаузен.

Первый такой рейс был совершен в сезоне 2007/08 г. по программе 53-й РАЭ. На полевых базах Русская и Ленинградская были установлены автоматическая метеостанция производства финской компании «Вайсала» и автоматическая станция приема информации со спутниковых навигационных систем «ГЛОНАСС», «GPS» и «Галилео Галилей». Снабжение станции Беллинсгаузен ГСМ, расходными материалами, запасными частями, оборудованием и продуктами питания длительно хранения осуществляется один раз в два года. Очередной подобный рейс НЭС «Академик Федоров» проводится в сезоне 2009/10 г. по программе 55-й РАЭ. В связи с выполнением данных логистических задач океанологи получили возможность попутно проводить исследования на акваториях малоизученных морей Амундсена и Беллинсгаузена, а биологи получили новые площадки для изучения микробного разнообразия, адаптации и выживаемости микроорганизмов в экстремальных природных условиях с минимальным антропогенным влиянием.

Кругосветные плавания вокруг Антарктиды также создали условия для проведения геодезических измерений высот снежно-ледяного покрова в краевых частях ледяных куполов в прибрежных районах. Начало таких работ было положено в 53-й сезонной РАЭ (2007/08 г.), когда в районе станции Мирный через 44 года были повторены геодезические измерения на ледяном куполе на участке первых 100 км трассы санно-гусеничных походов Мирный – Восток. Впервые такие работы были сделаны в 9-й САЭ (1963/64 г.) совместными силами геодезистов из СССР и ГДР (Дрезденский технический университет). Работы, выполненные геодезистами того же германского университета и Петербургского ФГУП «Аэрогеодезия» в 53-й РАЭ, показали, что средняя толщина снежно-фирнового покрова на этом участке за последние 44 года увеличилась на 19 м. В сезоне 2008/09 г. по программе работ 54-й РАЭ аналогичные совместные исследования были выполнены на выходе ледника Хейса в районе полевой базы Молодежная. Сравнение полученных экспериментальных данных с материалами 29-й САЭ (1983/84 г.) пока-

зало, что на первых 50 км трассы толщина снежно-фирнового покрова уменьшилась на 5–7 м, а на последующих 50 км увеличилась примерно на такие же величины. Данные результаты указывают на неоднозначность пространственного хода климатических изменений в континентальном ледяном покрове Антарктиды, что определило возможность создания мониторинговой сети подобных наблюдений в районах расположения объектов российской антарктической инфраструктуры. По согласованию с германской стороной ими стали районы выхода на ледяные купола у станций Мирный, Прогресс, Новолазаревская, Беллинсгаузен и сезонных полевых баз Русская и Молодежная. Каждые 7 лет геодезические наблюдения в фиксированных точках профиля будут повторяться, что даст возможность получения объективных оценок изменчивости снегонакопления в краевой части антарктических ледников вокруг всего континента.

Одним из главных направлений отечественных исследований Антарктики в настоящее время является изучение подледникового озера Восток. Для проникновения в водную толщу озера планируется использовать глубокую ледяную скважину на внутриконтинентальной станции Восток. После восьмилетнего перерыва бурение ледовой скважины 5Г-1 было возобновлено в 52-й РАЭ в летнем сезоне 2006/07 г., начиная с отметки 3623 м. Продолжение буровых операций по программе 53-й РАЭ привело к двум аварийным ситуациям, связанным с обрывом грузонесущего кабеля от бурового снаряда на забое скважины. Если в январе 2007 г. ситуацию удалось исправить и буровой снаряд был поднят на поверхность, то в октябре того же года применение аналогичных способов извлечения бурового снаряда из скважины не увенчалось успехом. В конце сезона 54-й РАЭ (январь 2009 г.) было принято решение отказаться от этой работы и начать бурение нового ствола скважины с глубины 3590 м. Новый ледяной керн даст возможность получить повторные материалы для биологических и геологических анализов слоев ледяного керна с повышенным содержанием минеральных включений, зафиксированных по данным скважины 5Г-1 в слое 3607–3612 м. Новая скважина получила индекс 5Г-2. В сезоне 55-й РАЭ она достигла глубины 3649,78 м.

После организации проникновения в озеро Восток, которое запланировано на сезон 2010/11 г. по программе 56-й РАЭ, на передний план выходят исследования водной толщи озера. В 2009 г. был объявлен конкурс на изготовление пробоотборного и зондирующего оборудования для изучения вод этого уникального природного объекта. Работы по изготовлению всех четырех устройств с участием Санкт-Петербургского института ядерной физики, Санкт-Петербургского Горного института, ААНИИ, Санкт-Петербургского отделения Института океанологии РАН были завершены в декабре 2009 г. В качестве различных узлов и агрегатов применялись хорошо зарекомендовавшие и испытанные в природных условиях образцы, используемые для других специфических задач прикладных измерений. Некоторые технические решения, применяемые в изделиях для озера Восток, требуют специального патентного оформления. В летний период 2010 г. будут проведены натурные испытания всех изделий и их метрологическое обеспечение.

Современное авиационное обеспечение транспортных операций РАЭ выполняется с помощью межконтинентальных полетов самолета Ил-76ТД из аэропорта Кейптаун (ЮАР) на снежно-ледовую взлетно-посадочную полосу (ВПП) станции Новолазаревская и обратно. ВПП станции Новолазаревская имеет действующий сертификат эксплуатации, выданный Росавиацией по согласованию с Росавианадзором при проведении ежегодных экспертных оценок состояния ВПП и аэродромного оборудования. Внутриконтинентальные полеты между российскими станциями Беллинсгаузен, Новолазаревская, Прогресс и Восток обеспечивают

ся с помощью самолета американского производства БТ-67 на лыжно-колесном шасси, принадлежащего канадской авиакомпании. Все полеты проводятся в рамках международной авиационной программы DROMLAN, которая организована национальными антарктическими программами Бельгии, Великобритании, Германии, Индии, Нидерландов, Норвегии, России, Финляндии, Швеции, ЮАР и Японии, развернувших свою деятельность в районе Земли Королевы Мод и прилегающих к ней районах. Полеты по этой программе проводятся на кооперативной основе с учетом запросов каждой из национальных программ на необходимые объемы авиационных перевозок пассажиров и грузов каждый летний антарктический сезон. Воздушным оператором этой программы по согласованию со всеми ее участниками стала компания ALCI, г. Кейптаун (ЮАР).

Судовое обеспечение грузопассажирских операций по маршруту судно–берег–судно и судовая ледовая авиаразведка выполняются с помощью арендованных РАЭ в отечественных авиакомпаниях вертолетов Ми-8, а начиная с сезона 2009/10 г. в 55-й РАЭ Ка-32, которые имеют большую, чем Ми-8, грузоподъемность на внешней подвеске. Вертолеты базируются на борту НЭС «Академик Федоров». Авиационное обеспечение геолого-геофизических исследований в Антарктике по программам работ ФГУНПП ПМГРЭ выполняется с помощью арендованных в России вертолета Ми-8 и самолета Ан-2 на лыжном шасси, который переоборудован в летную геофизическую лабораторию для дистанционного измерения состояния магнитного поля горных пород и измерения толщины ледника над ними с помощью методов радиолокации.

В 2006 г. были завершены проектно-конструкторские работы по разработке технической документации для строительства нового научно-экспедиционного судна для РАЭ. Проект предусматривает несколько меньшие размеры судна по сравнению с НЭС «Академик Федоров» и учитывает все современные требования по обеспечению безопасности мореплавания в автономных условиях Антарктики и выполнения необходимых экспедиционных задач. В проекте применяются надежные, хорошо зарекомендовавшие себя технические решения и технологии современного судостроения. Однако выделенных для строительства судна финансовых средств в размере 2,4 млрд руб. (Распоряжение Правительства РФ от 6 октября 2006 г. №1407-р) оказалось недостаточно. Постановлением Правительства РФ от 27 января 2009 г. № 47 «О строительстве научно-экспедиционного судна Российской антарктической экспедиции» указанная сумма была увеличена до 6 млрд руб., а ранее оговоренный срок выполнения задания был изменен на 2011 г. Победителем конкурса на строительство нового судна стало ОАО «Адмиралтейские верфи». Государственным заказчиком судна в соответствии с контрактом, который был подписан в декабре 2008 г., является Росгидромет. ААНИИ является представителем государственного заказчика. 30 июня 2009 г. в торжественной обстановке состоялась закладка нового судна, которое пока еще не имеет названия. Ученый совет ААНИИ предложил назвать судно «Алексей Трешников». Это предложение было поддержано большим количеством различных организаций, занимающихся полярными исследованиями.

В 2012 г. должно быть закончено строительство нового зимовочного комплекса и снежно-ледовой ВПП на станции Прогресс. В настоящее время на этой станции завершены монтаж комплекса электростанции, мастерской и гаража (принят в эксплуатацию в декабре 2009 г.) и служебно-жилого здания. Построена стационарная вертолетная площадка и первая очередь базы ГСМ. В конце марта 2010 г. планируется подготовить часть жилых помещений для размещения персонала зимовочного состава станции в новом служебно-жилом здании. Работы по строительству ВПП будут начаты в 2011 г.

Станция Прогресс должна стать центром транспортных операций РАЭ в Центральной Антарктиде. В ходе завершения работ 54-й РАЭ в ноябре—декабре 2009 г. был выполнен последний транспортный санно-гусеничный поход (СГП) из Мирного на Восток. Подобные походы на регулярной основе проводились с 1957 г., однако, в связи с интенсивным развитием глубоких трещин в районе выхода на ледяной купол у станции Мирный, проведение таких походов стало чрезвычайно опасным. Новая трасса СГП по снабжению внутриконтинентальной станции Восток была проложена в 53-й РАЭ (2007/08 г.) с помощью гусеничных транспортеров «Кассборер Полар 300». Эти транспортеры широко используются в антарктических программах Аргентины, Великобритании, Германии, Индии, Италии, КНР, США, Франции и прекрасно зарекомендовали себя при организации СГП на большие расстояния по трассам Дюмон д'Юрвиль — Купол С, Зонг Шанг — Купол А. Положение новой российской трассы Прогресс — Восток было изменено с целью обхода области рыхлого снега, затрудняющего движение тяжелых машин через район полевой базы Комсомольская. Несмотря на некоторое увеличение расстояния, временные потери компенсируются за счет большей скорости движения. В сезоне 2009/10 г. было выполнено два транспортных СГП по новой трассе. Если СГП со станции Мирный на Восток протяженностью 1410 км старыми машинами отечественного производства с грузом занимал в среднем 45 суток, то новый поход протяженностью 1500 км выполняется за 14—15 дней. Значительно сокращается расход топлива, и резко возрастает ресурс двигателя и ходовой части при использовании транспортеров германского производства. При нормальной организации работ за один сезон можно выполнять до трех СГП со станции Прогресс на Восток.

Предполагается в ближайшее время изменить и авиационное снабжение станции Восток. По результатам совещания, проведенного 11 марта 2008 г. на станции Новолазаревская под руководством Заместителя Председателя Правительства РФ С.Б.Иванова по вопросам модернизации авиационного обеспечения российской деятельности в Антарктике, было решено привлечь для этих целей новые воздушные суда отечественной разработки — самолеты Ил-76-ТД-90 и Ил-114-Т-100 на лыжно-колесном шасси. Первый тип самолета дает возможность совершать полеты из Кейптауна на Новолазаревскую без «рубежа невозврата» и тем самым значительно снизить объем доставки в Антарктиду авиационного топлива. Второй — резко повысит эффективность грузопассажирских перевозок между антарктическими станциями. Если в настоящее время самолет БТ-67 доставляет со станции Прогресс на Восток 1650 кг полезной загрузки и требует заправки на Востоке около 12 бочек авиакеросина, то самолет Ил-114-Т-100 будет способен доставить по этой же трассе 5000 кг полезной загрузки и не нуждается в дозаправке на Востоке. Вопрос о выделении целевого финансирования для постройки двух самолетов Ил-76-ТД-90 и трех самолетов Ил-114-Т-100 в настоящее время решается в Правительстве. Первые полеты этих машин в Антарктике могут состояться через два года после начала целевого финансирования.

В июне 2005 г. в Стокгольме проходило XXVIII Консультативное совещание по Договору об Антарктике (КСДА). Одним из главных результатов его работы стало принятие Приложения VI «Материальная ответственность в чрезвычайных экологических ситуациях» Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике. Одним из основных вопросов, поднятых в этом документе, стала необходимость принятия на законодательном уровне мер административного и уголовного наказания к национальным государственным и негосударственным операторам, наносящим ущерб экологии региона.

До этого, в июне 2004 г. на XXVII КСДА в Кейптауне была принята Мера IV «Страхование и планирование действий в чрезвычайных ситуациях при осуществле-

нии туристической и неправительственной деятельности в районе Договора об Антарктике», ратификация которой в нашей стране была возможна только при условии принятия специального законодательного акта РФ об обязательном страховании антарктической деятельности неправительственными экспедициями. В России обязательное страхование граждан или юридических лиц может осуществляться только при наличии специального закона (примером такого закона может служить Федеральный закон от 25 апреля 2002 г. № 40-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцами транспортных средств»). В связи с этими Росгидромет совместно с МИД России в конце 2005 г. направил в Правительство письмо с предложением о разработке нового законопроекта о регулировании деятельности российских граждан и юридических лиц в Антарктике. Правительство своим Поручением от 30 декабря 2005 г. № СН-П12-6593 возложило на Росгидромет и другие заинтересованные органы федеральной исполнительной власти разработку в 2006 г. Концепции этого законопроекта. После положительного заключения Правительственной комиссии по законотворчеству в 2007 г. была начата разработка проекта Федерального закона «О регулировании деятельности российских граждан и юридических лиц в Антарктике».

Содержание законопроекта определяется необходимостью выполнения обязательств нашей страны по вступившим в силу международно-правовым соглашениям Системы Договора об Антарктике, принятым Россией, и нормативно-правовыми актами РФ. В частности, он включает вопросы таможенного оформления товаров, перемещаемых через границу для обеспечения деятельности РАЭ, организационные, социальные и трудовые аспекты деятельности экспедиции.

Законопроект состоит из семи глав. Первая «Общие положения» включает в себя 5 статей, в которых определяются основные понятия, используемые в тексте законопроекта, включая понятия «правительственная и неправительственная деятельность в Антарктике», «РАЭ», «оператор», «наблюдатель» и др. Определяются участники деятельности (российские граждане, юридические лица, иностранные граждане и т.д.), определяются основные принципы деятельности в Антарктике. Вторая глава «Государственное регулирование деятельности в Антарктике» включает 6 статей. Они раскрывают вопросы участия государства в деятельности в Антарктике (направления государственного регулирования, полномочия федеральных органов исполнительной власти, порядок и источники финансирования правительственной и неправительственной деятельности, лицензирование деятельности, государственные гарантии и компенсации для работников РАЭ). Третья глава «Организация деятельности в Антарктике» рассматривает вопросы организации деятельности в регионе, статус РАЭ и ее ведомственной принадлежности. В ней определены инфраструктура РАЭ и нормы юрисдикции прав собственности на нее; установлены нормы использования имущества при проведении правительственной и неправительственной деятельности, включая правила его удаления из Антарктики, в том числе и отходов жизнедеятельности; определены меры по охране результатов интеллектуальной деятельности, полученных в регионе, особенности таможенного режима при доставке грузов РАЭ в Антарктику и их возвращении из нее в Россию через границу нашей страны. Четвертая глава «Безопасность деятельности в Антарктике» определяет ответственность за обеспечение требований безопасности при осуществлении деятельности в регионе, устанавливается порядок расследования происшествий и круг лиц, имеющих полномочия при таких расследованиях. В ней определяется порядок поисково-спасательных работ и мероприятий по ликвидации последствий при чрезвычайных происшествиях, как для правительственных, так и неправительственных операторов; устанавливается порядок страхования деятельности операторов при чрезвычайных си-

туациях и ее финансовое обеспечение. Подробно рассматриваются вопросы материальной ответственности со стороны операторов, допустивших возникновение чрезвычайных ситуаций. В пятой главе рассматриваются вопросы международного сотрудничества, устанавливается правовой режим деятельности иностранных граждан и юридических лиц, принимающих участие в деятельности российских юридических лиц в Антарктике. В шестой главе «Ответственность при осуществлении деятельности в Антарктике» рассматриваются вопросы видов ответственности, юридическое понятие «инцидента» и нормы ответственности для российских граждан и юридических лиц за нарушение разрешенных видов деятельности.

Правовое регулирование деятельности российских граждан и юридических лиц в Антарктике, определенное этим законопроектом, потребует внесения соответствующих изменений и дополнений в действующее российское законодательство. К ним относятся:

- Федеральный закон от 17 декабря 2001 г. № 173-ФЗ «О трудовых пенсиях в Российской Федерации» в части предоставления льготного пенсионного возраста для работников РАЭ;

- статья 268 Таможенного кодекса Российской Федерации в части отмены взимания таможенных пошлин и сборов для грузов РАЭ, направляемых из России в Антарктику и ввозимых из Антарктики в Россию через таможенную границу Российской Федерации;

- Кодекс Российской Федерации по административным правонарушениям и Уголовный кодекс Российской Федерации в части определения для установления меры ответственности за нарушение требований, предъявляемых к деятельности в Антарктике российских граждан и юридических лиц;

- Федеральный закон от 8 августа 2001 г. № 128-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» в части предоставления лицензий на медицинскую и фармакологическую деятельность, разрешенный оборот наркотических и психотропных препаратов, эксплуатацию некоторых видов технических средств в РАЭ.

С этой целью был разработан второй законопроект «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О регулировании деятельности российских граждан и юридических лиц в Антарктике». 24 апреля 2008 г. на заседании Правительства был рассмотрен вопрос «Об обеспечении интересов Российской Федерации в высокоширотных и полярных регионах». Решением этого заседания Росгидромету совместно с заинтересованными органами федеральной исполнительной власти поручалось разработать и представить на обсуждение в Правительство РФ проект «Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2020 г. и на отдаленную перспективу до 2030 г.». Данный документ должен стать основой для разработки специализированных государственных федеральных и ведомственных целевых программ, а также соответствующих аналитических программ ведомств в отношении работ в Антарктике. Такой документ был создан к марту 2009 г. и передан на согласование в органы федеральной исполнительной власти.

Данная Стратегия в качестве главной цели деятельности России в Антарктике определяет обеспечение государственных интересов нашей страны в этом регионе, которые распределяются по трем основным направлениям:

- укрепление национальной безопасности от различных вызовов и угроз;
- развитие экономического процветания государства за счет использования особенностей региона;
- усиление международного престижа государства за счет конкретных видов деятельности в регионе.

Данные направления в отношении антарктической стратегии России были выбраны в качестве основных подцелей.

Тактическими задачами первой подцели были определены: политические меры по укреплению и дальнейшему развитию Системы Договора об Антарктике; определение роли и места Антарктики в глобальных климатических изменениях, в том числе сказывающихся и на территории России; создание и развитие наземной инфраструктуры обеспечения космической деятельности России в антарктическом регионе.

Во второй подцели тактическими задачами определены: развитие системы отечественной рыбопромысловой деятельности в Южном океане; оценка перспектив запасов минеральных и углеводородных ресурсов антарктического региона.

Тактическими задачами третьей подцели стали: организация и проведение научных исследований в Антарктике на современном международном уровне; обеспечение выполнения требований Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике.

Выполнение всех этих тактических задач неразрывно связано с вопросами модернизации и реконструкции существующей инфраструктуры в Антарктике. Эта проблема выделена в самостоятельную тактическую задачу.

В документе в сжатой форме описывается современное состояние и проблемные вопросы для каждой из тактических задач. В частности, решение задачи по модернизации и реконструкции инфраструктуры РАЭ выбирается на основе двух сценариев: использование существующей инфраструктуры или создание новой инфраструктуры для решения других тактических задач. Анализ показал, что первый является более предпочтительным, так как экономит значительные материальные и финансовые ресурсы. Создание новой инфраструктуры автоматически означает необходимость выделения огромных средств, материальных и человеческих ресурсов на удаление за пределы Антарктики всех ранее завезенных построек и оборудования с объектов неиспользуемой инфраструктуры, рекультивацию территорий расположения этих объектов, как это требует Протокол по охране окружающей среды.

Проект Стратегии подробно рассматривает политические, правовые, финансовые и организационные риски для решения поставленных тактических задач и определяет перечень программных мероприятий по их реализации. Предусматривается три этапа выполнения Стратегии: 2010–2012 гг., 2013–2020 гг., 2021–2030 гг.

Первый из них ограничен сроком завершения работ по подпрограмме «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан», второй – выбран в качестве базового для развития основных направлений Стратегии, третий – как перспективный.

Последние десять лет именно подпрограмма «Изучение и исследование Антарктики» стала системообразующей основой фундаментальных исследований России в Антарктике. Подпрограмма позволила объединить главные направления деятельности России в Антарктике в единое целое, у работ появился один государственный заказчик – Росгидромет, осуществлена концентрация научных исследований для решения наиболее приоритетных вопросов, увеличился круг учреждений – участников работ в Антарктике.

За этот период произошли события, укрепившие роль России как одного из лидеров исследований Антарктики. В июле 2001 г. в Санкт-Петербурге успешно прошло Консультативное совещание по Договору об Антарктике. Россия впервые за всю историю антарктических исследований проводила подобный международный форум.

В апреле 2006 г. в АНИИ состоялась научная конференция «Россия в Антарктике», посвященная 50-летию начала регулярных исследований Антарктики

российскими (советскими) экспедициями. Конференция отразила пятидесятилетнюю историю, современное состояние российских исследований и работ в Антарктике, их перспективы на ближайшее десятилетие, а также планы исследований южной полярной области в период МПГ 2007/08.

МПГ 2007/08 придал новый импульс антарктическим исследованиям, в том числе и российским. Россия участвовала в выполнении 24-х проектов МПГ в Антарктике. Предварительным итогом МПГ 2007/08 была посвящена Международная конференция «Полярные исследования — перспективы изучения Арктики и Антарктики в период Международного полярного года», которая проходила в Санкт-Петербурге с 8 по 11 июля 2008 г.

Конференция явилась первым крупным международным форумом с того момента, как в марте 2007 г. стартовал МПГ. Центральная проблема, которая рассматривалась участниками конференции, — прошлые, текущие и будущие изменения климата и природной среды в Арктике и Антарктике и оценка их последствий для планеты. Конференция показала, что процессы в полярных регионах оказывают сильное влияние на глобальную окружающую среду, на планетарную климатическую систему. Конференция продемонстрировала, что Россия входит в число признанных лидеров антарктической науки и принимает активное участие во всех ведущих международных полярных научных инициативах. Конференция подтвердила, что успех практически всех программ и проектов связан с международной кооперацией. Это объясняется необходимостью концентрации интеллектуальных, логистических и финансовых возможностей сообщества в исследовании полярных районов.

В целом за период с начала реализации подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики», включая период МПГ 2007/08, были достигнуты следующие основные научные результаты.

В исследованиях современного климата получены оценки параметров пространственно-временной изменчивости термического режима атмосферы Антарктики в приземном слое, в толще тропосферы и в нижней стратосфере за период инструментальных наблюдений 1957–2009 гг. Для большинства станций тренды приземной температуры малы и статистически незначимы и находятся в рамках естественной изменчивости. В тропосфере повсеместно наблюдается существенное потепление, тогда как нижняя стратосфера выхолаживается.

Установлено, что за последние десятилетия заметное потепление климата наблюдается в районе Антарктического полуострова, как в приземном слое, так и в тропосфере. Здесь за 50 лет среднегодовая приземная температура воздуха местами повысилась на 3 °С. Определена ключевая роль крупномасштабных атмосферных процессов (Антарктической моды) в поддержании потепления, как в приземном слое, так и в тропосфере. Феномен регионального потепления, являющегося крупнейшим в Южном полушарии, проявляется не только в росте приземной температуры воздуха, но и в увеличении мощности и количества облачных слоев, уменьшении высоты нижней границы облачности и увеличении водности облаков, таянии ледников, деградации вечной мерзлоты и сокращении морского ледяного покрова на акватории к западу от полуострова. Процесс потепления уже оказал влияние на морские и наземные экосистемы, в которых начали появляться более теплолюбивые биологические формы.

По данным измерений общего содержания озона (ОСО) и парниковых газов в толще атмосферы определены тенденции и механизмы изменений в Антарктике озона и малых газовых составляющих атмосферы. В течение нескольких десятилетий в антарктической стратосфере каждую зиму создаются метеорологические условия, приводящие к образованию «озоновой дыры». Низкие температуры при-

водят к образованию стратосферных полярных облаков, на поверхности которых и происходят химические реакции разрушения озона. Отмечена стабилизация содержания озона за последние годы. Данные измерений ОСО в период МПГ на станциях Восток, Мирный и Новолазаревская и других, а также спутниковые данные показывают, что самой большой за последние годы «озоновая дыра» была в 2006 г. — 29 млн км<sup>2</sup>. Потери общей массы озона внутри границ зоны, где ОСО меньше 200 ед. Добсона, составили 40 мегатонн. «Озоновые дыры» 2007 и 2008 гг. были средними по интенсивности и протяженности, однако в 2007 г. разрушение озона началось раньше, чем в предшествующие годы, а в 2008 г. «дыра» просуществовала дольше, чем когда-либо ранее.

Исследованы интегральные и спектральные потоки радиации и характеристики прозрачности атмосферы в Антарктике. Радиационный климат Антарктиды был очень устойчив в течение более 50 лет. Интегральная прозрачность атмосферы существенно уменьшалась лишь после сильных вулканических извержений, причем длительность периодов с повышенными уровнями замутнения атмосферы составляла 1,5—2 года. В межвулканические периоды прозрачность атмосферы и аэрозольное ослабление солнечной радиации были стабильными и находились в пределах естественной изменчивости. Измеряемые в Антарктиде значения спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации являются одними из самых низких на Земле и, по существу, характеризуют начальный уровень естественно-глобального фона аэрозольного замутнения атмосферы.

На основе математической модели климата выполнены исследования изменений в климатической системе Антарктики в связи с ростом концентрации СО<sub>2</sub> в атмосфере. Расчеты указывают на относительно умеренный рост температуры в южной полярной области в XXI в. Увеличение осадков над Антарктидой при потеплении климата в значительной степени обусловлено изменениями динамики атмосферы — смещением путей циклонов, окружающих Антарктиду, к югу, что в свою очередь вызвано сокращением площади льдов Южного океана. Увеличение осадков при мало меняющихся испарении и таянии подтверждает гипотезу о компенсирующей роли Антарктиды в повышении среднего уровня Мирового океана, т.е. в увеличении массы ее ледяного щита.

В исследовании гелиогеофизических эффектов дана сравнительная оценка влияния космических лучей (солнечного и галактического происхождения) и параметров солнечного ветра на температурный режим и атмосферное давление в южной околополюсной области. Показано, что галактические лучи, направляемые солнечным ветром, влияют на температурный и ветровой режим в стратосфере и на озоновый слой. Оценено влияние вариаций гравитационного поля на ритмику протекания биохимических реакций в человеческом организме в экстремальных условиях Антарктики. Разработана эмпирическая модель влияния межпланетного электрического поля на параметры атмосферы в Центральной Антарктиде, оценено влияние солнечной и магнитной активности на атмосферное электрическое поле.

В океанографических исследованиях антарктических вод с борта НЭС «Академик Федоров» получена уникальная информация о структуре вод в области Антарктического склонового фронта, который играет важнейшую роль в климатообразующих процессах в океане, в том числе в перемешивании водных масс различного происхождения, вентиляции глубинных слоев океана и формировании антарктических донных вод в результате опускания холодных шельфовых вод по склону. Получено экспериментальное подтверждение факта формирования в море Содружества антарктической донной воды. Определено положение и некоторые характеристики фронтов и границ Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и примыкающих циркуляционных систем (субполярного круговорота Уэд-

делла и течения Агульяс). Получены оценки временной изменчивости положения основных фронтов и границ АЦТ, установлено, что более устойчиво положение Полярного фронта и Южного фронта АЦТ, менее устойчиво — субтропического и субантарктического. Создан комплекс математических моделей циркуляции океана для описания эволюции вод и льдов Южного океана, в том числе модель усвоения данных профильных измерений системы АРГО.

Разработан метод мониторинга ледяного покрова Южного океана на основе данных пассивного микроволнового зондирования со спутников. По судовым и спутниковым данным определены характеристики антарктического морского льда и айсбергов. В последние годы сокращение площади морского льда в одних регионах сопровождается увеличением в других. В целом площадь дрейфующего льда Южного океана медленно растет и в большинстве секторов (атлантическом, индоокеанском, в море Росса), снижаясь при этом в морях Беллинсгаузена и Амундсена. Получены параметры изменчивости толщины припайного льда и длительности периода нарастания-стаивания припая за многолетний период в районах прибрежных российских станций.

В изучении палеоклимата и подледникового озера Восток выполнены палеоклиматические реконструкции, направленные на изучение механизмов функционирования климатической системы в масштабах времени от сотен до сотен тысяч лет и, в конечном счете, на прогнозирование долговременных тенденций изменений природной среды нашей планеты. Разработаны технологии kernового бурения ледниковых покровов и вскрытия подледниковых озер. По результатам радиолокационных и сейсмических исследований в районе озера Восток получены данные о рельефе коренного ложа, толщин ледяного покрова и водного слоя озера.

Наиболее важные результаты связаны с исследованиями кернов льда из сверхглубокой скважины. Получены новые данные о минеральном составе и возрасте осадочных пород озера, о механизме образования озерного льда и информация о газовом, изотопном и гидрологическом режимах подледникового водоема. На основании данных исследований озерного льда сделана предварительная оценка биогеохимического потенциала озера Восток с точки зрения возможности поддержания в нем микробной жизни. Показано, что микроорганизмы, если они обитают в подледниковой воде, должны быть хемоавтотрофами по способу получения энергии и вещества и психрофильными, оксигенофильными и пьезофильными по физиологии.

Разработан и апробирован метод абсолютного датирования ледяных кернов. Метод основан на корреляции экспериментальных рядов газосодержания льда с расчетной кривой местной инсоляции. Показано, что использование нового метода датирования льда позволяет с высокой степенью точности синхронизировать ледяные керны, полученные в разных районах Антарктиды.

В гляциологических исследованиях получены данные по скоростям движения и толщинам льда для основных выводных ледников Восточной Антарктиды. По результатам оценок материкового стока и аккумуляции установлено, что баланс стока материкового льда Антарктиды составлял в 60-х гг. прошлого столетия  $675,3 \text{ км}^3/\text{год}$  и увеличился к концу 90-х г. до  $940,3 \text{ км}^3/\text{год}$ , т.е. на  $265,0 \text{ км}^3/\text{год}$ . Аккумуляция на материковой части Антарктического ледникового покрова в конце 50-х гг. XX века составляла  $793,8 \text{ км}^3/\text{год}$  и увеличилась к 90-м г. до  $1012,1 \text{ км}^3/\text{год}$ , т.е. на  $218,3 \text{ км}^3/\text{год}$ . Установлено, что баланс массы Антарктического ледникового покрова на протяжении 2-й половины XX века являлся положительным, составляя в 60-х гг.  $118,5 \text{ км}^3/\text{год}$ , и несколько уменьшился к концу 90-х гг. до  $71,8 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Динамика края Антарктиды отражает основные тенденции расходной части баланса массы, поскольку преобладающим здесь является твердый сток матери-

кового льда — отколы айсбергов. Основным источником айсбергов Антарктики являются шельфовые ледники. Таяние айсбергов, отколовшихся от шельфовых ледников, не повышает уровень моря, поскольку шельфовые ледники и так находятся на плаву. Однако откол айсбергов и разрушение шельфовых ледников может ускорить сползание в океан льда с выходных ледников, а это приведет к росту уровня моря.

В геолого-геофизических исследованиях Антарктики за 1999–2009 гг. выполнено 40000 м профилей сейсмических и 50000 км профилей гравимагнитных съемок на море и 65000 км профилей гравимагнитных и радарных съемок на суше. Подготовлено 37 цифровых геолого-геофизических карт для морей Содружества, Космонавтов, Рисер-Ларсена, Дейвиса и шельфа у берега Земли Уилкса и 28 карт для континента. Создана концептуальная модель тектонического и геодинамического развития антарктической литосферы на протяжении 3,5 млрд лет. Оценена перспективность различных районов Антарктики в отношении накопления углеводородов и других полезных ископаемых. Углеводородные ресурсы шельфа Антарктиды и прилегающей глубоководной акватории составляют 65 млрд т условного топлива. Наиболее перспективными являются шельфы морей Уэдделла, Содружества и Амундсена и шельф у берега Земли Уилкса.

В биологических исследованиях определен видовой состав (биоразнообразие), таксономическая и трофическая структура и особенности функционирования морских, ледовых, пресноводных и наземных экосистем Антарктики. Оценено современное состояние биоресурсов Южного океана, выявлена разнообразная лишайнофлора оазисов Антарктиды и островов. На основе морских и прибрежных гидробиологических исследований выявлен видовой состав экосистем Южного океана. Выявлено 37 новых для науки видов, в основном среди ракообразных и рыб.

Исследован антарктический криль в промысловых районах атлантического сектора Антарктики. Показано, что лимит вылова криля в каждом районе (острова Юж. Георгия, Юж. Шетландские, Юж. Оркнейские, Юж. Сандвичевы) может составлять 1 млн т в год, что превосходит современный объем вылова (100 тыс. т во всем атлантическом секторе). Исследования биомассы промысловых видов рыб в атлантическом секторе показали, что в результате перелома мраморной нототении в 1970-е гг. ее нишу заняла белокровная щука, ставшая доминирующей в уловах.

На станции Прогресс организован мониторинг состояния прибрежных экосистем. На исследованных глубинах (до 40 м) выявлено 6 видов водорослей и не менее 205 видов беспозвоночных животных различных систематических групп и рыб. Определена зависимость структуры биоценозов и количественное представление животных бентоса не только от глубины, но и от характера грунта (мягкий, мелко- или крупнообломочный материал).

Изучены состав и особенности территориального распределения лишайников, мхов, грибов и высших растений на о-вах Кинг-Джордж, Десепшен и Ливингстона, флористические работы на которых проведены впервые. Выявлено 120 видов лишайников и 37 видов мхов. Впервые для бриофлоры острова Кинг-Джордж отмечены 2 вида мохообразных (*Ditrichum conicum* и *Drepanocladus longifolius*).

Исследовано влияние потепления климата в районе Антарктического полуострова. Показано, что теплые условия в последние годы способствовали интенсивной колонизации сосудистых растений (травы) на полуострове. Интенсивное таяние ледников на субантарктических островах создает благоприятные условия для колонизации лишайниками участков, свободных ото льда, и увеличения их годовой скорости роста.

Комплексный междисциплинарный подход к изучению природной среды Антарктики в ходе реализации подпрограммы «Изучение и исследование Антаркти-

ки» позволил заложить основу для роста эффективности будущих научных исследований, закрепления позиций страны в Антарктике.

Авторы благодарят Н.Н.Антипова, В.Е.Лагуна, Г.Л.Лейченкова, В.Я.Липенкова, М.Ю.Москалевского, А.В.Неелова, В.Ф.Радионова, О. А.Трошичева за предоставленные материалы.

*V.V.LUKIN, A.V.KLEPIKOV, A.A.BYSTRAMOVICH*

## **RUSSIA IN THE ANTARCTIC: PRESENT STATE AND FUTURE TRENDS**

*A brief history, current state and future of Russian Antarctic studies are presented. Russian Antarctic infrastructure is described. A summary of government regulations, legal documents governing the activity of permanent Russian Antarctic expedition is presented. The structure of the draft Federal Law «On regulation of Russian citizens and legal entities in the Antarctic» is considered. The draft Strategy of Russia in the Antarctic is discussed. The main scientific results obtained during the implementation of the subprogram «Study and research of the Antarctic» of Federal Targeted Program «World Ocean» are described.*

*Keywords:* Antarctica, climate, RAE, Strategy, Federal Law.

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ И СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

*д-р геогр. наук Г.В.АЛЕКСЕЕВ, канд. геогр. наук В.Ф.РАДИОНОВ,  
канд. геогр. наук Е.И.АЛЕКСАНДРОВ, науч. сотр. Н.Е.ИВАНОВ,  
науч. сотр. Н.Е.ХАРЛАНЕНКОВА*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, alexgv@aari.ru*

*В статье анализируются изменения некоторых репрезентативных климатических характеристик состояния атмосферы, морских льдов и океана в Арктике и северной полярной области за период инструментальных наблюдений по 2009 год с использованием данных, собранных в период МПГ 2007/08. Также проводится сравнение с изменениями в других областях и с оценками климатических изменений по расчетам на глобальных моделях климата.*

*Ключевые слова:* изменения климата, северная полярная область, Арктика, Арктический бассейн, МПГ 2007/08.

Арктика составляет важную часть климатической системы Земли, связанную с другими ее частями переносами тепла, влаги, соли и воды в системах циркулирующей атмосферы и океана. Здесь формируются усиленные этими взаимосвязями изменения климата, слежение за которыми является необходимой частью мониторинга глобальных климатических изменений. Изменения климата Арктики составляют одно из актуальнейших направлений современных климатических исследований. В них видное место занимает судьба морских льдов в Северном Ледовитом океане, поскольку криосфера, частью которой они являются, особенно остро реагирует на изменения климата и может как ускорить, так и замедлить их развитие. В то же время Арктика является одним из районов, для которых пока не удастся получить хорошего согласия между глобальными моделями и наблюдениями в воспроизведении происходящих изменений климата. Необходимы дальнейшие исследования на основе данных мониторинга за изменениями состояния основных частей арктической климатической системы и результатов натуральных исследований арктических процессов. Большой вклад в этом направлении внесли исследования по программе Международного полярного года 2007/08.

В статье анализируются изменения некоторых репрезентативных климатических характеристик состояния атмосферы, морских льдов и океана в Арктике и северной полярной области за период инструментальных наблюдений по 2009 г. с использованием данных, собранных в период МПГ 2007/08. Также проводится сравнение с изменениями в других областях и с оценками климатических изменений по расчетам на глобальных моделях климата

### **Температура воздуха**

Изменения температуры воздуха за период 1936–2009 гг. рассматриваются на основе данных стандартных метеорологических наблюдений на территории северной полярной области (СПО) [3, 20, 22]. Основным методом получения про-

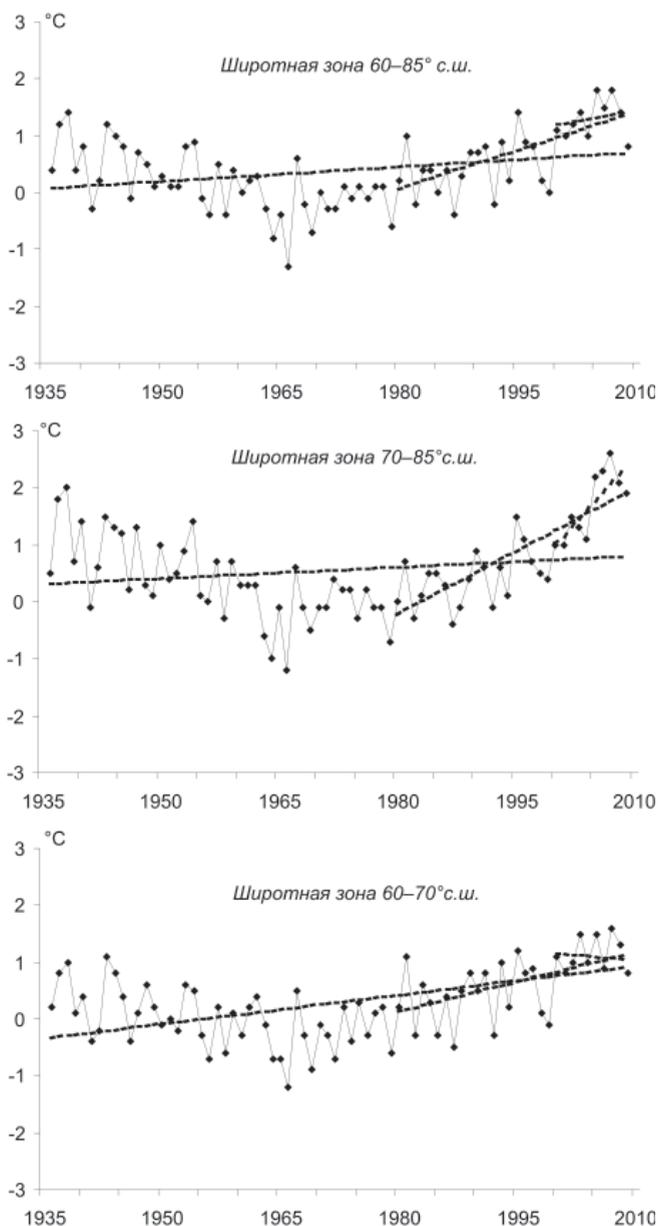


Рис. 1. Временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха

странственно осредненных аномалий температуры воздуха является метод оптимальной интерполяции и оптимального осреднения [8, 9].

Оценки аномалий средних за сезон и год температур воздуха были получены относительно стандартного периода 1961–1990 гг. В качестве сезонов рассматривались календарные сезоны, за год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь последующего.

На рис. 1 показаны временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха широтных зон: 60–85, 70–85 и 60–70° с.ш. Как видно из рис. 1, с середины 1960-х гг. температура в СПО повышалась. При этом повышение среднегодовой температуры вплоть до конца прошлого столетия было обусловлено, главным образом, изменениями температуры зимнего и весеннего сезонов. В конце прошлого и начале нынешнего столетия существенный вклад в повышение среднегодовой температуры воздуха был внесен изменениями температуры летнего и осеннего сезонов [1].

В середине 2000-х гг. значения аномалий среднегодовой температуры воздуха СПО достигли наибольших величин из всего временного ряда. Наиболее теплыми годами стали 2005 г. и 2007 г. с аномалией температуры 1,8 °С [3, 6]. Надо отметить, что в 2005 и 2007 гг. положительные аномалии среднегодовой температуры воздуха наблюдались почти на всех станциях земного шара. В Северном полушарии эти годы оказались также наиболее теплыми с аномалиями температуры соответственно 0,72 и 0,71 °С [21].

Величина положительного линейного тренда среднегодовой температуры воздуха СПО за период 1936–2009 гг. статистически значима в целом для СПО и для широтной зоны 60–70° с.ш. Повышение температуры воздуха за 74 года соответственно составило 0,6 и 0,8 °С.

За последние 30 лет (1980–2009 гг.) статистически значимые положительные тренды температуры наблюдались практически везде в СПО во все сезоны и в целом за год (табл. 1). Повышение среднегодовой температуры воздуха за 30 лет на территории северной полярной области составило около 1,3 °С. При этом скорость потепления в широтной зоне к северу от 70° с.ш. (0,72 °С/10 лет) была больше, чем в широтной зоне 60–70° с.ш. (0,35 °С/10 лет). Повышение температуры за 30 лет в этих зонах составило 2,2 и 1,1 °С соответственно.

В последнем десятилетии (2000–2009 гг.) отмечены наиболее высокие температуры воздуха как на территории Северного полушария, так и северной полярной области. Вместе с тем тенденции изменений аномалий температуры к северу и югу от 70° с.ш. в текущем десятилетии стали противоположными: к

Таблица 1

Коэффициенты линейного тренда средней за сезон и среднегодовой температуры воздуха отдельных широтных зон

Широтная зона	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1936–2009 гг.					
60–70° с.ш.	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>	0,05	<b>0,11</b>
70–85° с.ш.	0,00	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>	0,02	0,06
60–85° с.ш.	0,08	<b>0,14</b>	<b>0,09</b>	0,04	<b>0,08</b>
1980–2009 гг.					
60–70° с.ш.	0,21	<b>0,36</b>	<b>0,34</b>	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
70–85° с.ш.	<b>0,74</b>	<b>0,68</b>	<b>0,45</b>	<b>0,99</b>	<b>0,72</b>
60–85° с.ш.	<b>0,37</b>	<b>0,46</b>	<b>0,37</b>	<b>0,69</b>	<b>0,44</b>
2000–2009 гг.					
60–70° с.ш.	0,61	–0,79	–0,12	0,58	–0,12
70–85° с.ш.	<b>2,70</b>	1,18	0,59	<b>1,21</b>	<b>1,38</b>
60–85° с.ш.	<b>0,99</b>	–0,15	0,01	0,75	0,20

Примечание: значение линейного тренда в °С/10 лет; жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды.

Таблица 2

Аномалии ( $T$ ) и нормированные аномалии ( $T/\sigma$ ) среднемесячной температуры воздуха на дрейфующих станциях СП-1, СП-32 – СП-37 и судне «Фрам»

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-1													
1937	$\Delta T$						0,2	0,4	0,5	-2,8	-1,4	3,5	5,8
	$\Delta T/\sigma$						0,3	2,0	0,6	-1,4	-0,5	1,3	1,7
1938	$\Delta T$	6,4											
	$\Delta T/\sigma$	<b>2,0</b>											
СП-32													
2003	$\Delta T$						1,1	0,2	0,9	3,3	1,2	5,2	-2,5
	$\Delta T/\sigma$						1,4	1,0	1,1	1,6	0,4	1,9	-0,7
2004	$\Delta T$	1,0	2,2										
	$\Delta T/\sigma$	0,3	0,7										
СП-33													
2004	$\Delta T$									-0,2	2,3	0,2	4,1
	$\Delta T/\sigma$									-0,1	0,8	0,1	1,2
2005	$\Delta T$	5,9	6,1	-1,3	1,4	5,5	1,3	0,3	-0,2				
	$\Delta T/\sigma$	1,8	<b>2,0</b>	-0,4	0,6	<b>3,4</b>	1,6	1,5	-0,3				
СП-34													
2005	$\Delta T$									2,3	3,4	2,5	7,8
	$\Delta T/\sigma$									1,1	1,2	0,9	<b>2,3</b>
2006	$\Delta T$	16,1	3,6										
	$\Delta T/\sigma$	<b>5,0</b>	1,2										
СП-35													
2007	$\Delta T$										9,5	7,1	4,2
	$\Delta T/\sigma$										<b>3,4</b>	<b>2,5</b>	1,2
2008	$\Delta T$	2,1	5,2	1,4	6,1	1,1	1,0						
	$\Delta T/\sigma$	0,7	1,7	0,5	<b>2,5</b>	0,7	1,3						
СП-36													
2008	$\Delta T$									5,2	4,8	7,5	3,5
	$\Delta T/\sigma$									<b>2,6</b>	1,7	<b>2,7</b>	1,0
2009	$\Delta T$	5,4	2,9	-2,0	-0,9	3,7	0,3	0,0	0,0				
	$\Delta T/\sigma$	1,7	1,0	-0,7	-0,4	<b>2,3</b>	0,4	0,0	0,0				
СП-37													
2009	$\Delta T$									2,7	5,5	5,2	3,3
	$\Delta T/\sigma$									1,4	<b>2,0</b>	1,9	1,0
2010	$\Delta T$	0,0											
	$\Delta T/\sigma$	0,0											
«Фрам»													
1895	$\Delta T$	-0,7	-2,2	-1,7	-2,6	0,4	0,8	0,2	-0,5	-0,3	-1,9	-3,4	-2,1
	$\Delta T/\sigma$	-0,2	-0,7	-0,6	-1,1	0,3	1,0	1,0	-0,6	-0,2	-0,7	-1,2	-0,6

Примечание: выделены нормированные аномалии, превышающие удвоенное стандартное отклонение

северу от 70° с.ш. температурный тренд положителен, а к югу от 70° с.ш. весной, летом и в целом за год появилась отрицательная тенденция изменения температуры (табл. 1).

Новые данные метеорологических наблюдений на дрейфующих станциях СП-32 – СП-37 позволяют уточнить современные параметры метеорологического режима в околополюсном районе и сравнить их с наблюдавшимися более 70 лет назад на СП-1 и более 100 лет назад на находившемся в дрейфе судне «Фрам». Величины аномалий среднемесячной температуры воздуха относительно нормы за 1954–1988 гг. [2, 11] и их нормированные на стандартное отклонение значения на дрейфовавших в 2003–2009 гг. станциях «Северный полюс» приведены в табл. 2. Аномалии в большинстве случаев положительны. Наиболее крупные аномалии (более 3) были отмечены в мае 2005 г. на СП-33, в январе 2006 г. на СП-34 и октябре 2007 г. на СП-35. Надо отметить, что для северной полярной области 2005 г. стал наиболее теплым годом в широтной зоне 60–85° с.ш. за весь период инструментальных наблюдений. Здесь же в табл. 2 приведены аномалии среднемесячных температур воздуха в период дрейфа судна «Фрам» в 1895 г. относительно месячных норм за тот же самый период 1954–1988 гг. в пределах той же околополюсной области севернее 85° с.ш. Видно, что, за исключением мая-июля, они отрицательны. Нормированные значения как отрицательных, так и положительных аномалий невелики – около или менее 1. Сопоставление результатов наблюдений на «Фраме» с результатами на дрейфующих станциях в 1950–1990-х гг. и в 2000-х гг. [10] позволяет сделать вывод о большей устойчивости термического режима в околополюсном районе по сравнению с остальной частью северной полярной области. Увеличение температуры здесь происходит, однако эти изменения протекают медленнее, чем ожидалось по оценкам различных моделей климата [20]. Вместе с тем следует отметить появление новых, существенно увеличенных относительно нормы, значений среднемесячных температур воздуха в околополюсном районе в осеннем сезоне.

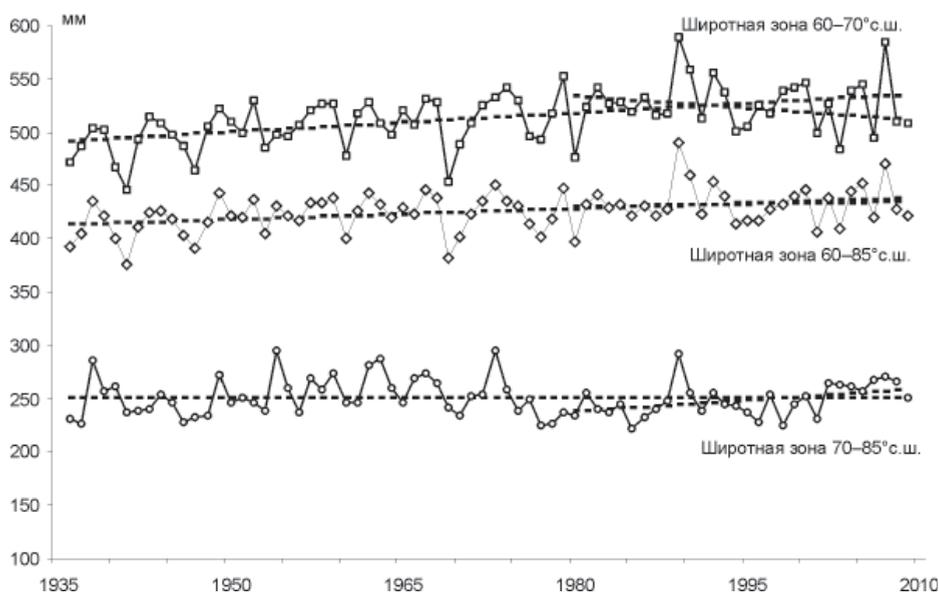


Рис. 2. Многолетняя изменчивость годовых сумм осадков в различных широтных зонах, мм

### Атмосферные осадки

Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводилась по следующей методике. Месячные суммы измеренных осадков скорректированы по методике, описанной в [17]. Были рассчитаны месячные, сезонные и годовые нормы осадков за период 1961–1990 гг. для каждой из станций и рассматриваемых широтных зон СПО. На всех станциях для каждого года наблюдений рассчитывались аномалии сумм осадков относительно имеющихся норм, затем рассчитывались средние аномалии в пределах широтной зоны (арифметическое среднее по данным всех станций в рассматриваемой широтной зоне). За величину месячной (сезонной, годовой) суммы осадков в конкретный год в рассматриваемой широтной зоне принималось значение, равное алгебраической сумме нормы месячного (сезонного, годового) количества осадков и рассчитанной для этого года аномалии соответствующей суммы осадков.

Таблица 3

**Параметры линейного тренда сезонных и годовых сумм осадков за период 1936–2009 гг.**

Широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	$B_x$	% от нормы	$B_x$	% от нормы	$B_x$	% от нормы
1936–2009 гг.						
60–70° с.ш.	<b>6,16</b>	15,2	–0,26	–0,9	<b>5,99</b>	8,5
70–85° с.ш.	0,80	4,3	–0,94	–6,2	–0,14	–0,4
60–85° с.ш.	<b>4,03</b>	12,2	–0,71	–2,9	<b>3,32</b>	5,7
1980–2009 гг.						
60–70° с.ш.	–0,81	–2,4	0,72	2,2	–0,09	–0,3
70–85° с.ш.	<b>7,86</b>	23,6	–0,82	–2,5	<b>7,04</b>	21,1
60–85° с.ш.	1,80	5,4	–0,26	–0,8	1,54	4,6

*Примечание:* первый столбец  $B_x$  – значение линейного тренда в мм/10 лет; второй столбец – изменение сумм осадков в % от среднесезонного значения за 74 года и 30 лет; жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды

На рис. 2 показаны временные ряды годовых сумм осадков для широтных зон к северу и югу от 70° с.ш. и в целом для СПО. Осадки в СПО с 1936 г. увеличились примерно на 6 % от многолетней нормы, но это результат их роста примерно на 8 % в широтной зоне к югу от 70 с.ш. (табл. 3). Весь прирост годовых сумм осадков вызван увеличением осадков холодного периода (с октября по май). Осадки теплого периода (с июня по сентябрь) в целом за 74 года уменьшились. Это уменьшение сильнее выражено в широтной зоне к северу от 70° с.ш.

Особый интерес представляют изменения сумм осадков в последние десятилетия, в которые происходило увеличение температуры воздуха. Межгодовые изменения количества атмосферных осадков отличаются от межгодовых изменений температуры воздуха большей степенью изменчивости. За последние 30 лет (1980–2009 гг.) к северу от 70° с.ш. твердые осадки увеличились примерно на 24 % (табл. 3). Это увеличение было более интенсивным в конце 30-летнего периода, когда наблюдался наибольший рост температуры воздуха (см. рис. 1 и 2). Количество жидких осадков в эти годы уменьшалось.

К югу от 70° с.ш. статистически значимого тренда не обнаруживается как в годовых суммах осадков, так и в суммах осадков холодного и теплого сезонов. В холодный период и в целом за год появилась тенденция к уменьшению сумм осадков.

### Климатические изменения в морской Арктике

Потепление в Арктике, начавшееся в конце 1980-х гг., усилилось с середины 1990-х гг., достигнув максимального развития к 2007 г. В морской Арктике в этот период происходило резкое сокращение площади, занимаемой морскими льдами в конце летнего периода. В Арктическом бассейне распространялась обширная положительная аномалия температуры в подповерхностном слое воды атлантического происхождения (АВ) и изменилось распределение пресной воды в верхнем слое. На этот климатический сдвиг пришлось возрождение арктических экспедиционных исследований, увенчавшееся проведением Международного полярного года 2007/08. Благодаря полученным за последние два десятилетия данным о состоянии водных масс, морских льдов и атмосферы оказалось возможным проследить развитие климатического феномена конца 1990-х – начала 2000-х гг. в морской Арктике, его связь с изменениями глобального климата и сравнить с потеплением в 1930–1940-е гг.

Изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана, представляют особый интерес. Изменения температуры в этой области в первую очередь влияют на зимнее разрастание и летнее таяние ледяного покрова. С этой точки зрения оценим изменения положительных летних температур как индикатора летнего теплового воздействия на лед и отрицательных температур за холодный период года, влияющих на максимальное увеличение объема льда зимой. Для этого выбраны 38 станций, расположенных на островах и побережье Северного Ледовитого океана, откуда начинается летнее отступление морских арктических льдов. Средние зимние и летние приповерхностные температуры воздуха (ПТВ) на этих станциях начиная с 1951 г. показаны на рис. 3, из которого видно быстрое убывание отрицательных температур после 1991 г. и быстрый рост положительных температур после 1996 года с абсолютным рекордом в 2007 г. и понижением в 2008 г. При этом зимние температуры до 1991 г. и летние до 1996 г. имели слабые отрицательные тренды, которые сменились на значимые положительные тренды.

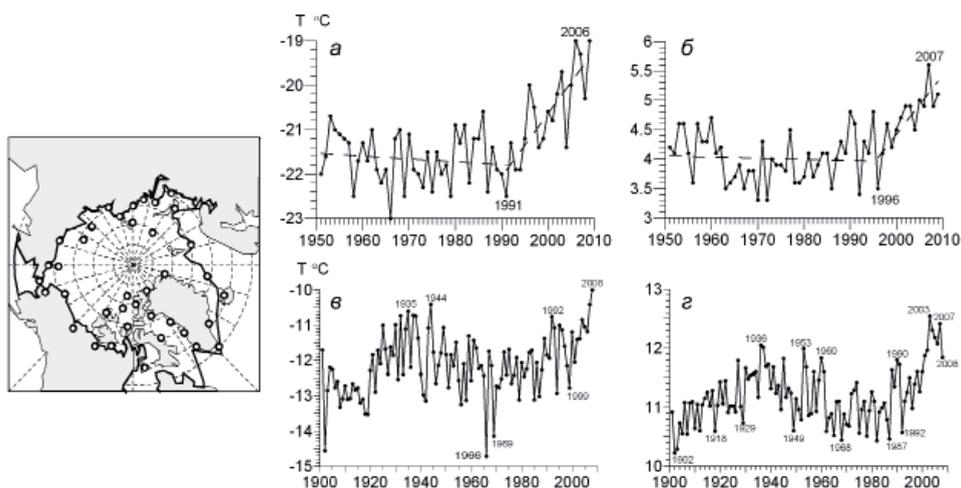


Рис. 3. Средние зимние (XI–III) – а и летние (VI–VIII) – б ПТВ на 38 станциях в морской Арктике в 1951–2008 гг. (положение станций в морской Арктике показано на карте; пунктир – линейный тренд); в – средняя за ноябрь–март и г – за июнь–август температура воздуха в области к северу от 60° с.ш. по данным 30 метеостанций

Чтобы сравнить развитие потепления в 1930–1940-е и в 1990–2000-е гг. приходится рассматривать изменения температуры воздуха и за пределами морской Арктики, поскольку число станций в этой области до 1950 г. было незначительным. Как и в предыдущем разделе, рассмотрим область к северу от 60° с.ш., в которой начиная с 1900 г. действуют 30 метеостанций. Средние за зиму и лето температуры воздуха в этой области за 1907–2007 гг. представлены на рисунке 3 в, г. Видно, что максимальная зимняя температура была выше во время первого потепления, а летняя – во время потепления 1990–2000 гг. Также заметно отсутствие значимого положительного тренда температуры до середины 1990-х гг. Скорость развития потепления в оба периода можно оценить коэффициентами линейного тренда за 19 лет, соответственно за 1920–1938 гг. и за 1990–2008 гг. За первый период коэффициенты сезонных трендов в пределах 0,49–0,60 °С/год, а во второй 0,34–0,81 °С/год, а для средних за год тренды, соответственно, 0,054 и 0,069 °С/год. Таким образом, второе потепление развивается быстрее, чем первое, за исключением весны.

Сравнение средней температуры за самое теплое десятилетие в каждом сезоне первого потепления и средней температуры последнего потепления (рис. 4)

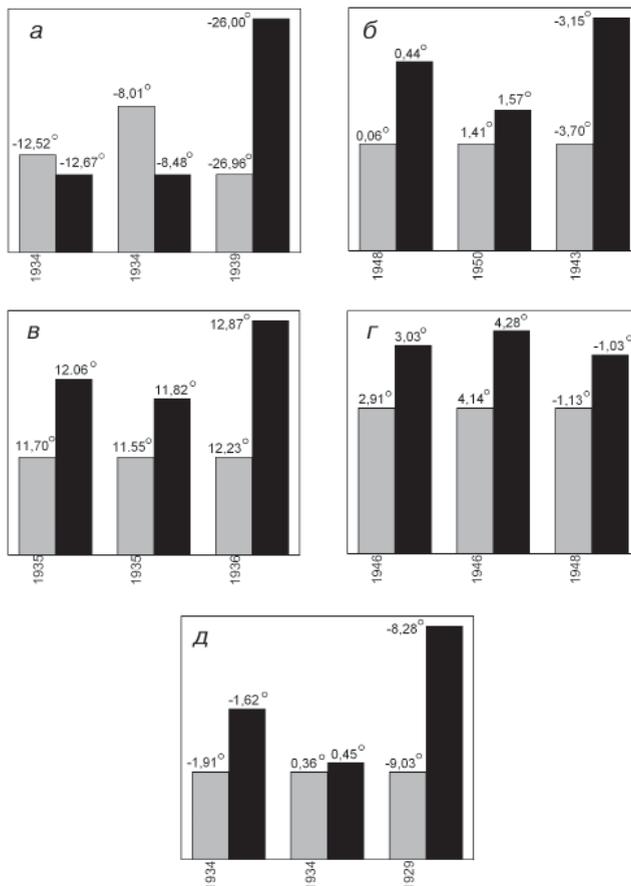


Рис. 4. Средняя ПТВ в самое теплое десятилетие в первом потеплении (серый столбик) и в 1998–2007 гг. (черный столбик) в разные сезоны (а – зима, б – весна, в – лето, г – осень, д – год) во всей области, в приатлантической и притихоокеанской ее половинах (соответственно, первая, вторая и третья пара столбиков в каждом сезоне)

показывает, что все сезоны, за исключением зимнего, теплее в последнее десятилетие, так же как и в среднем за год. Можно также отметить большую разность между десятилетиями в тихоокеанской половине области, что подтверждает усиление здесь последнего потепления, и сравнительно небольшую разность между обоими потеплениями осенью (сентябрь–октябрь) во всех районах.

Во взаимодействии между Арктикой и остальной частью глобальной климатической системы важная роль принадлежит морскому ледяному покрову, который в то же время является индикатором изменений арктического климата. Наблюдаемое с начала 1980-х гг. постепенное сокращение летней площади морского льда (ПМЛ) в Арктике, резко ускорилось в конце 1990-х гг. и достигло абсолютного минимума в сентябре 2007 г. (4,30 млн км<sup>2</sup>). В сентябре 2008 г. ПМЛ возрос до 4,70 млн км<sup>2</sup>, а в сентябре 2009 г. до 5,20 млн км<sup>2</sup> (рис. 5).

В сибирских арктических морях (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) ПМЛ в сентябре сокращалась еще более быстрыми темпами, но в 2007–2009 гг. дальнейшего сокращения не происходило (рис. 5 б). В целом за десятилетие с 1997 по 2007 г. площадь морских льдов сократилась на 26 % во всей Арктике и на 79 % в сибирских морях.

Из результатов расчетов площади льдов по данным ансамбля глобальных моделей СМIP3 видно значительное отставание сокращения площади льдов в моделях по сравнению с наблюдаемым сокращением (рис. 5 в).

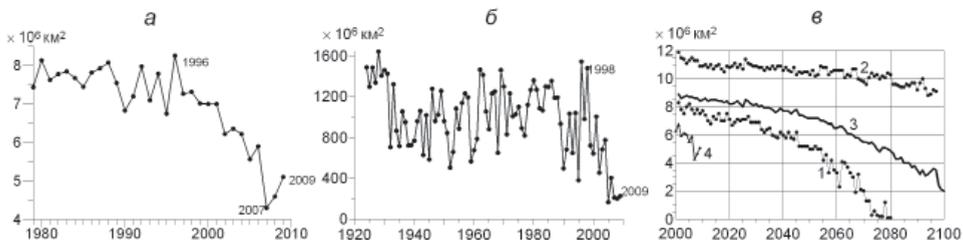


Рис. 5. Площадь льдов: а – сентябрьская в Арктике (1979–2009 гг., данные NSIDC), б – в сибирских арктических морях (1924–2009 гг., данные ААНИИ) и в – в Арктике по ансамблю модельных расчетов СМIP3 (1, 2 – крайние реализации из ансамбля, 3 – среднее по 16 реализациям и 4 – по данным NSIDC за 2000–2009 гг.)

Очевидно, что причина столь резкого сокращения количества арктических льдов в конце летнего периода связана с потеплением климата. Корреляция между аномалиями ПТВ и ПМЛ в разные месяцы года указывает на связь между ними в июне [4,18]. Эта связь остается 95 %-значимой и после исключения тренда из обоих рядов. Аномалии ПМЛ в июне влияют также на аномалии ПМЛ в зимние месяцы последующего года.

Второй максимум корреляции между ПТВ в северной полярной области и ПМЛ обнаруживается в сентябре, когда ПМЛ сокращается до климатического минимума. Связь между изменениями ПМЛ в сентябре и летней (средней за июнь–август) температурой воздуха усиливается по мере развития потепления и характеризуется наибольшей корреляцией  $-0,85$  для ряда ПМЛ за 1979–2007 гг. Корреляция между суммой отрицательных зимних температур воздуха и ПМЛ в марте слабее, поскольку разрастание площади льдов зимой ограничено областью распространения слоя опресненной воды в высоких и умеренных широтах Северного полушария [7].

Основная причина расхождений в оценке изменений площади льда между моделями и наблюдениями в том, что модели значительно занижают летнюю

температуру воздуха (рис. 6 цв. вклейки) вследствие, по-видимому, недостаточной чувствительности к изменениям радиационного воздействия и с занижением собственной изменчивости климатической системы в Арктике.

Расчеты на модели морского льда СЛЮ, разработанной в ААНИИ, с форсингом по данным НСЕР показали значительно лучшее согласие изменений ледяного покрова в последнее десятилетие с данными наблюдений по сравнению с глобальными моделями [16]. Эксперименты с этой моделью по оценке роли динамики льда и притоков тепла из атмосферы показали решающее воздействие второго фактора в формировании аномального сокращения площади льда в сентябре 2007 г.

Другой важный параметр морского ледяного покрова – его толщина, как показали измерения с борта атомных ледоколов, выполненные сотрудниками ААНИИ в 1977–2009 гг., также уменьшился [15]. Причем эти изменения произошли после 1987 г. за счет сокращения количества многолетних льдов (табл. 4).

Таблица 4

**Количество и средняя толщина льдов различного возраста на пути плавания а/л «Арктика» в августе 1977 г. и НЭС «Академик Федоров» в августе 2005 г.**

Лед	1977 г.		2005 г.	
	Кол-во	Толщина	Кол-во	Толщина
Однолетний	44 %	120 см	74 %	119 см
Многолетний	56 %	238 см	26 %	225 см
Вместе	100 %	186 см	100 %	142 см

Для формирования климата морской Арктики важным процессом является поступление теплой и соленой воды из Северной Атлантики. Приток атлантической воды (АВ) в Арктику составляет часть глобального океанического конвейера, связывающего океаны транспортом тепла, соли и пресной воды. Поступая из Северной Атлантики, АВ распространяются по акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева морей и проникают в Арктический бассейн, где занимают промежуточный слой на глубинах от 100 до 800 метров [12,13]. Атлантическая вода является важным источником тепла в приатлантическом секторе Арктики и источником соли для арктических вод, подвергающихся постоянному опреснению. Постоянный приток тепла от слоя АВ в верхний слой Арктического бассейна ограничивает зимнее нарастание льда. Все это указывает на то, что поступление АВ является важным климатообразующим процессом в арктической климатической системе и его мониторинг должен быть составной частью слежения за изменениями климата [5, 6, 19].

Поток атлантической воды на протяжении от пролива Фрама до моря Лаптевых включительно сконцентрирован в узкой зоне вдоль материкового склона и доступен для мониторинга с помощью современных судов ледокольного типа и небольшого числа длительных заякоренных подводных (и подледных) измерителей течений, температуры и солености воды. Обобщение океанографических данных, собранных в Арктическом бассейне с начала наблюдений, позволило выбрать районы, наиболее освещенные наблюдениями, и сформировать климатические ряды характеристик АВ по 2009 г. включительно. Одной из таких характеристик является максимальная температура в слое АВ в шести районах Арктического бассейна (рис. 7).

Приведенные на рисунке изменения максимальной температуры АВ показывают начало современного повышения температуры АВ в проливе Фрама в 1987 г., которое разделяется на два этапа. Второй этап повышения температуры начался в 1997 г. Его начало прослеживается и в других рассматриваемых райо-

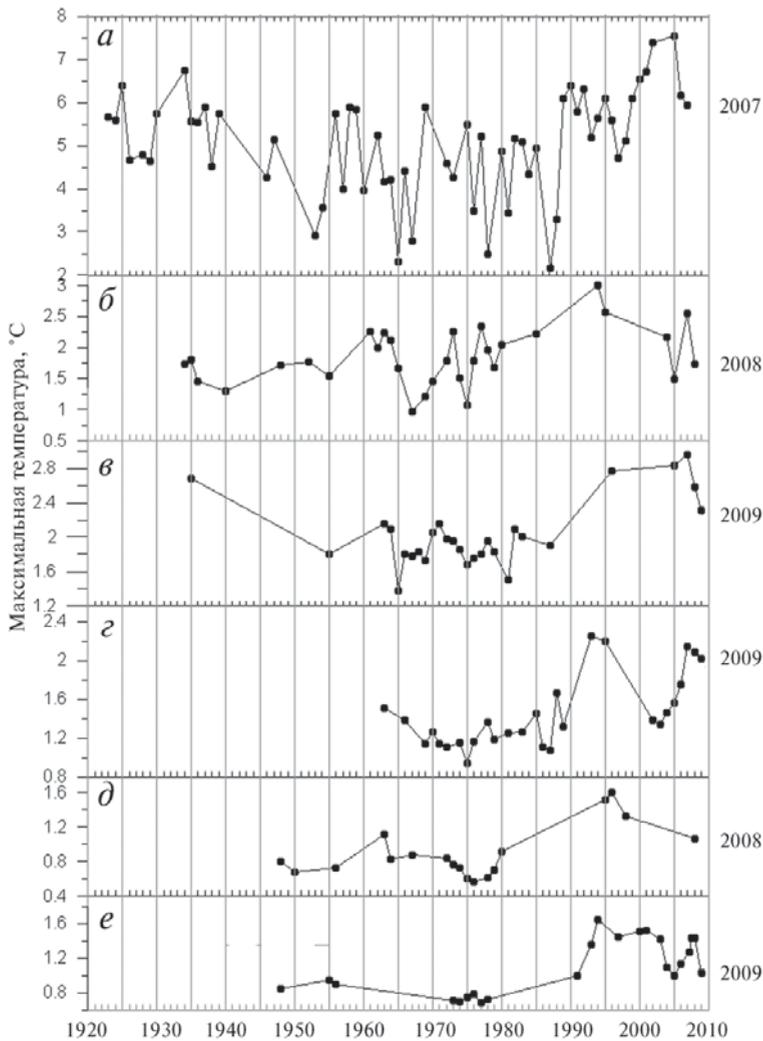


Рис. 7. Изменения максимальной температуры в слое АВ по данным измерений в шести районах Арктического бассейна в 1920–2009 гг.: *a* – пролив Фрама, *б* – желоб Св. Анны, *в* – точка с координатами 83° с.ш., 90° в.д., *г* – точка с координатами 80° с.ш., 120° в.д., *д* – точка с координатами 81° с.ш., 150° в.д., *е* – Северный полюс

нах с запаздыванием до 8 лет в районе Северного полюса. В последние годы повышенные значения температуры АВ сохраняются, однако наметилась тенденция к их уменьшению.

Сопоставление изменений температуры АВ в Арктическом бассейне и в Северной Атлантике, начиная от тропической области (рис. 8), показывает присутствие во всех рассматриваемых рядах сходных десятилетних изменений с преобладанием роста температуры в последние 30 лет. Исключение составляет район 40–60° с.ш., где имеет место оппозиция аномалий температуры между восточной и западной частями района.

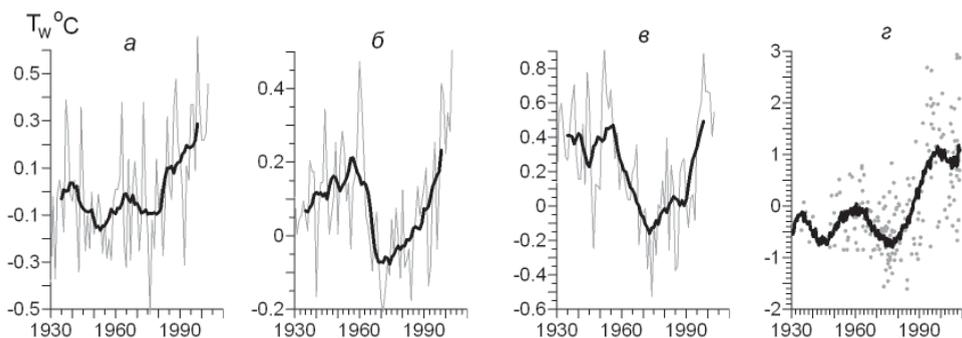


Рис. 8. Аномалии среднегодовой температуры воды на поверхности Северной Атлантики (слева направо:  $10^{\circ}$  ю.ш.– $10^{\circ}$  с.ш.,  $20^{\circ}$ – $40^{\circ}$  с.ш.,  $40^{\circ}$ – $60^{\circ}$  с.ш.) по данным массива HadSST [23] и нормированные аномалии максимальной температуры АВ во всех рассмотренных выше районах Арктического бассейна. Жирные линии – сглаженные по 11 лет, а для АВ аппроксимированные полиномом

Расчеты взаимных корреляций между исходными и сглаженными рядами показывают запаздывание изменений температуры на поверхности Северо-Европейского бассейна относительно тропиков 26 лет и 2–3 года относительно района  $20^{\circ}$ – $40^{\circ}$  с.ш. Начало потепления в Северной Атлантике приходится на 1970-е гг., в проливе Фрама – на начало 1980-х гг., а в Арктическом бассейне на начало 1990-х гг.

Наиболее значительные климатические изменения в морской Арктике произошли в основном за последние 15 лет, что не согласуется с представлением о постепенном развитии потепления начиная с 1970-х гг. Особенно это заметно в изменении площади морских льдов, которая сокращалась особенно быстро с конца 1990-х гг. Изменения в Арктическом бассейне стали заметными с конца 1980-х – начала 1990-х гг. В развитии потепления в атмосфере и океане выделяются два этапа – в начале 1990-х и в 2000-х гг., которым соответствуют такие же особенности в развитии потепления в области  $0^{\circ}$ – $30^{\circ}$  с.ш. Северного полушария. Согласованы и междесятилетние изменения температуры АВ в Арктическом бассейне и в Северной Атлантике от тропиков до умеренных широт.

Сравнение части отмеченных изменений с результатами расчетов по ансамблю глобальных моделей климата показало существенную недооценку моделями наблюдаемого летнего сокращения площади морских льдов и занижение летней температуры воздуха в Арктике. Причина этих расхождений связана, по-видимому, с недостаточной чувствительностью моделей к изменениям радиационного воздействия и с занижением собственной изменчивости климатической системы. Важная роль в формировании этой части изменчивости климата принадлежит циркуляции атмосферы и океана. Подтверждением является связь климатических аномалий в высоких и низких широтах и сильная обратная зависимость между аномалиями средней температуры воздуха и пространственными контрастами температуры в Северном полушарии [14]. Колебания атмосферной циркуляции усиливают или ослабляют обогрев холодных областей Земли. Важная роль в этом принадлежит океану, обеспечивающему расходование летнего притока тепла на зимний обогрев высоких и умеренных широт.

*Исследования проводились в рамках кластера проектов ААНИИ по программе МПГ 2007/08, целевой научно-технической программы Росгидромета на 2008–2010 гг. и при поддержке Росийского фонда фундаментальных исследований (проекты 06-05-64054, 07-05-13358 офи-ц, 09-05-00232).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А., Радионов В.Ф. Мониторинг климата приземной атмосферы северной полярной области // Тр. ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 18–32.
2. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А., Радионов В.Ф. Метеорологический режим Арктического бассейна (по данным дрейфующих станций). Т. II. Климат приледного слоя атмосферы Арктического бассейна. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 144 с.
3. Александров Е.И., Дементьев А.А. База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование // Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии. СПб.: Гидрометеоздат, 1995. С. 67–75.
4. Алексеев Г.В., Данилов А.И., Катцов В.М., Кузьмина С.И., Иванов Н.Е. Морские льды Северного полушария в связи с изменениями климата в XX и XXI веках по данным наблюдений и моделирования // Известия АН, сер. ФАО. 2009. Т. 45. № 6. С. 723–735.
5. Алексеев Г.В., Пнюшков А.В., Иванов Н.Е., Ашик И.М., Соколов В.Т. Комплексная оценка климатических изменений в морской Арктике с использованием данных МПГ 2007/08 // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 7–14.
6. Алексеев Г.В., Фролов И.Е., Соколов В.Т. Наблюдения в Арктике не подтверждают ослабление термохалинной циркуляции в Северной Атлантике // ДАН. 2007. Т. 413. № 2. С. 277–280.
7. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 214 с.
8. Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 212 с.
9. Лугина К.М., Сперанская Н.А. Изменчивость средней годовой приземной температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария // Тр. ГГИ. 1984. № 295. С. 87–97.
10. Радионов В.Ф., Александров Е.И., Брызгин Н.Н. Метеорологические условия в околополюсном районе Северного Ледовитого океана (по данным наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-32, 33, 34» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 50–63.
11. Радионов В.Ф., Александров Е.И., Арутюнов А.В. Метеорологические условия в период дрейфа станции «Северный полюс-32» // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С. 90–96.
12. Тимофеев В.Т. Водные массы Арктического бассейна. Л.: Гидрометеоздат, 1960. 190 с.
13. Трешников А.Ф., Баранов Г.И. Структура циркуляции вод в Арктическом бассейне. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 158 с.
14. Формирование и динамика современного климата Арктики / Под ред. проф. Г.В.Алексеева. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 265 с.
15. Фролов С.В., Федяков В.Е., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеев Г.В. Новые данные об изменении толщины льда в Арктическом бассейне // Доклады АН. 2009. Т. 425. № 1. С. 104–108.
16. Шутилин С.В., Макитас А.П., Алексеев Г.В. Модельные оценки ожидаемых изменений ледяного покрова СЛО при антропогенном потеплении в XXI веке // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2 (79). С. 101–110.
17. Aleksandrov Ye.I., Bryazgin N.N., Forland E.J., Radionov V.F., Svyashchennikov P.N. Seasonal, interannual and long-term variability of precipitation and snow depth in the region of the Barents and Kara seas // Polar Research. 2005. № 24 (1–2). P. 69–85.
18. Alekseev G.V., Kuzmina S.I., Nagurny A.P., Ivanov N.E. Arctic sea ice data sets in the context of the climate change during the 20th century // Climate variability and extremes during the past 100 years. Series: Advances in Global Change Research. 2007. Vol. 33. P. 47–63.
19. Alekseev G.V., Johannessen O.M., Korablev A.A., Proshutinsky A.Y. Ocean and sea ice // Arctic Environment Variability in the Context of the Global Change / Edited by L.P.Bobylev, K.Ya. Kondratyev and O.M.Johannessen. Springer-Praxis, 2003. P. 107–236.
20. Arctic Climatology Project. 2000. Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas/ Edited by F. Fetterer and V. Radionov. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. CD-ROM.
21. Climate of 2009. Annual Report. 15.01.10. National Climatic Data Center.
22. National Snow and Ice Data Center. 2003. Meteorological Data from the Russian Arctic, 1961–2000. V. Radionov, compiler. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media. URL: <http://nsidc.org/data/g02141.html> [дата посещения 29.01.10]

23. Rayner, N.A., Brohan P., Parker D.E., Folland C.K., Kennedy J.J., Vanicek M., Ansell T., Tett S.F.B. Improved analyses of changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 dataset // J. Climate. 2006. Vol. 19. P. 446–469.

G.V.ALEKSEEV, V.F.RADIONOV, E.I.ALEKSANDROV, N.E.IVANOV, N.E.KHARLANENKOVA

## **CLIMATE CHANGE IN THE ARCTIC AND THE NORTHERN POLAR REGION**

*It is analyzed the change of representative climatic parameters of the atmosphere, sea ice and ocean in the Arctic and the Northern polar region for the period of instrumental observation up to 2009. Data from IPY 2007/08 is used also. Arctic climate change is compared with change in other regions and with results from the global climate models.*

*Key words:* Climate Changes, Northern Polar Region, Arctic, Arctic Ocean, IPY 2007/08.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНЫХ КВ РАДИОВОЛН НА ВЫСОКОШИРОТНУЮ ИОНОСФЕРУ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*д-р физ.-мат. наук Н.Ф.БЛАГОВЕЩЕНСКАЯ*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, nataly@aari.ru*

*Представлены результаты комплексных экспериментов по воздействию мощных КВ радиоволн на высокоширотную ионосферу, выполненных специалистами ААНИИ в 2009 г. (эпоха минимума солнечной активности) с использованием технических средств Европейской научной ассоциацией EISCAT. Проведено исследование пространственной структуры искусственно возмущенной F-области ионосферы (ИВО). Детально изучены явления, происходящие в искусственно модифицированной F-области ионосферы, при нагреве на частотах вблизи частоты третьей гармоники гирочастоты электронов. Впервые обнаружено возбуждение интенсивных мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН) при нагреве F-области ионосферы мощной КВ радиоволной X-поляризации в условиях нагрева на критической частоте необыкновенной волны. В вечерние часы при непрерывном нагреве высокоширотной F-области ионосферы мощной КВ радиоволной O-поляризации обнаружено явление выноса ионов, сопровождавшееся сильным возрастанием температуры электронов и тепловым расширением плазмы в широком диапазоне высот от 180 до 500 км. Одновременное возрастание плотности ионов O+ было зарегистрировано на спутнике DMSP F15 на высоте порядка 850 км.*

*Ключевые слова:* высокоширотная ионосфера, мощная КВ радиоволна, модификация, искусственное радиоизлучение ионосферы, мелкомасштабные искусственные ионосферные неоднородности.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие резко возрос интерес к проблеме модификации высокоширотной ионосферы мощными КВ радиоволнами как в сугубо научном, так и прикладных аспектах. В значительной степени это вызвано завершением строительства супермощного КВ нагревного комплекса в Гаконе на Аляске, США (проект HAARP), на котором развернуты широкомасштабные научные и прикладные исследования явлений, инициированных взаимодействием мощных КВ радиоволн с высокоширотной ионосферной плазмой. В 2004 г. Великобритания построила на арх. Шпицберген КВ нагревного комплекс (SPEAR), который является единственным нагревным комплексом в мире, расположенным в полярной шапке. В сентябре 2009 г. завершена полная модернизация КВ нагревного комплекса в Аресибо (Пуэрто-Рико, США). Наиболее совершенными в техническом отношении (высокая эффективная мощность излучения, широкий диапазон частот нагрева, возможность излучения в различных режимах, включая непрерывное, импульсное и амплитудно-модулированное с частотой модуляции в ОНЧ-СНЧ диапазонах, автоматическое управление работой нагревного стенда, возможность сканирования диаграммы направленности и т.д.) являются супермощные нагревные комплексы HAARP на Аляске и EISCAT/Heating в Тромсё. Несомненным достоинством зарубежных КВ нагревных комплексов является их пространственное совмещение с

радары некогерентного рассеяния (НР) радиоволн. Использование радаров НР в нагревных экспериментах представляется исключительно важным при исследованиях эффектов модификации высокоширотной ионосферы.

Учитывая, что Россия не располагает аналогичными высокоэффективными техническими средствами в высоких широтах и вряд ли сможет их построить в обозримом будущем, в конце 2008 г. было заключено Соглашение между Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ) и Европейской научной ассоциацией EISCAT (European incoherent scatter – Европейские радары некогерентного рассеяния). В рамках этого Соглашения специалисты АНИИ получили право на проведение экспериментов с использованием всех технических средств Европейской Ассоциации EISCAT, не имеющих аналогов в России как по своим техническим параметрам, так и по географическому расположению (КВ нагревной комплекс EISCAT/HEATING в г. Тромсё, Норвегия и система высокоширотных радаров некогерентного рассеяния радиоволн в северной Скандинавии и арх. Шпицберген).

При воздействии мощным КВ радиоизлучением на ионосферную плазму наблюдается развитие широкого комплекса явлений. К основным из них следует отнести развитие в плазме параметрических (стрикционной и тепловой) неустойчивостей вблизи уровня отражения мощной КВ радиоволны обыкновенной поляризации (О-поляризация), вызывающих генерацию интенсивных плазменных колебаний, повышение температуры электронов, возбуждение мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей ( $l_{\perp} < 30$  м), искусственного радиоизлучения (ИРИ), ускорение электронов фоновой плазмы до сверхтепловых скоростей, что в свою очередь приводит к искусственному оптическому излучению из возмущенной области ионосферы и искусственной ионизации плазмы. Необходимо отметить, что модификация высокоширотной ионосферы мощными КВ радиоволнами, где в естественных условиях наблюдаются интенсивные горизонтальные (электроджет) и продольные токи, естественные неоднородности различных масштабов, потоки высыпаящихся частиц, неустойчивости в плазме и т. д., приводит к генерации новых явлений, принципиально невозможных в средних широтах. Следует иметь в виду, что эффективность воздействия мощных КВ радиоволн на ионосферу в существенной степени зависит от фоновых геофизических условий. Поэтому для исследования эффектов модификации высокоширотной ионосферы необходима диагностика фонового состояния ионосферы и магнитного поля Земли.

В данной статье представлены результаты комплексных экспериментов по воздействию мощных КВ радиоволн на высокоширотную ионосферу, выполненных специалистами АНИИ в 2009 г. с использованием технических средств Европейской научной ассоциации EISCAT. В рамках экспериментов решались следующие научные задачи:

- исследование пространственной структуры искусственно возмущенной области ионосферы (ИВО) при излучении мощной КВ радиоволны в магнитный зенит и в вертикальном направлении;

- комплексное изучение поведения и свойств мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН), искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) и параметров искусственно возмущенной ионосферной плазмы в F-области ионосферы (по данным радара некогерентного рассеяния в Тромсё) при нагреве ионосферы на частотах вблизи третьей гармоники гирочастоты электронов;

- возбуждение МИИН при нагреве ионосферной плазмы мощными КВ радиоволнами необыкновенной поляризации (X-мода);

- исследование возможности выноса потоков ионов из ионосферы в магнитосферу, инициированного воздействием мощных КВ радиоволн по данным ко-

ординированных наблюдений с помощью радара некогерентного рассеяния радиоволн и на спутнике DMSP;

– изучение электромагнитных и плазменных возмущений, индуцируемых во внешней ионосфере мощным КВ радиоизлучением комплекса EISCAT/HEATING, по данным наблюдений на спутнике DEMETER.

## **2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ, ИНИЦИИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ МОЩНЫХ КВ РАДИОВОЛН НА ВЫСОКОШИРОТНУЮ ИОНОСФЕРУ**

### **2.1. Описание экспериментов и методы исследований**

В 2009 г. было выполнено две серии экспериментов: с 3 по 12 марта и с 29 октября по 6 ноября. При проведении экспериментов модификация высокоширотной ионосферы осуществлялась с помощью КВ нагревного комплекса EISCAT/HEATING (69,6° с.ш., 19,2° в.д.,  $L = 6,2$ ,  $I = 78$ ). В период экспериментов эффективная мощность излучения составляла 190–210 МВт, частота нагрева изменялась от 3,9 до 4,9 МГц. В основном излучение мощной КВ радиоволны осуществлялось на О-моду поляризации циклами 2 мин нагрев/2 мин пауза, 4 мин нагрев/4 мин пауза, 5 мин нагрев/5 мин пауза, 10 мин нагрев/5 мин пауза, 10 мин нагрев/10 мин пауза. Нагрев ионосферы под пролеты спутников DMSP и DEMETER осуществлялся в режиме непрерывного излучения в течение 20–30 мин при использовании как О-, так и Х-моду поляризации (с модуляцией 1178 или 3 Гц). В большинстве экспериментов мощная КВ радиоволна излучалась в магнитный зенит (диаграмма направленности антенны нагревного комплекса была наклонена на 12 градусов от вертикали на юг). В высоких широтах при излучении в магнитный зенит наблюдаются наиболее сильные возмущения ионосферной плазмы [Благоващевская, 2001; Rietveld et al., 2003; Гуревич, 2007]. В ряде экспериментов проводилось излучение мощной КВ радиоволны вертикально вверх с целью сравнения эффектов воздействия мощных КВ радиоволн при вертикальном излучении и при излучении волны в магнитный зенит.

Эффективность исследований процессов модификации ионосферной плазмы мощными КВ радиоволнами определяется не только техническими характеристиками КВ нагревных комплексов, но и в значительной степени использованием разнообразных и высокоэффективных средств диагностики. В экспериментах, выполненных в марте и октябре–ноябре 2009 г., использовались следующие методы и средства для диагностики явлений, инициированных воздействием мощных КВ радиоволн на высокоширотную ионосферу:

– радар некогерентного рассеяния радиоволн (НР) на частоте 930 МГц вблизи Тромсё, обеспечивающий проведение измерений с разрешением по времени 5 с и разрешением по высоте 3 км;

– система КВ радаров CUTLASS (SUPERDARN) в Финляндии и Исландии;

– приемник и спектроанализатор для регистрации ИРИ (искусственного радиоизлучения ионосферы) в Тромсё;

– ионозонд в Тромсё, обеспечивающий получение ионограмм вертикального зондирования 1 раз в 4 минуты;

– средства дистанционной диагностики на обсерватории ААНИИ «Горьковская» под Санкт-Петербургом, включая многоканальный приемный КВ доплеровский комплекс для регистрации диагностических сигналов методом ракурсного рассеяния и приемный комплекс для контроля за излучением нагревного стенда в Тромсё.

На рис. 1 показана карта-схема, поясняющая геометрию расположения нагревного стенда EISCAT/HEATING, а также диагностических средств наблюдений, использованных в экспериментах.

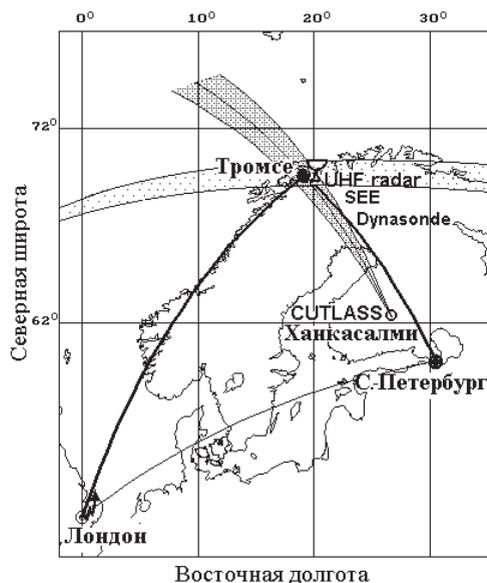


Рис. 1. Карта-схема, поясняющая геометрию расположения нагревного стенда EISCAT/HEATING, а также диагностических средств наблюдений, использованных в экспериментах

## 2.2. Пространственная структура искусственно возмущенной области ионосферы

Сведения о размере и пространственной структуре искусственно возмущенной области ионосферы (ИВО) являются чрезвычайно важными и необходимыми как для научных исследований, так и для планирования нагревных экспериментов в различных геофизических условиях. Горизонтальный размер ИВО приблизительно оценивается шириной главного лепестка диаграммы направленности антенной системы КВ нагревного комплекса и зависит от высоты расположения ИВО. Для КВ нагревного комплекса EISCAT/HEATING при применении фазированной антенной решетки № 2, использованной во всех экспериментах ААНИИ в 2009 г., и всех 12-ти передатчиков формируется апертура шириной порядка  $\sim 12\text{--}14^\circ$  в зависимости от частоты излучения мощной КВ радиоволны. В реальных условиях высокоширотной ионосферы размер ИВО существенно зависит от угла излучения мощной КВ радиоволны относительно направления магнитного поля Земли. В [Благовещенская, 2001; Rietveld et al., 2003] по данным радара некогерентного рассеяния (НР) в Тромсё исследовалась пространственная структура ИВО при различных углах излучения волны накачки (вертикальном,  $\Theta = 90^\circ$ , вдоль направления магнитного поля  $\Theta = 78^\circ$  и промежуточном между ними направлении  $\Theta = 84^\circ$ ) в эпоху максимума солнечной активности. При каждом из трех фиксированных углов излучения мощной КВ радиоволны с помощью радара НР осуществлялось последовательное сканирование искусственно возмущенной F-области ионосферы в направлениях  $84^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $78^\circ$ . Было установлено, что при любом направлении излучения волны накачки наиболее сильные возмущения температуры электронов  $T_e$  наблюдались в направлении магнитного поля в Тромсё. Зависимости возмущений электронных температур от направления излучения волны накачки дают представление о пространственном распределении возмущений в ИВО. В то время как вертикальный нагрев ионосферной плазмы приводит к равномерному повышению температур в пятне нагрева, накачка мощной КВ радиоволны вдоль направления магнитного поля приводит к фокусировке нагретой области. Пред-

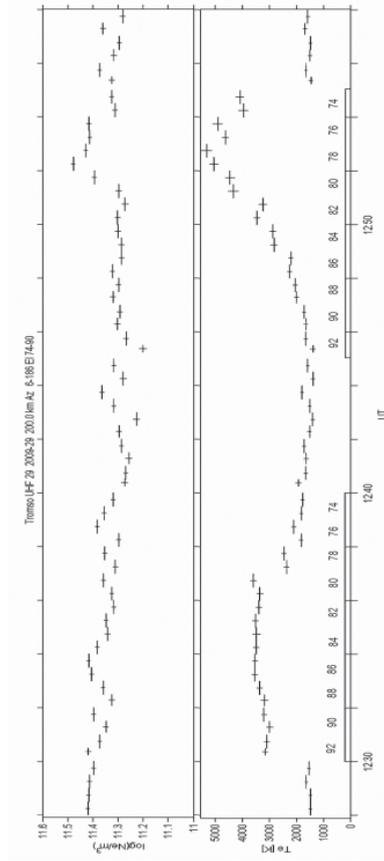


Рис. 2. Временные вариации логарифма электронной концентрации  $\log N_e$  и температуры электронов  $T_e$  на фиксированной высоте 200 км по данным измерений СВЧ радара 29 октября 2009 г. с 12.28 до 12.58 UT. Рисунок выполнен с помощью программных средств Европейской научной ассоциации EISCAT

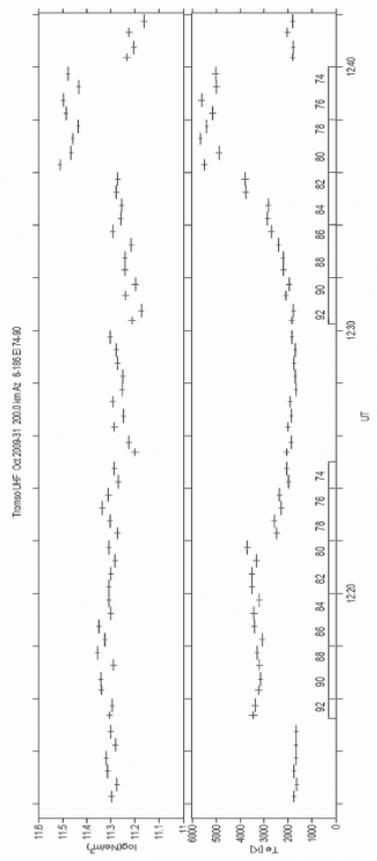


Рис. 3. Временные вариации логарифма электронной концентрации  $\log N_e$  и температуры электронов  $T_e$  на фиксированной высоте 200 км по данным измерений СВЧ радара 31 октября 2009 г. с 12.08 до 12.38 UT. Рисунок выполнен с помощью программных средств Европейской научной ассоциации EISCAT

ставляет несомненный интерес исследовать структуру ИВО при ее сканировании с помощью радара НР с шагом по углам возвышения не  $6^\circ$ , как это было сделано в [Благовещенская, 2001; Rietveld et al., 2003], а существенно меньшим, что позволит детально и с высокой точностью исследовать пространственную структуру искусственно возмущенной области ионосферы.

В октябре–ноябре 2009 г. в Тромсё специалисты ААНИИ выполнили серию экспериментов по сканированию ИВО радаром НР с шагом  $2^\circ$  по углам возвышения. Исследования тонкой структуры ИВО проводились как при нагреве вертикально вверх, так и при нагреве в магнитный зенит. Эксперименты по сканированию искусственно возмущенной области ионосферы выполнялись 29 и 31 октября, а также 5 ноября 2009 г. В этих экспериментах излучение мощной КВ радиоволны  $O$ -поляризации производилось на одной из частот нагрева (4912,8; 4544 или 4040 кГц) в вертикальном или в направлении магнитного зенита циклами 10 мин нагрев/5 мин пауза. Отношение частоты нагрева к критической частоте слоя F2 менялось в пределах  $f_H / foF2 \approx 0,9 - 1,0$ . Эффективная мощность излучения составляла 190–210 МВт. Для каждого из двух фиксированных углов излучения мощной КВ радиоволны с помощью радара НР в течение 10-минутного цикла нагрева осуществлялось последовательное сканирование искусственно возмущенной F-области ионосферы в направлениях  $92-90-88-86-84-82-80-78-76-74$  градусов. При каждом значении угла возвышения измерения проводились в течение 1 мин.

В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены данные измерений параметров ионосферной плазмы (электронной плотности  $N_e$  и температуры электронов  $T_e$ ) при сканировании ИВО в диапазоне углов от  $92$  до  $74^\circ$  с помощью радара НР 29 и 31 октября 2009 г. соответственно. Приведены данные, полученные на фиксированной высоте 200 км вблизи высоты отражения мощной КВ радиоволны от слоя F2. В анализируемый период времени 29 октября мощная КВ радиоволна излучалась на частоте 4912,8 кГц с 12.30 до 12.40 UT в вертикальном направлении ( $\Theta = 90^\circ$ ), а с 12.45 до 12.55 UT – в направлении магнитного поля (магнитный зенит,  $\Theta = 78^\circ$ ). 31 октября волна накачки на частоте 4544 кГц излучалась в вертикальном направлении ( $\Theta = 90^\circ$ ) с 12.15 до 12.25 UT, а затем в направлении магнитного зенита ( $\Theta = 78^\circ$ ) с 12.30 до 12.40 UT.

Анализ данных, приведенных на рис. 2 и 3, позволяет выделить следующие характерные особенности в распределении возмущений внутри ИВО при углах излучения мощной КВ радиоволны  $\Theta = 90^\circ$  и  $78^\circ$ . Во-первых, максимальные возмущения  $T_e$  существенно больше при нагреве в магнитный зенит ( $T_{e_{max}} = 5400 - 5700$  К) по сравнению с вертикальным нагревом ( $T_{e_{max}} = 3400 - 3600$  К) при одних и тех же фоновых значениях  $T_e$  в паузах между нагревными циклами порядка  $T_e \approx 1500 - 1800$  К. Из рис. 2 и 3 также следует, что при вертикальном нагреве ( $\Theta = 90^\circ$ ) максимальные возмущения температуры электронов  $T_e$  (см. нижнюю панель) равномерно распределены в широком диапазоне углов сканирования от  $92$  до  $80^\circ$ . Излучение мощной КВ радиоволны в направлении магнитного зенита ( $\Theta = 78^\circ$ ) приводит к фокусировке нагретой области относительно направления магнитного поля, и максимальные возмущения  $T_e$  сосредоточены в узком диапазоне углов сканирования от  $80$  до  $74^\circ$ . Рассмотрение поведения вариаций электронной плотности  $N_e$  по данным радара НР (см. верхнюю панель на рис. 2 и 3) показывает, что при излучении мощной КВ радиоволны в магнитный зенит ( $\Theta = 78^\circ$ ) в узком диапазоне углов от  $80$  до  $74^\circ$  отмечалось локальное возрастание электронной концентрации. В рассматриваемых условиях по данным измерений радаром НР в спектрах сигналов регистрировались усиленные нагревом ионные и плазменные линии (heater-enhanced ion and plasma lines), что является указанием на возбуждение сильной Лэнгмюровской турбулентности.

В области сильной Лэнгмюровской турбулентности вблизи уровня отражения мощной КВ радиоволны происходит ускорение электронов до энергий, способных вызвать повышение ионизации.

Анализ всего объема полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующее заключение о пространственной структуре искусственно возмущенной области ионосферы. При излучении волны накачки вертикально вверх ( $\Theta = 90^\circ$ ) максимальные возмущения температур электронов достигали значений  $Te_{max} = 3200 - 4000$  К (при фоновых значениях в паузах между нагревными циклами  $Te_0 \approx 1200 - 1800$  К). При этом максимальные возмущения  $Te$  равномерно распределены внутри области шириной порядка  $\sim 20-24^\circ$  с учетом симметричности диаграммы направленности антенны нагревного комплекса относительно направления  $\Theta = 90^\circ$ . Пространственный размер области с возмущениями температур электронов, превышающих фоновые значения на 50 % ( $Te/Te_0 = 1,5$ ), достигает больших размеров и составляет  $24-32^\circ$ . Таким образом, при вертикальном излучении волны накачки фактический пространственный размер ИВО по горизонтали существенно превышает размер области возмущения, определяемый шириной диаграммы направленности антенны ( $\sim 12-14^\circ$ ).

Совсем иная ситуация имеет место при излучении мощной КВ радиоволны в направлении магнитного зенита ( $\Theta = 78^\circ$ ). Здесь возмущения температур электронов достигали существенно более высоких значений  $Te_{max} = 4100 - 5800$  К (при тех же фоновых значениях  $Te_0 \approx 1200 - 1800$  К). Однако в этих условиях наблюдается сильная фокусировка ИВО, и максимальные возмущения  $Te$  сосредоточены в узкой области шириной  $\sim 6-8^\circ$ , центрированной относительно направления магнитного поля. Пространственный размер ИВО, в которой возмущения температур электронов на 50 % превышают фоновые значения ( $Te/Te_0 = 1,5$ ), достигает больших размеров и соизмерим с шириной диаграммы направленности антенны КВ нагревного комплекса EISCAT/HEATING в Тромсё ( $\sim 12-14^\circ$ ).

### **2.3. Явления в искусственно возмущенной F-области высокоширотной ионосферы при нагреве на частотах вблизи третьей гармоники гирочастоты электронов**

При определенных частотах мощной КВ радиоволны  $f_H$  в ионосфере могут быть реализованы одновременно два резонансных эффекта. Первый — это обычный резонанс между  $f_H$  и верхнегибридной (ВГ) частотой  $f_{UH}$ . Второй резонанс — это резонанс с частотой, кратной частоте гиромагнитного вращения электронов:  $f_H = n f_{ce}$ . Таким образом, двойной резонанс возникает в тех областях ионосферы, где выполняется условие  $f_H = n f_{ce} = f_{UH}$ . Вблизи двойного резонанса происходят очень сильные изменения всех явлений, возникающих в области ВГ-резонанса при воздействии мощной волны на ионосферу: подавление генерации верхнегибридной плазменной турбулентности и уменьшение интенсивности мелкокомасштабных ионосферных неоднородностей (МИИН), вплоть до их полного исчезновения, полная трансформация спектра искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ) и т.п. Это объясняется появлением так называемых бернштейновских мод, связанных с гиромагнитным вращением электронов вокруг направления магнитного поля. Общая ширина частотного диапазона, в котором происходят сильные искажения эффектов модификации, составляет около 2–3 % от частоты резонанса, т.е. 100–200 кГц [Гуревич, 2007]. Важно отметить сильную зависимость наблюдаемых явлений вблизи гирорезонанса от номера гирогармоники  $n$ . В ряде экспериментов для разных  $n$  могут наблюдаться различные эффекты относительно частоты гирогармоники электронов. В настоящее время отсутствуют систематические и комплексные исследования различных характеристик плазменной турбулентности в зависимости от отстройки по частоте  $\delta f$  относительно частоты гирорезонанса, выполненных при различных номерах гармоник.

Одной из научных задач экспериментов ААНИИ в марте 2009 г. на высокоширотном КВ нагревном комплексе в г. Тромсё являлось исследование явлений в искусственно модифицированной ионосферной плазме в области двойного резонанса, когда частота нагрева близка частоте третьей гармоники гирочастоты электронов,  $f_H = 3f_{ce} = f_{UH}$ . Изучение явлений вблизи двойного резонанса производилось по данным комплексных наблюдений на основе использования самых разнообразных современных средств диагностики, расположенных как непосредственно вблизи нагревного комплекса (радар некогерентного рассеяния радиоволн, специальный приемный комплекс для регистрации ИРИ, ионозонд), так и дистанционных средств наблюдений, включая систему КВ радаров CUTLASS и многоканальный КВ доплеровский комплекс вблизи Санкт-Петербурга в режиме ракурсного рассеяния. Для реализации поставленной задачи был выбран особый режим работы КВ нагревного комплекса EISCAT/HEATING, обеспечивающий ступенчатое изменение частоты нагрева на 5–10 кГц (в диапазоне частот от 3,9 до 4,2 МГц) в каждом 2-минутном цикле нагрева, что обеспечило получение детальной информации об явлениях в ионосферной плазме как вблизи гирорезонанса, так и в диапазоне частот выше ( $f_H > 3f_{ce}$ ) и ниже ( $f_H < 3f_{ce}$ ) частоты третьей гармоники гирорезонанса.

Дата	Время, UT	$f_H$ , кГц	$h_{refl}$ , км	foF2, кГц
6 марта 2009 г.	12.40–12.42	4100	185	4200
6 марта 2009 г.	14.12–14.28	4090–4050	200	4150
7 марта 2009 г.	13.12–13.14	4100	185	4500
9 марта 2009 г.	13.12–13.14	4100	185	4500
9 марта 2009 г.	15.00–15.02	4100	185	4050
10 марта 2009 г.	14.00–14.02	4100	185	4400
11 марта 2009 г.	16.20–16.30	4040	220	4070–3900

В таблице приведены времена прохождения частоты нагрева через третью гармонику гирорезонанса, значения частоты нагрева и высоты ее отражения от слоя F2 ионосферы, а также значения критических частот для различных дней экспериментов, выполненных в марте 2009 г. Времена прохождения частоты нагрева через гирорезонанс идентифицировались по исчезновению DM компоненты в спектре ИРИ (downshifted maximum [Leyser, 2001] – дополнительный максимум

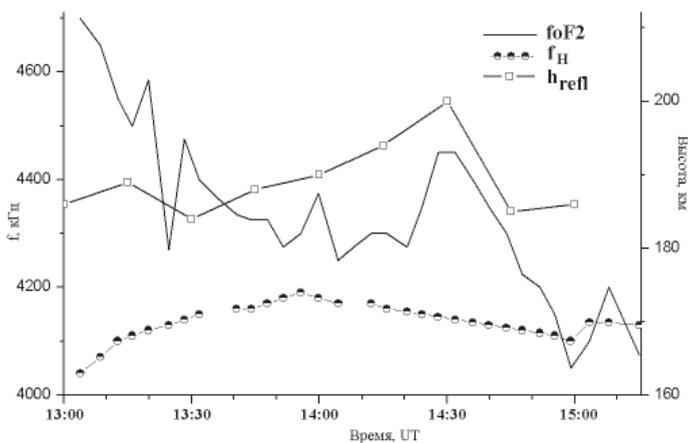


Рис. 4. Вариации во времени частоты нагрева ( $f_H$ ), высоты отражения мощной КВ радиоволны от ионосферы ( $h_{refl}$ ), а также критической частоты слоя F2 (foF2) в период проведения эксперимента по модификации ионосферы в Тромсё 9 марта 2009 г. с 13 до 15.15 UT

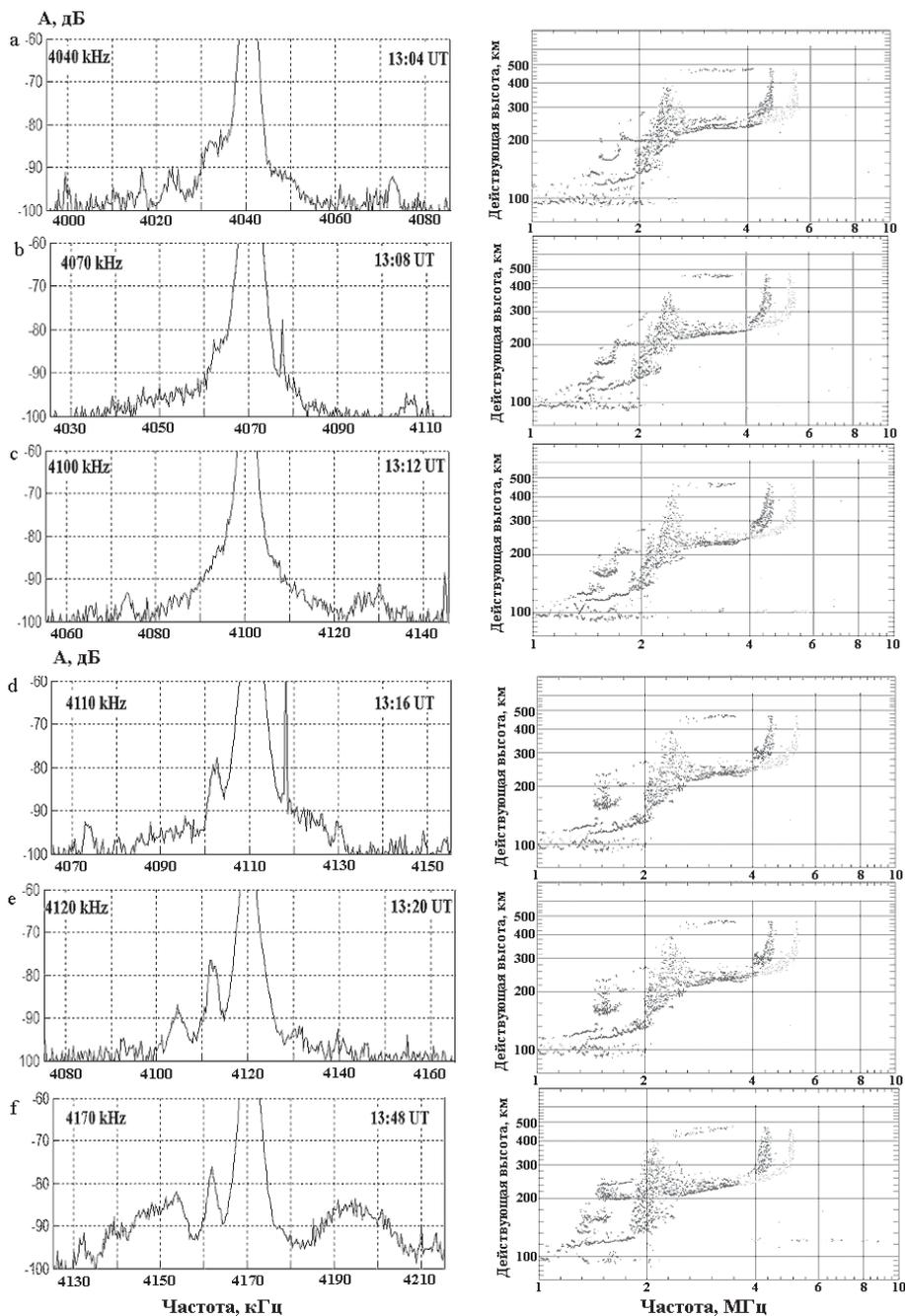


Рис. 6. Спектры искусственного радиоизлучения ионосферы (слева) и соответствующие им по времени ионограммы ВЗ (справа), измеренные в Тромсё 9 марта 2009 г., при ступенчатом изменении частоты нагрева в различные интервалы времени: *a* – 13.04 UT; *b* – 13.08 UT; *c* – 13.12 UT; *d* – 13.16 UT; *e* – 13.20 UT; *f* – 13.48 UT

в спектре ИРИ, сдвинутый вниз по частоте на величину 8–10 кГц относительно частоты нагрева) и ослаблению (или полному исчезновению) мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН).

В качестве типичного примера рассмотрим поведение параметров ионосферной плазмы при нагреве вблизи частоты третьей гармоники гирорезонанса 9 марта 2009 г. На рис. 4 показаны вариации частот нагрева, высоты отражения мощной КВ радиоволны от ионосферы, а также критической частоты слоя F2 в период проведения эксперимента 9 марта 2009 г. Рис. 5 цв. вклейки иллюстрирует данные системы радаров CUTLASS, а рис. 6 – спектры ИРИ для того же эксперимента 9 марта 2009 г.

Отметим, что для всех рассмотренных случаев явлений гирорезонанса на частотах нагрева, превышающих частоту третьей гармоники гирочастоты электронов ( $f_H > 3f_{ce}$ ) на 20–40 кГц, наблюдалось возбуждение 2DM компоненты в спектре ИРИ, сопровождаемое усилением МИИН. Интенсивность МИИН достигала максимума при возбуждении BSS компоненты (broad symmetrical structure [Leyser, 2001]) в спектре ИРИ. Возбуждение BSS компоненты отмечалось в диапазоне частот нагрева, превышающих частоту третьей гармоники гирочастоты электронов ( $f_H > 3f_{ce}$ ) на 50–70 кГц. Интересная особенность была обнаружена в поведении МИИН различных масштабов в окрестности гирорезонанса. В период эксперимента оба радара CUTLASS излучали на узконаправленную антенну, ориентированную на Тромсё в стерео-моду, обеспечивающей проведение измерений на трех частотах порядка 10, 13 и 17 МГц, что обеспечивало возможность контроля за МИИН с поперечными к магнитному полю масштабами  $l_{\perp} = 8–15$  м ( $l_{\perp} = \lambda/2$ , где  $\lambda$  – длина волны излучения радара). По данным измерений радара CUTLASS на трех частотах было обнаружено, что МИИН с поперечными масштабами более 10 м подавляются значительно сильнее, чем с более мелкими масштабами порядка 7 м. Другая особенность заключалась в поведении температуры электронов  $T_e$  вблизи гирорезонанса по данным радара некогерентного рассеяния радиоволн. Значения  $T_e$  не только не уменьшались, но в некоторых случаях даже увеличивались.

#### **2.4. Возбуждение МИИН при нагреве ионосферной плазмы мощными КВ радиоволнами необыкновенной поляризации (X-мода)**

Одним из основных явлений, обнаруженных в экспериментах по воздействию мощных КВ радиоволн на ионосферную плазму, является возбуждение мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей. Интенсивное мелкомасштабное расслоение ионосферной плазмы на сильно вытянутые вдоль магнитного поля неоднородности электронной концентрации было обнаружено уже в первых экспериментах по модификации ионосферы мощными КВ радиоволнами [Thome and Blood, 1974]. Пространственный масштаб МИИН составляет 3–20 м поперек магнитного поля и до 10 км вдоль магнитного поля. В течение трех последних десятилетий проводились интенсивные экспериментальные исследования МИИН на различных КВ нагревных комплексах, таких как «Сура», Аресибо, EISCAT/HEATING, HAARP, SPEAR, расположенных в средних и высоких широтах [см., например, Авдеев и др., 1994; Coster et al., 1985; Noble et al., 1987; Vlagoveshchenskaya et al., 1998; 1999; 2006a; 2009]. МИИН вызывают интенсивное рассеяние радиоволн, поэтому для их исследования широко используются методы, основанные на обратном и ракурсном рассеянии диагностических КВ и УКВ сигналов на МИИН. Механизм возбуждения МИИН объясняется в рамках теории тепловой параметрической (резонансной) неустойчивости [Грач и др., 1978; Васильков и Гуревич, 1975]. Следует иметь в виду, что возбуждение указанной неустойчивости в области верхнегибридного резонанса возможно только при отражении мощной КВ радиоволны обыкновенной поляризации (O-мода) от ионосферы. Это обусловлено тем, что область резонанса достигает только обыкновенная волна при вертикальном или близком

к нему распространению. Необыкновенная волна ( $X$ -мода) всегда отражается ниже резонанса, поэтому возбуждение МИИН в этом случае принципиально невозможно за счет тепловой (резонансной) неустойчивости.

В экспериментах, выполненных ААНИИ на нагревном комплексе EISCAT/HEATING в ноябре 2009 г., впервые было обнаружено возбуждение интенсивных МИИН при нагреве  $F$ -области ионосферы мощной КВ радиоволной с  $X$ -модой поляризации. Возбуждение МИИН наблюдалось в экспериментах 3, 4, 5 и 6 ноября 2009 г. по данным наблюдений как с помощью CUTLASS радара в Финляндии, так и методом ракурсного рассеяния на трассе Лондон – Тромсё – Санкт-Петербург.

На рис. 7 цв. вклейки приведены результаты наблюдений с помощью радара CUTLASS в Финляндии на частоте порядка 10 МГц в период нагревного эксперимента в г. Тромсё 6 ноября 2009 г. Данные приведены в координатах дальность (Range gate) – мировое время UT. Отметим, что дальность до Тромсё соответствует 18 «воротам». Как видно из рис. 7 цв. вклейки, сигналы, рассеянные на МИИН, начали регистрироваться с 12.15 UT. Нагрев ионосферы проводился на частоте 4040 кГц циклами 10 мин нагрев / 5 мин пауза. Мощная КВ радиоволна  $O$ -поляризации излучалась в магнитный зенит. В нагревном цикле 14.01 – 14.11 UT МИИН происходит существенное ослабление МИИН. В этот период критические частоты слоя  $F_2$  составляли порядка  $f_oF_2 \approx 3,5$  МГц, что существенно ниже частоты нагрева. В цикле нагрева 14.16 – 14.26 UT значения  $f_oF_2$  становятся еще ниже (около 3,3 МГц), и рассеянные на МИИН сигналы исчезают полностью. В следующем нагревном цикле 14.31 – 14.41 UT, когда значения  $f_oF_2$  составляли  $f_oF_2 \approx 3,2$  МГц, была изменена поляризация мощной КВ радиоволны с  $O$ -моды на  $X$ -моду. Изменение поляризации привело к возникновению очень интенсивных рассеянных на МИИН сигналов. Характерной особенностью этих МИИН является необычно большое время релаксации, достигающее 10 мин. Аналогичная ситуация наблюдалась и в экспериментах, выполненных 3, 4 и 5 ноября 2010 г.

На рис. 8 цв. вклейки приведены динамические доплеровские спектры диагностических сигналов на частоте порядка 15 МГц на трассе Лондон – Тромсё – Санкт-Петербург, а также сигналов КВ нагревного комплекса на частоте 3950 кГц, принятых в Санкт-Петербурге 5 ноября 2009 г. с 14.03 до 15.00 UT. В первых трех нагревных циклах излучалась мощная КВ радиоволна  $O$ -моды, а в цикле 14.50 – 15.00 UT излучение велось на  $X$ -моду поляризации. В этом эксперименте также наблюдалось постепенное уменьшение  $f_oF_2$  от 3,7 МГц в 14.00 UT до 3,2 МГц в 14.45 UT. Как видно из рис. 8 цв. вклейки, в нагревном цикле 14.50 – 15.00 UT регистрировались исключительно сильные рассеянные на МИИН сигналы при нагреве мощной КВ радиоволной  $X$ -поляризации. Анализ экспериментальных данных показал, что возбуждение интенсивных МИИН при нагреве на  $X$ -моду поляризации происходило, когда по данным ионозонда в Тромсё критические частоты обыкновенной волны имели значения порядка  $f_oF_2 \approx 3,2$ – $3,3$  МГц, что существенно ниже частоты нагрева. В то же время значения критической частоты обыкновенной волны составляли порядка  $f_xF_2 \approx 4,0$ – $4,1$  МГц, т.е. нагрев проводился на критической частоте обыкновенной волны,  $f_H \approx f_xF_2$ . Механизм возбуждения МИИН при нагреве на  $X$ -моду не ясен и требует дальнейшего серьезного изучения, как в экспериментальном, так и в теоретическом плане. Однако уже сейчас можно отметить, что возбуждение таких МИИН требует особых условий нагрева, а именно нагрева на частоте  $f_H \approx f_xF_2$ .

## 2.5. Вынос потоков ионов из высокоширотной ионосферы в магнитосферу

Вынос потоков ионов из ионосферы является важной проблемой ионосферно-магнитосферного взаимодействия, так как ионосфера является значимым источником магнитосферных ионов. Вынос ионов из ионосферы идентифицируется по

данным радаров некогерентного рассеяния (НР) как возрастание положительных значений ионных скоростей  $V_i$  в направлении, параллельном магнитному полю. Возрастание положительных значений  $V_i$  до значений, превышающих 100 м/с на высотах выше 300 км, свидетельствует о выносе потоков ионов из высокоширотной F-области ионосферы в магнитосферу. В зависимости от характеристик и условий возникновения ионные потоки из высокоширотной F-области ионосферы естественного происхождения классифицируются на два типа [Wahlund et al., 1992]. Первый тип характеризуется сильными, поперечными к магнитному полю электрическими полями, повышенными значениями температур ионов вследствие Джоулева разогрева, отсутствием (либо незначительным) высыпанием электронов и может быть объяснен в терминах теплового расширения плазмы. Второй тип ионных потоков наблюдается над дугами полярных сияний, характеризуется существенно повышенными значениями температуры электронов и может быть связан с усилением параллельного (магнитному полю) электрического поля. По данным исследований явления выноса ионов из авроральной ионосферы с помощью радара некогерентного рассеяния (НР) в Тромсё [Wahlund et al., 1992] было установлено, что механизмы ускорения, ответственные за вынос ионов, главным образом реализуются в возмущенных авроральных условиях.

Явление выноса потоков ионов из ионосферы, инициированное воздействием мощных КВ радиоволн на высокоширотную F-область ионосферы, впервые было обнаружено в нагревных экспериментах в Тромсё, выполненных в эпоху солнечной активности, близкой к максимуму [Благовещенская, 2001; Rietveld et al., 2003; Blagoveshchenskaya et al., 2006b; Blagoveshchenskaya et al., 2005]. Обнаруженные ионные потоки, распространяющиеся из ионосферы с высот порядка 350 км параллельно магнитному полю Земли, наблюдались как при спокойных, так и сильно возмущенных магнитных условиях и обладали характеристиками как первого, так и второго типа ионных потоков естественного происхождения.

Результаты наблюдений с помощью радара НР в период экспериментов, выполненных ААНИИ в марте 2009 г., позволили обнаружить явление выноса потока ионов из ионосферы, инициированное воздействием мощных КВ радиоволн на высокоширотную ионосферу, в эпоху глубокого минимума солнечной активности. Вынос потоков ионов из F-области высокоширотной ионосферы наблюдался 11 и 12 марта 2009 г. На рис. 9 цв. вклейки представлены данные радара НР в период проведения нагревного эксперимента 11 марта 2009 г. В этом эксперименте излучение мощной КВ радиоволны O-поляризации производилось на частоте 4040 кГц в направлении магнитного зенита циклами, в основном 10 мин нагрев/10 мин пауза. Эффективная мощность излучения составляла 190 МВт. Результаты эксперимента, выполненного при абсолютно спокойных фоновых геофизических условиях, свидетельствуют, что вынос ионов (возрастание положительных значений  $V_i$ , см. четвертую панель сверху на рис. 9 цв. вклейки) происходил с 14 до 17 UT и сопровождался экстремально сильным возрастанием температуры электронов (200–300 %) и тепловым расширением плазмы в широком диапазоне высот от 180 до 500 км (см. вторую панель сверху на рис. 9 цв. вклейки). Наиболее интенсивный вынос ионов происходил при нагреве на частотах вблизи критической частоты слоя F2,  $f_H \approx foF2$ . Такие условия были реализованы 11 марта 2009 г. в нагревном цикле 16.20 – 16.30 UT. По экспериментальным данным было также установлено, что вынос ионов возможен при нагреве на частотах, превышающих  $foF2$  на величину до 0,5 МГц, что наблюдалось 11 марта в цикле 16.40 – 16.50 UT.

11 марта 2009 г. с 15.20 до 15.40 UT был выполнен эксперимент DMSP – Тромсё. Минимальное расстояние между орбитой ИСЗ и осью возмущенной маг-

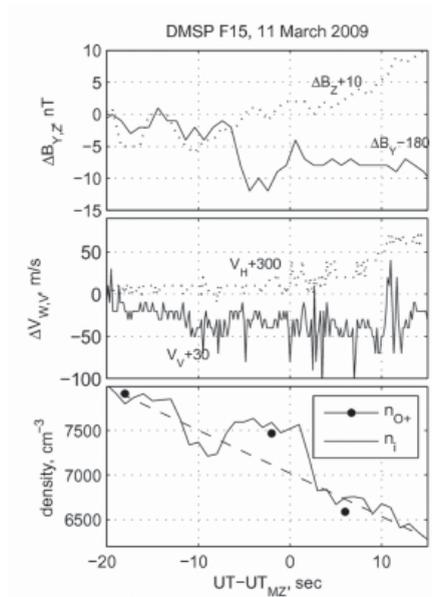


Рис. 10. Результаты измерений на спутнике DMSP F15 на высоте 870 км при пролете над Тромсё 11 марта 2009 г. в 15.26.30 UT в период эксперимента на КВ нагревном поле комплексе EISCAT/HEATING. На рисунке показаны вариации возмущений в магнитном поле ( $B$ ), скорости ( $V$ ) и плотности ионов (density). Нулевое время относится к моменту максимального приближения спутника к центру искусственно возмущенной области ионосферы

нитной трубки составляло 42 км в  $T_0 = 15.26.30$  UT. В период эксперимента проводились измерения с помощью радара HP, системы радаров CUTLASS, а также регистрация искусственного радиоизлучения ионосферы в Тромсё (см. геометрию наземных наблюдений на рис. 1).

Результаты наблюдений с помощью радара HP в период пролета американского спутника DMSP F15 над Тромсё позволили идентифицировать явление выноса потока ионов (на этих высотах преобладают ионы  $O^+$ ), инициированного воздействием мощных КВ радиоволн, сопровождавшегося экстремально сильным возрастанием температуры электронов и тепловым расширением плазмы в широком диапазоне высот от 180 до 500 км. На рис. 10 показаны результаты измерений на спутнике DMSP F15 на высоте 870 км при пролете над Тромсё в период эксперимента 11 марта 2009 г., которые убедительно свидетельствуют о повышении плотности ионов  $O^+$  в период нагрева ионосферы (см. нижнюю панель на рис. 10).

Суммируя результаты измерений, полученные на спутнике DMSP F15 в период проведения нагревного эксперимента на комплексе в Тромсё в вечерние часы 11 марта 2009 г., можно сделать следующее заключение. На спутнике DMSP F15 уверенно зарегистрировано возрастание плотности ионов  $O^+$ . Одновременные измерения с помощью радара HP в Тромсё свидетельствуют о выносе потока ионов, инициированном воздействием мощных КВ радиоволн, из высокоширотной F-области ионосферы в магнитосферу. На этих высотах преобладают ионы  $O^+$ . Отметим, что вынос ионов сопровождался экстремально сильным возрастанием температуры электронов и тепловым расширением плазмы в широком диапазоне высот от 180 до 500 км. Вынос потоков ионов, регистрируемый с помощью радара некогерентного рассеяния в Тромсё, и возрастание плотности ионов  $O^+$  по данным измерений на спутнике DMSP F15 наблюдались в вечерние часы при непре-

рывном нагреве F-области ионосферы мощной КВ радиоволной O-поляризации при абсолютно спокойных фоновых геофизических условиях.

## **2.6. Электромагнитные возмущения, индуцируемые во внешней ионосфере Земли мощным КВ радиоизлучением высокоширотного нагревного комплекса EISCAT/HEATING**

Изучение процессов ионосферно-магнитосферного взаимодействия и возможностей воздействия на них с помощью существующих КВ нагревных комплексов является важной задачей как для научных, так и прикладных исследований. Высокоширотная ионосфера наиболее тесным образом связана с магнитосферой, отражая протекающие в ней процессы. Поэтому проводимые исследования явлений, связанных с высыпаниями энергичных частиц, существованием интенсивных электрических полей и токов магнитосферного происхождения, авроральными суббурами и др., вызывают повышенный научный и практический интерес [Благовещенская, 2001]. Особый интерес вызывает возможность активного волнового воздействия на указанные процессы. Механизм такого воздействия связан либо с формированием во внешней ионосфере искусственных волновых каналов (дактов плотности плазмы), либо с усилением естественных каналов, либо с образованием локальных токовых систем при воздействии мощным КВ радиоизлучением, либо с инжекцией искусственно генерируемых КНЧ излучений во внешнюю ионосферу и магнитосферу Земли, которые способны взаимодействовать с энергичными частицами ее радиационных поясов [Fejer et al., 1991].

Ниже представлены результаты экспериментальных исследований характеристик плазменной турбулентности, возбуждаемой на высоте 660 км излучением высокоширотного нагревного стенда EISCAT (Тромсё). Характеристики искусственных плазменных возмущений измерялись с помощью бортовой аппаратуры французского микро ИСЗ DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions). Высокая оснащенность спутника чувствительной аппаратурой позволяет решать многочисленные задачи, связанные с изучением процессов ионосферно-магнитосферного взаимодействия и механизмов распространения плазменных возмущений различной природы вдоль силовых линий геомагнитного поля. Важно отметить, что измерения на ИСЗ DEMETER выполнялись в режиме Burst mode, когда они проводятся при наиболее полном использовании имеющихся средств диагностики, а регистрирующая аппаратура работает с максимальной скоростью оцифровки данных.

Рассмотрим результаты эксперимента 3 марта 2009 г. по модификации высокоширотной E-области ионосферы. Мощная модулированная КВ радиоволна необыкновенной поляризации (X-мода) излучалась в направлении магнитного зенита на частоте 4040 кГц с эффективной мощностью излучения ~ 190 МВт. Частота модуляции составляла 1178 Гц; глубина модуляции – 100 %. Время излучения мощной модулированной волны было согласовано по времени с пролетом ИСЗ DEMETER через магнитную силовую трубку, опирающуюся на возмущенную область ионосферы. При проведении эксперимента 3 марта 2009 г. мощная волна излучалась с 18.59 до 19.21 UT. Минимальное расстояние между орбитой ИСЗ и осью возмущенной магнитной трубки составляло 2 км в  $T_0 = 19.17$  UT. Нагрев начался за 18 мин до времени  $T_0$ . ИСЗ двигался с юга на север.

Анализ геофизической обстановки показал, что эксперимент проводился при очень низкой солнечной активности – относительное число солнечных пятен (число Вольфа) составляло  $W = 0$ . Магнитное поле Земли было слабо возмущенным. Планетарный индекс геомагнитной активности  $Kp$  имел значение  $Kp = 3^-$ . По данным AE, AU и AL индексов усиление авроральной активности наблюдалось с 15 до 23 UT. В этот период регистрировалась серия авроральных суббурь

небольшой и средней интенсивности. Период максимального сближения орбиты ИСЗ с осью возмущенной магнитной трубки совпадал по времени с максимумом авроральной суббури небольшой интенсивности (порядка 250 нТ), которая началась около 18 UT и закончилась в 20 UT.

Характерной особенностью состояния ионосферы в этот период, по данным вертикального зондирования в Тромсё, явилось наличие очень интенсивного диффузного спорадического E-слоя с кратными отражениями. Критические частоты E-слоя лежали в диапазоне от 3,6 до 5,6 МГц. На рис. 11 цв. вклейки показаны ионограммы вертикального зондирования ионосферы, полученные в Тромсё в период эксперимента 3 марта 2009 г. в 19.12 и 19.18 UT.

Рис. 12 цв. вклейки демонстрирует спектрограмму интенсивности поперечной к направлению геомагнитного поля компоненты электрического поля  $E_x(t)$ , зарегистрированную детектором электрического поля (ICE) ИСЗ DEMETER. КНЧ излучение на частоте модуляции мощной КВ радиоволны 1178 Гц уверенно обнаруживается с ~19.16.42 до ~19.17.30 UT, т.е. на протяжении ~330 км вдоль орбиты ИСЗ. Область его наиболее высокой интенсивности соответствует интервалу времени 19.16.45 – 19.17.10 UT, что приблизительно симметрично относительно центра возмущенной магнитной трубки. Максимальная интенсивность КНЧ излучения на частоте 1178 Гц регистрировалась в ~19.16.45 UT (т.е. за 15 с до прохождения ИСЗ центра трубки или в ~100 км к югу от него). На интервале времени 19.16.48 – 19.16.58 UT наблюдалось также увеличение интенсивности шумов в диапазоне ~800–1200 Гц, хотя нельзя исключать, что оно носило естественный характер. Таким образом, под действием модулированного излучения мощной КВ радиоволны возникла модуляция ионосферной проводимости в облучаемой области аврорального электроджета на частоте модуляции. Как следствие этого появлялся нелинейный переменный ток, который являлся искусственным ионосферным источником низкочастотного радиоизлучения. Из представленной на рис. 12 цв. вклейки спектрограммы хорошо видно появление искусственного КНЧ радиоизлучения.

Суммируя результаты измерений, полученные на спутнике DEMETER в период проведения нагревного эксперимента на комплексе в Тромсё 3 марта 2009 г., можно сделать следующее заключение. Регистрация на спутнике DEMETER излучения на частоте модуляции мощной КВ радиоволны (1178 Гц), генерирующегося в результате ее демодуляции в ионосфере (эффект Гетманцева), является неоспоримым экспериментальным фактом. Излучение регистрировалось в вечерние часы во время авроральной суббури небольшой интенсивности, когда в ионосфере над Тромсё наблюдался интенсивный диффузный спорадический E-слой. Выполненные измерения позволили четко определить границы возможной области детектирования модулированной мощной КВ радиоволны на высоте орбиты ИСЗ, что, вместе с ранее полученными в Тромсё экспериментальными данными, дает необходимый экспериментальный материал для развития модели генерации КНЧ излучения и его распространения во внешнюю ионосферу и магнитосферу Земли.

## 2.7. Заключение

По данным комплексных экспериментов по модификации высокоширотной ионосферы мощным КВ радиоизлучением, выполненных специалистами ААНИИ в марте и октябре–ноябре 2009 г. (эпоха минимума солнечной активности) с использованием технических средств Европейской научной ассоциации EISCAT, получены следующие основные результаты.

Исследована пространственная структура искусственно возмущенной области ионосферы. Показано, что размеры ИВО существенно зависят от угла излучения мощной КВ радиоволны относительно направления магнитного поля Земли.

При излучении волны накачки вертикально вверх ( $\Theta = 90^\circ$ ) максимальные возмущения температур электронов ( $Te_{max} = 3200\text{--}4000$  К) равномерно распределены внутри области шириной порядка  $\sim 20\text{--}24^\circ$ , что существенно превышает размер области возмущения, определяемый шириной диаграммы направленности антенны ( $\sim 12\text{--}14^\circ$ ). При излучении мощной КВ радиоволны в направлении магнитного зенита ( $\Theta = 78^\circ$ ) возмущения температур электронов достигли существенно более высоких значений ( $Te_{max} = 4100\text{--}5800$  К). Однако в этих условиях наблюдается сильная фокусировка ИВО, и максимальные возмущения  $Te$  сосредоточены в узкой области шириной  $\sim 6\text{--}8^\circ$ , центрированной относительно направления магнитного поля.

Рассмотрены явления, происходящие в искусственно модифицированной F-области ионосферы при нагреве на частотах вблизи частоты третьей гармоники гирочастоты электронов ( $f_H = 3f_{ce} = f_{UH}$ ). По данным комплексных измерений установлено: (1) мелкомасштабные искусственные ионосферные неоднородности с более крупными поперечными масштабами ( $l_\perp > 10$  м), подавляются в гирорезонансе значительно сильнее, чем с более мелкими масштабами ( $l_\perp < 10$  м); (2) вблизи гирорезонанса температура электронов  $Te$  увеличивалась; (3) на частотах нагрева, превышающих частоту третьей гармоники гирочастоты электронов ( $f_H > 3f_{ce}$ ) на 20–40 кГц, отмечается возбуждение 2DM компоненты в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы, сопровождаемое усилением МИИН; (4) в диапазоне частот нагрева, превышающих частоту третьей гармоники гирочастоты электронов ( $f_H > 3f_{ce}$ ) на 50–70 кГц, отмечается генерация BSS-компоненты в спектре ИРИ, а интенсивность МИИН достигает максимума.

Впервые обнаружено возбуждение интенсивных МИИН при нагреве F-области ионосферы мощной КВ радиоволной X-поляризации при нагреве на критической частоте необыкновенной волны,  $f_H \approx f_{XF2}$ . Механизм возбуждения МИИН при нагреве на X-моде не ясен и требует серьезного изучения, как в экспериментальном, так и в теоретическом плане.

В период проведения нагревного эксперимента 11 марта 2009 г. в Тромсё на спутнике DMSF F15 на высоте порядка 850 км уверенно зарегистрировано возрастание плотности ионов  $O^+$ . Одновременные измерения с помощью радара некогерентного рассеяния радиоволн в Тромсё свидетельствуют об интенсивном выносе потока ионов из высокоширотной F-области ионосферы в магнитосферу, инициированном воздействием мощных КВ радиоволн. Отметим, что вынос ионов сопровождался экстремально сильным возрастанием температуры электронов и тепловым расширением плазмы в широком диапазоне высот от 180 до 500 км.

На спутнике DEMETER в период проведения нагревного эксперимента в Тромсё 3 марта 2009 г. зарегистрировано КНЧ излучение на частоте модуляции (1178 Гц) мощной КВ радиоволны X-поляризации. КНЧ излучение регистрировалось на протяжении 330 км вдоль орбиты ИСЗ. Характерной особенностью состояния ионосферы в этот период по данным вертикального зондирования в Тромсё явилось наличие очень интенсивного диффузного спорадического E-слоя с кратными отражениями.

### 3. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты выполненных экспериментов по воздействию на ионосферу мощными КВ нагревными комплексами убедительно свидетельствуют об эффективной модификации высокоширотной ионосферы, регулярности и повторяемости наблюдаемых эффектов. К их числу относятся: экстремально сильное возрастание (200–300 %) температуры электронов в широком диапазоне высот от 180 до 500 км, генерация искусственных мелкомасштабных ионосферных неоднородностей, появление различных спектральных компонент в спектре нагревного сигнала (искусственное радиоизлучение ионосферы), искусственная генерация выноса потоков ионов из ионосферы

в магнитосферу, генерация низкочастотного излучения на частоте модуляции мощной КВ радиоволны. Вместе с тем необходимо отметить, что исследования в 2009 г. выполнялись на фоне глубокого минимума солнечной активности. Магнитное поле Земли в этот период времени также было исключительно спокойным. В связи с изложенным представляется крайне необходимым продолжить исследования эффектов модификации высокоширотной ионосферы с использованием КВ нагревного комплекса EISCAT/HEATING и радаров некогерентного рассеяния радиоволн в условиях средней и высокой солнечной активности, а также в периоды магнитных возмущений.

Основное внимание в будущих исследованиях должно быть уделено решению следующих задач:

- детально исследовать эффекты воздействия мощных КВ радиоволн на F-область высокоширотной ионосферы в режиме «супернагрева» (эффективная мощность излучения более 1 ГВт);

- выполнить анализ поведения параметров искусственно возмущенной ионосферной плазмы в зависимости от эффективной мощности излучения КВ нагревного комплекса (эффекты насыщения и гистерезиса);

- продолжить исследования эффектов модификации при нагреве ионосферы мощной КВ радиоволной необыкновенной поляризации (X-мода);

- проанализировать эффекты воздействия мощных КВ радиоволн при нагреве на частоте вблизи четвертой гармоники гирочастоты электронов;

- детально исследовать эффекты воздействия мощных КВ радиоволн на авроральный спорадический E-слой;

- исследовать возможность модификации процессов ионосферно-магнитосферного взаимодействия вследствие контролируемой инъекции мощных КВ радиоволн в ночную авроральную ионосферу;

- продолжить исследования по искусственной генерации низкочастотных излучений в КНЧ – СНЧ диапазонах из искусственно возмущенной области ионосферы.

Авторы выражают благодарность:

- сотрудникам Европейской научной ассоциации EISCAT и д-ру М.Ритвельду за помощь в проведении экспериментов в г. Тромсё (Норвегия), проф. Т.Йоману (Лейстерский университет, Англия) за обеспечение работы и предоставление данных радаров CUTLASS (SuperDARN), д-ру М.Парро за обеспечение режима «burst mode» ИСЗ DEMETER при его пролетах над искусственно возмущенной областью ионосферы над Тромсё, д-ру физ.-мат. наук В.Фролову за обработку и анализ данных спутника DEMETER, д-ру физ.-мат. наук Е.Мишину за обработку и анализ данных спутника DMSP F15;

- сотрудникам отдела геофизики ААНИИ Т.Борисовой, В.Корниенко, А.Калишину, М.Бердниковой, А.Янжуре, И.Москвину, И.Егорову, Д.Рогову за проведение экспериментов на НИС «Горьковская» и обработку полученных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Авдеев В.Б., Белый В.С., Беленов А.Ф., Галушко В.Г., Ерухимов Л.М., Синицин В.Г., Ямпольский Ю.М.* Обзор результатов по рассеянию КВ сигналов на искусственной плазменной турбулентности, полученных при использовании УТР-2 радиотелескопа // Известия вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37. С. 479–492.

*Благовещенская Н.Ф.* Геофизические эффекты активных воздействий в околоземном космическом пространстве. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 287 с.

*Васьков В.В., Гуревич А.В.* Нелинейная резонансная неустойчивость плазмы в поле обыкновенной электромагнитной волны // ЖЭТФ. 1975. Т. 69. С. 176–188.

- Грач С.М., Караушин А.Н., Митяков Н.А., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю. Тепловая параметрическая неустойчивость в неоднородной плазме (нелинейная теория) // Физ. плазмы. 1978. Т. 4. С. 1330–1340.
- Гуревич А.В. Нелинейные явления в ионосфере // УФН. 2007. Т. 177 (11). С. 1145–1177.
- Blagoveshchenskaya N.F., Borisova T. D., Kornienko V.A., Leyser T.B., Rietveld M.T., Thide B. Artificial field-aligned irregularities in nightside auroral ionosphere // Adv. Space Res. 2006a. Vol. 38. P. 2503–2510.
- Blagoveshchenskaya N.F., Borisova T.D., Kornienko V.A., Kalishin A.S., Robinson T.R., Yeoman T.K., Wright D.M., Baddeley L.J. SPEAR-induced field-aligned irregularities observed from bi-static HF radio scattering in the polar ionosphere // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2009. Vol. 71. P. 11–20.
- Blagoveshchenskaya N. F., Borisova T.D., Kornienko V.A., Thid B., Rietveld M.T., Kosch M.J., Bsinger T. Phenomena in the ionosphere-magnetosphere system induced by injection of powerful HF radio waves into night-side auroral ionosphere // Ann. Geophys. 2005. Vol. 23(1). P. 87–100.
- Blagoveshchenskaya N.F., Kornienko V.A., Petlenko A.V., Brekke A., Rietveld M.T. Geophysical phenomena during an ionospheric modification experiment at Troms // Ann. Geophys. 1998. Vol.16. P. 1212–1225.
- Blagoveshchenskaya N.F., Kornienko V.A., Brekke A., Rietveld M.T., Kosch M J., Borisova T.D., Krylov M.V. Phenomena observed by HF long-distance tools in the HF modified auroral ionosphere during magnetospheric substorm // Rad. Sci. 1999. Vol. 34. P. 715–724.
- Blagoveshchenskaya N. F., Kornienko V.A., Borisova T.D., Rietveld M.T., Bsinger T., Thid B., Leyser T.B., Brekke A. Heater-induced phenomena in a coupled ionosphere-magnetosphere system // Adv. Space Res. 2006b. Vol. 38. P. 2495–2502.
- Coster A.J., Djuth F.T., Jost R.J., Gordon W.E. The temporal evolution of 3-m striations in the modified ionosphere // J. Geophys. Res. 1985. Vol. 90. P. 2807–2818.
- Fejer J.A., Sulzer M.P., Djuth F.T. Height dependence of the observed spectrum of radar backscatter from HF-induced ionospheric Langmuir turbulence // J. Geophys. Res. 1991. Vol. A96. P. 15985–15994.
- Leyser T.B. Simulated Electromagnetic Emissions by High-Frequency Electromagnetic Pumping of the Ionospheric Plasma // Space Sci. Rev. 2001. Vol. 98 (3–4). P. 223–328.
- Noble S.T., Djuth F.T., Jost R.J., Gordon W.E., Hedberg A., Thid B., Derblom H., Boström R., Nielsen E., Stubbe P., Kopka H. Multiple frequency radar observations of high-latitude E region irregularities in the HF modified ionosphere // J. Geophys. Res. 1987. Vol. 92. P. 13613–13627.
- Rietveld M.T., Kosch M.J., Blagoveshchenskaya N.F., Kornienko V.A., Lyser T.B., Yeoman T.K. Ionospheric electron heating, optical emissions, and striations induced by powerful HF radio waves at high latitudes: Aspect angle dependence // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108 (A4), 1141, doi:10.1029/2002JAA009543.
- Thome G.D., Blood D.W. First observation of RF backscatter from field-aligned irregularities produced by ionospheric heating // Rad. Sci. 1974. Vol. 9. P. 917–929.
- Wahlund J.-E., Opgenoorth H.J., Hggström I., Winsle K.J., Jone G.O.L. EISCAT observations of topside ionospheric ion outflows during auroral activity: revisited. // J. Geophys. Res. 1992. Vol. A97. P. 3019–3037.

*N.F.BLAGOVESHCHENSKAYA*

## **MULTI-INSTRUMENTAL STUDIES OF PHENOMENA IN THE HIGH LATITUDINAL IONOSPHERE INITIATED BY POWERFUL HF RADIO WAVES: RESULTS AND OUTLOOK**

*Results from multi-instrument HF modification experiments carried out by AARI scientists in 2009 during solar activity minimum with using EISCAT technical facilities are presented. The spatial structure*

*of artificially modified ionospheric F region was investigated. Phenomena in the F region of ionosphere, when the HF heater frequency was near the third electron gyro harmonic frequency, were examined in detail. The excitation of intense small-scale artificial field-aligned irregularities, when the powerful HF radio wave with X-mode polarization was injected into F region of ionosphere at frequency near the extraordinary critical frequency, was found for the first time. The HF heater-induced ion outflows accompanied by strong increase of electron temperature and plasma thermal expansion in a wide altitude range from 180 to 500 km, were found under continuous action of powerful HF radio wave with O-mode of polarization in evening hours. The simultaneous increase of O<sup>+</sup> ion density was detected from the DMSP F15 satellite observations at altitude of about 850 km.*

*Keywords:* high latitudinal ionosphere, powerful HF radio wave, modification, stimulated electromagnetic emission, artificial small-scale ionospheric irregularities.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АРКТИКИ В XXI ВЕКЕ

канд. геогр. наук И.М.АШИК, канд. геогр. наук С.А.КИРИЛЛОВ,  
д-р геогр. наук А.П.МАКШТАС, д-р физ.-мат. наук В.Н.СМИРНОВ,  
рук. ВАЭ В.Т.СОКОЛОВ, д-р физ.-мат. наук Л.А.ТИМОХОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, ashik@aari.ru

*В статье приведена краткая информация о морских экспедиционных исследованиях, проводившихся ААНИИ в период МПГ 2007/08, даны основные результаты анализа водных масс и диагностики состояния вод Северного Ледовитого океана в начале XXI века, высказаны предположения о причинах формирования аномальной структуры водных масс. Также приведены краткие сведения об исследованиях физики ледяного покрова, атмосферы и теплового баланса на основе наблюдений на дрейфующих станциях СП, рассмотрены основные результаты этих исследований.*

**Ключевые слова:** Международный полярный год, Северный Ледовитый океан, морская экспедиция, термохалинные условия, температура воды, соленость воды, водные массы, физика льда, динамические процессы в ледяном покрове, физика атмосферы, тепловой баланс.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В конце прошлого века начались существенные изменения арктической климатической системы. В 1990-х гг. произошло увеличение циклонической составляющей полярной завихренности и аномалии среднегодовых значений температуры воздуха в широтной зоне 72–85° с.ш. стали положительными [4]. Также изменился знак тренда средней солености поверхностного слоя: в Канадском бассейне осолонение 1950–1980-х гг. сменилось распреснением, а в зоне трансарктического дрейфа – распреснение уступило место осолонению [14]. Ледовитость арктических морей (АМ), которая увеличивалась с 60-х гг. прошлого столетия, в конце столетия начала стремительно уменьшаться [15]. В период 1989–1993 гг. произошло значительное увеличение температуры атлантических вод (АВ) в Арктическом бассейне (АБ). Однако в конце 1990-х гг. и в первые годы текущего столетия наметилась определенная стабилизация поступления атлантических вод в Арктический бассейн и изменился режим атмосферной циркуляции над Арктикой. Казалось, что природная среда Арктики исчерпала свой аномальный импульс и климатическая система Арктики вот-вот начнет возвращаться к прежнему состоянию. Поэтому было чрезвычайно важно организовать наблюдения за состоянием Северного Ледовитого океана (СЛО) в намечающийся переходный период.

Важность и актуальность мониторинга акватории Северного Ледовитого океана (СЛО) не вызывает сомнения. В течение советского периода Россия осуществляла постоянное слежение за состоянием СЛО. С 1948 по 1993 г. в окраинных морях Сибирского шельфа и в Арктическом бассейне в зимний период с помощью самолетных экспедиций ежегодно выполнялись океанографические съемки, круглогодично производились океанографические наблюдения на дрейфующих станциях «Северный полюс», в арктических морях осуществлялись океанографи-

ческие наблюдения судами экспедиций «Ледовый патруль». Регулярные наблюдения и развитие теории гидрологического и ледового режима позволили обеспечить трассу Северного морского пути надежной информацией о текущих процессах и морскими прогнозами различной заблаговременности, что оказало немаловажное влияние на эффективность управления хозяйственными операциями в Арктике в 50–80-х гг. прошлого столетия. Результаты наблюдений обеспечили России приоритет в исследованиях СЛО, что нашло отражение в изданных в стране в это время «Атласе Северного Ледовитого океана» (1980) и «Атласе Арктики» (1985), имеющих общепризнанное научное и практическое значение. В дальнейшем на основе доступных российских и зарубежных океанографических данных были рассчитаны поля объективного анализа, составившие основу российско-американского электронного климатического «Океанографического Атласа Северного Ледовитого океана» (1997, 1998). Таким образом, к концу прошлого столетия был достигнут определенный прогресс в понимании основных черт циркуляции и трансформации водных масс СЛО и их связи с процессами во внешней климатической системе. Однако с 1991–1993 гг. из-за экономических трудностей экспедиционные исследования в арктических морях значительно сократились, а мониторинг Арктического бассейна был полностью прекращен.

Для восстановления морской наблюдательной сети России и в целях активного участия России в подготовке и проведении Международного полярного года (МПГ 2007/08) в 2003 г. была организована Высокоширотная арктическая экспедиция (ВАЭ) ААНИИ Росгидромета, выполняющая работы в труднодоступных районах Центральной Арктики и прилегающих морях СЛО на основе заложенного в программе исследований ВАЭ комплексного подхода, объединяющего в едином цикле деятельность дрейфующих станций «Северный полюс», морские экспедиционные исследования, работу летных океанографических отрядов, взаимодействие с береговыми наблюдательными комплексами и системами, автоматически дрейфующими комплексами. В 2003 г., благодаря взаимодействию ААНИИ и Центра пропаганды, развития территории Арктики и Антарктики «Полюс», были возобновлены отечественные научные исследования в высоких широтах Арктики на дрейфующих льдах Арктического бассейна в круглогодичном цикле. Решение об организации дрейфующей станции СП-32 было принято коллегией Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В последующие годы программа исследований в Арктическом бассейне получила развитие на дрейфующих станциях СП-33 в 2004 г. и СП-34 в 2005 г.

В 2007–2009 гг. в соответствии с национальной программой участия России в Международном полярном годе, подготовленной Росгидрометом, на акваториях Арктического бассейна СЛО и его морей были осуществлены морские высокоширотные экспедиции (рис. 1 цв. вклейки) по программам «Арктика-2007» (июль–сентябрь 2007 г.) и «Арктика-2008» (август–сентябрь 2008 г.) на НЭС «Академик Федоров» ААНИИ Росгидромета; «Баркалав-2007» (июль–октябрь 2007 г.) и «Баркалав-2008» (август–октябрь 2008 г.) на НИС «Иван Петров» Северного УГМС; проведены комплексы специальных и попутных исследований с бортов атомных ледоколов «Россия», «Ямал» и «50-лет Победы»; выполнены наблюдения летного океанографического отряда; организованы и выполнены уникальные долговременные комплексные многоплановые программы исследований на научно-исследовательских дрейфующих станциях «Северный полюс-35» и «Северный полюс-36» в центральной части Арктического бассейна, ледовых базах ААНИИ (май–август 2007 г.) и «Барнео» (апрель 2007 и 2008 гг.); выполнены работы летных сезонных отрядов ВАЭ. С борта НЭС «Академик Федоров» и во время работ летных отрядов ВАЭ установлены на акватории Арктического бассейна более 20

автоматических дрейфующих измерительных систем, ведущих наблюдения за состоянием океана, атмосферы и льда в районах их дрейфа и оперативно передающих данные в международные центры.

В рамках международных проектов были проведены экспедиционные исследования по российско-американской программе «АВЛАП-НАБОС» (на борту НИС «Виктор Буйницкий», сентябрь–октябрь 2007 г. и ледокола «Капитан Драницин», август–сентябрь 2008 г.) и российско-германской программы «Исследование системы моря Лаптевых» (на НИС «Иван Петров» в августе 2007 и 2008 гг.). Также осуществлялись попутные наблюдения за состоянием и динамикой ледников в западном секторе Арктики в снабженческих рейсах НЭС «Михаил Сомов» в 2007–2008 гг.

Главными целями, объединяющими все перечисленные исследования, были:

- определить современное состояние компонент арктической климатической и экологической системы Арктического бассейна СЛО;

- углубить представления о механизмах формирования климатических и экологических процессов в Арктике;

- получить надежную оценку климатических изменений в высокоширотной Арктике относительно периода 1950–1970-х гг., наиболее освещенного предшествующими наблюдениями, и определить их связь с глобальными изменениями естественной и антропогенной природы;

- усовершенствовать технологии мониторинга природной среды в Арктике, учета арктических процессов в глобальных моделях погоды и климата, повысить надежность расчетов и прогнозов их изменений.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как уже отмечалось, изменения арктической климатической системы в конце прошлого века в ее морской части наиболее аномально проявились в изменении состояния атлантических вод. Вторжение атлантических вод было продолжительным, и повышение их температуры превысило все значения за исторический период наблюдений. Однако в 2002–2003 гг. максимальные температуры атлантических вод в Евразийском суббассейне стали уменьшаться, что послужило поводом для предположения о наступлении переходного периода и возврата состояния СЛО к ранее наблюдавшимся.

Океанографические исследования 2003–2004 гг. позволили получить новую информацию о состоянии СЛО и установить новую фазу изменений состояния атлантических вод в Арктическом бассейне. Наблюдения на дрейфующей станции СП-32 в декабре 2003 г. – феврале 2004 г. в районе хребта Гаккеля зарегистрировали повышение максимальных температур АВ (рис. 2). Отмеченное изменение температуры можно было бы объяснить тем, что траектория дрейфа СП прошла через некую изолированную структуру с более высокой температурой воды на глубине 200–400 м. Например, пересекла ранее неизвестную струю фрамовской ветви АВ. Однако феномен потепления был подтвержден во время российско-американской экспедиции АВЛАП/НАБОС-2004, выполнявшей океанографические разрезы на материковом склоне в северной части моря Лаптевых. Более того, анализ годовых записей вертикальных профилей температуры воды, полученных на ПБС, установленной в сентябре 2003 г. в этом районе, позволил установить две волны повышения температуры АВ – в феврале и июне 2004 г. Сравнительный анализ показал, что в 2004 г. температура АВ в Евразийском суббассейне в большинстве районов превышала величины максимальных температур, которые были измерены в 1990-х годах прошлого столетия. Данные наблюдений последующих морских экспедиций, измерения на ПБС и дрейфующих буях ИТР в 2005–2006 гг. подтвердили факт нового потепления вод атлантического происхождения в Евразийском суббассейне. Это дало основание предположить, что начался еще более мощный импульс потепления Арктики [15].

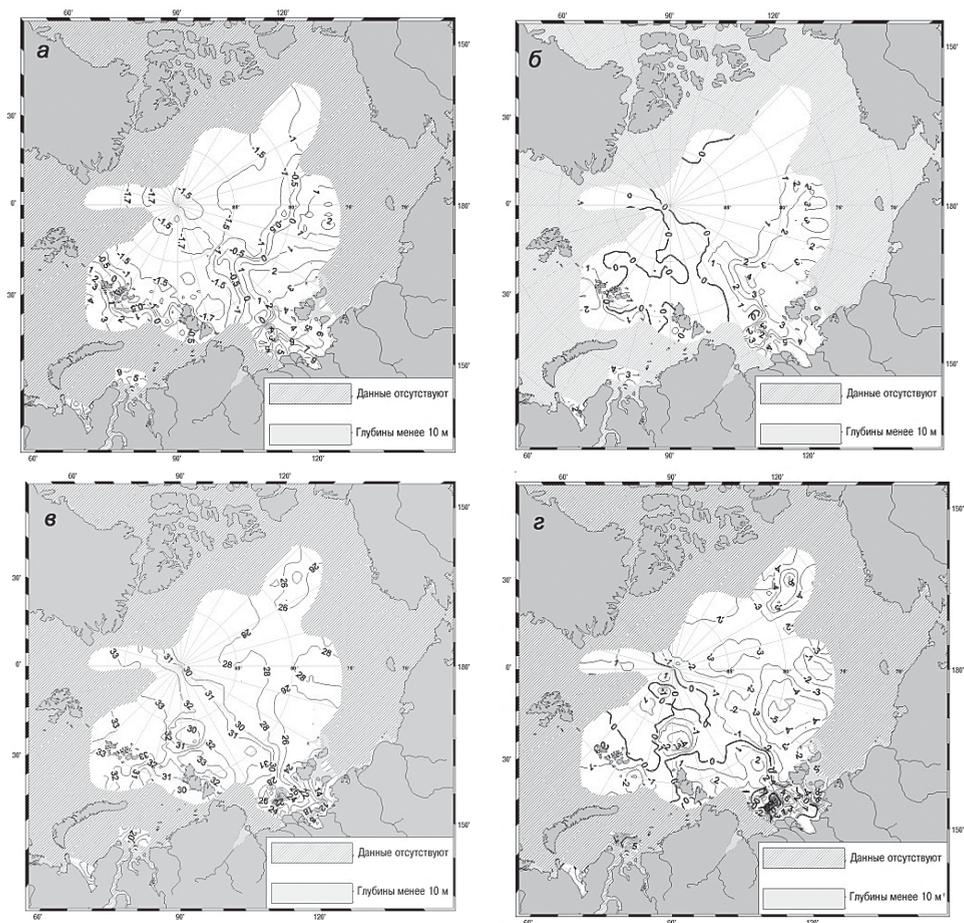


Рис. 2. Средние для слоя 5–10 м температура воды (а), соленость (б) и аномалии температуры (б) и солености воды (г) в 2007 г. относительно ряда 1950–1989 гг. в летний период

Анализ данных наблюдений, как в Арктическом бассейне, так и в Северо-Европейском бассейне, показал, что главной причиной этого феномена явилась интенсификация поступления более теплых атлантических вод в Арктический бассейн через пролив Фрама. Действительно, на океанографическом разрезе от м. Свиной в Норвежском море в 1998 г. наблюдался пик температуры атлантических вод, зафиксированный через год в проливе Фрама, а еще через 3,5 года – в северной части моря Лаптевых. Положительная аномалия, прошедшая через пролив Фрама в 1999 г., к 2006 г. заполнила практически весь Евразийский суббассейн. Вторая положительная аномалия АВ, наблюдавшаяся в проливе Фрама в 2004–2005 гг., была зафиксирована в 2006 г. между Шпицбергом и ЗФИ и в желобе Святой Анны. Заметим, что в Норвежском море после ряда циклических изменений температура атлантических вод в 2009 г. вновь стала повышаться. Учитывая, что причиной роста температуры АВ в Арктике является прежде всего поступление теплых вод из Норвежского моря, есть все основания полагать, что в ближайшие годы температура воды в слое АВ в Арктике в целом будет увеличиваться.

В поверхностном слое СЛО в течение в 2003–2006 гг. наблюдались разнонаправленные аномалии температуры и солёности, которые были связаны, прежде всего, с особенностями поверхностной океанической циркуляции и влиянием атмосферных процессов. Но вдоль материкового склона от пролива Фрама до моря Лаптевых в течение всего периода наблюдений в поверхностном слое отмечались положительные аномалии солёности воды. Несомненно, что такая устойчивая положительная аномалия поверхностной солёности обусловлена, прежде всего, влиянием АВ, которые в этом районе непосредственно подстилают поверхностный слой.

Выше указывалось, что начало МПГ 2007/08 и пик комплексных морских исследований в СЛО совпали с необычным развитием гидрометеорологических процессов в Арктике. Благодаря этому были получены новые данные о состоянии СЛО в зимний и летний сезоны, которые позволили не только описать структуру экстремального состояния Арктического бассейна и арктических морей, но и предоставили уникальную возможность оценить изменчивость океанографических условий в период действия экстремальных процессов.

В начале июня 2007 г. температуры в поверхностном слое в южной части котловины Подводников по данным экспедиции «ТрансАрктика-2007» были близки к средним климатическим значениям. Однако уже во второй половине июня появились признаки аномального развития гидрологических процессов в СЛО. В августе–сентябре сформировались поля поверхностных температур и солёности, которые не наблюдались в предыдущие годы. Самая высокая за весь исторический период наблюдений в Арктическом бассейне температура  $+4,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  на горизонте 5 м (при средней климатической величине  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) была измерена 31 августа экспедиций на НЭС «Академик Федоров» в южной части хребта Менделеева. 21 сентября в северной части моря Лаптевых экспедицией на НИС «Виктор Буйницкий» была зарегистрирована высокая ( $+2,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температура приповерхностного слоя при малой ( $27,77\text{ }‰$ ) солёности, не характерная для этого времени года, поскольку по наблюдениям прошлых лет дата прекращения таяния льда на широтах около  $80^{\circ}$  приходится на 22 августа, а с середины сентября устанавливаются уже зимние процессы. Анализ весенне-летнего периода 2007 г. показал, что в районе котловины Подводников продолжительность периодов накопления тепла и распределения за счет таяния льда поверхностного слоя на широте  $80^{\circ}$  составила не менее 3 месяцев, а амплитуда сезонных изменений температуры воды составила около  $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что в 15–20 раз больше средних значений для этого района. Амплитуда сезонных изменений поверхностной солёности была порядка  $2,0\text{--}2,5\text{ }‰$ , что в пять раз больше средних значений изменчивости для этого района.

Пространственная структура сформировавшихся аномалий в поверхностном слое наиболее ярко проявляется на картах распределения температуры и солёности в августе–сентябре 2007 г. Для анализа структуры термохалинных аномалий в Арктическом бассейне и арктических морях были построены карты пространственного распределения температуры и солёности и вычислены климатические аномалии температуры и солёности по отношению к средним полям для летнего сезона 1950–1989 гг. При этом основное внимание при анализе уделялось поверхностному 10-метровому слою, характеризующемуся наибольшими значениями аномалий в 2007 г. (рис. 2).

Установлено, что в Американо-Евразийском суббассейне летом 2007 г. наблюдались необычно высокие температуры воды и сформировались значительные положительные аномалии, достигавшие  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Площадь, занятая водами с температурой выше  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , была больше климатической почти в 2 раза. На большей части Евразийского суббассейна температура воды в поверхностном слое была близка к средней климатической. Однако в северных частях Баренцева и Карского морей и в восточной части моря Лаптевых также наблюдались положительные аномалии температуры по-

верхностного слоя величиной до 2–5 °С. Кроме аномального термического состояния, 2007-й год характеризовался экстремальными значениями в поле поверхностной солёности. Так, существенное распреснение наблюдалось на всей акватории Амеразийского бассейна и акваториях прилегающих к нему арктических морей. При этом выделялись две обширные области больших отрицательных аномалий от –4 ‰ до –6 ‰. Первая область предполагалась в южной части котловины Подводников и прилегающей части Сибирского шельфа с центром 80° с.ш. и 160° в.д., а вторая – в Канадской котловине. В то же время на севере Баренцева и Карского морей и прилегающей части Евразийского суббассейна в поверхностном слое было зафиксировано значительное осолонение с аномалиями, достигавшими 2 ‰, а в море Лаптевых и 6 ‰ (рис. 2).

Одной из основных причин формирования такой термохалинной структуры на поверхности являются особенности атмосферной циркуляции. Начиная с весны 2007 г. в этом регионе преобладали ветра южных направлений и наблюдались большие положительные аномалии температуры воздуха, достигавшие в августе значений +8 °С [4]. Усиление теплообмена на границе вода–лед–атмосфера вызвали интенсивное таяние ледяного покрова и отступление кромки льдов на север. В восточной части СЛО ото льда освободилась огромная акватория, в предшествующие годы всегда покрытая дрейфующими льдами. В конце сентября граница ледяного покрова отодвинулась далеко на север, в отдельных местах достигая широты 87°. Образование огромной акватории, свободной ото льда, способствовало значительному прогреву поверхностного слоя воды. Атмосферное воздействие было главным, но не единственным фактором. На интенсификацию выноса льдов из морей Чукотского, Восточно-Сибирского и Бофорта оказало влияние положение антициклонического круговорота вод, который в последние годы сместился к югу от центра Канадской котловины, а интенсивность его выросла, что способствовало ускорению выноса льда по периферии антициклонического круговорота в сторону островов Канадского архипелага. Наблюдения в последующие 2008 и 2009 гг. показали, что структура поля аномалий температуры и солёности, за исключением некоторых районов, оставалась подобной лету 2007 г., но величины аномалий стали меньше. Это позволило предположить, что имеется тенденция к возвращению термохалинного состояния поверхностного слоя к среднему климатическому уровню.

Для получения оценок изменений, произошедших в толще океана от поверхности до глубинных слоев, нами был выполнен объемный анализ всех имеющихся глубоководных океанографических данных летних сезонов 2007 г. и 1970–1979 гг. Временной интервал 1970–1979 гг. интересен тем, что в этот период наблюдалось ослабление потока АВ в Арктический бассейн, а их максимальная температура была самой низкой за весь период инструментальных измерений [14]. Результаты объемного анализа масс позволили получить ряд важных оценок. Были получены средневзвешенные значения температуры и солёности для всего объема СЛО для лета 2007 г. (+1,2 °С и 34,06 ‰) и для периода 1970–1979 гг. (+0,82 °С и 34,25 ‰). Из этих оценок следует, что с 70-х годов прошлого века до начала текущего столетия воды Арктического бассейна и прилегающих арктических морей потеплели на 0,38 °С, а их солёность уменьшилась на 0,19 ‰.

Двумерные гистограммы функции распределения объемов вод для различных градаций температуры и солёности для лета 2007 г. и летнего сезона 1970–1979 гг. существенно различаются (рис. 3). Аномальные процессы в поверхностном слое, которые обсуждались выше, нашли отражение в том, что в интервалах температур от –0,4 °С до +1,0 °С и солёности воды меньше 30,0 ‰ функция распределения аномалий имеет положительные значения. Значительная трансформация объемов вод произошла для градаций температур и солёности (0,0/+1,50 °С; 31,0/32,0 ‰) и (0,0/+1,0 °С; 32,0/33,0 ‰). Объем вод первой градации в 2007 г. увеличился

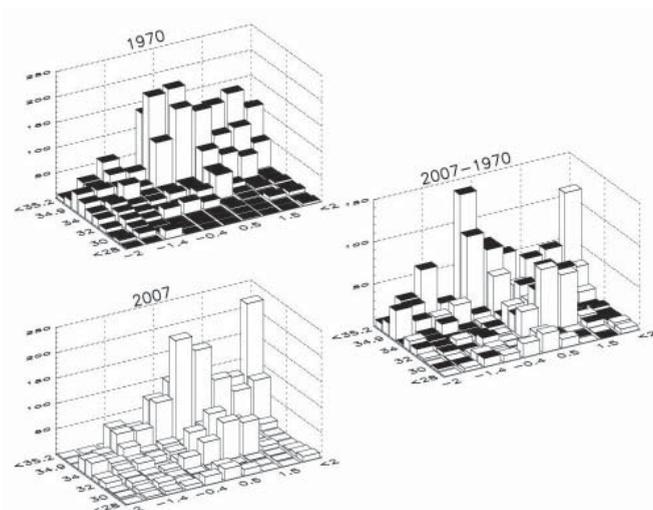


Рис. 3. Гистограммы объемов вод СЛО (вертикальная ось, объем воды в метрах на единицу площади) в пределах выделенных градаций температуры и солёности (горизонтальные оси), построенные для летнего сезона 1970–1979 гг. (а) и 2007 г. (б); (в) – гистограмма разности объемов вод между 2007 г. и 1970–1979 гг., на которой белому цвету соответствуют большие объемы в 2007 г., а черный цвет показывает, что объем вод в данной градации температуры и солёности в 2007 г. был меньше, чем в 1970–1979 гг.

в 5 раз по отношению к уровню 1970-х. Основное изменение произошло за счет увеличения объема прогретых поверхностных баренцевоморских и летних тихоокеанских вод. При этом объем вод второй градации в 2007 г. в относительных единицах, наоборот, уменьшился почти в 9 раз.

Общий объем атлантических вод с температурой выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и солёностью более  $34,6\text{ }‰$  в 2007 г. вырос на 22 % по сравнению с 1970–1979 гг. В то же время внутри АВ произошло изменение парциальных объемов вод для разных градаций температуры. Так, объем атлантических вод температурой от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  уменьшился, а объем вод с температурой более  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  значительно увеличился. Такая существенная перестройка термохалинной структуры слоя АВ явилась следствием увеличения за последние два десятилетия (особенно начиная с 2003–2004 гг.) поступления более теплых и менее солёных, относительно средней многолетней величины, атлантических вод в Арктический бассейн [15].

Изменения коснулись и более глубоких слоев. Объем промежуточных вод с температурой от  $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и солёностью более  $34,6\text{ }‰$  в 2007 г. уменьшился на 30 %. Нижележащие донные воды стали несколько теплее и менее солёными, что подтверждает выявленную ранее закономерность повышения температуры донных вод при повышении температуры атлантических вод в Арктическом бассейне [3]. Оценить объем донных вод в 2007 г. не представилось возможным в силу ограниченного числа данных измерений глубже 1500 м.

Главные результаты океанографических исследований Арктики:

1. Получены новые данные о состоянии СЛО в различные сезоны года.
2. На основе данных наблюдений выделены крупнейшие температурные и солёностные аномалии в различных районах Арктического бассейна и морей Сибирского шельфа и описана структура этих аномалий.

3. Выполнен анализ изменчивости океана в начале XXI века и получены оценки экстремальных изменений Арктического бассейна и морей Сибирского шельфа.

4. Получены оценки изменений, произошедших в толще океана от поверхности до самых глубоких слоев за последние 30 лет, и установлено, что в СЛО произошла существенная перестройка термохалинной структуры.

5. Установлена сопряженность повышения температуры АВ, увеличения солёности поверхностного слоя на материковом склоне Шпицберген, ЗФИ, Северная Земля и уменьшения солёности поверхностного слоя на оси Трансарктического дрейфа.

### **3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКИХ ЛЬДАХ**

В Арктическом бассейне одновременно протекают физико-механические процессы различного масштаба и различной интенсивности, приводящие к образованию дискретной структуры ледяного покрова. Хаотические флюктуации скорости дрейфа разных масштабов могут обуславливать турбулентное движение льдов. Значительные ускорения при подвижках возникают при сравнительно кратковременных взаимодействиях ледяных полей при сжатии или сдвиге. Ромбовидные и мозаичные фрагменты ледяных образований, наблюдаемых на аэрофотоснимках и спутниковых изображениях, образуют самоподобные фигуры, линейные размеры которых составляют от сотен метров до сотен километров. Характеру относительных деформаций и разломов во льду способствует неоднородность физико-механических характеристик ледяного покрова.

Выявление связи динамических процессов в морских льдах (приливные подвижки, неравномерность дрейфа льдов, сжатие и торошение, возникновение протяженных разломов) с явлениями в атмосфере и океане является сложной задачей. Тем не менее длительные ряды подспутниковых инструментальных наблюдений и спутниковые изображения льда представляют достоверную физическую основу для изучения физических процессов, происходящих в ледяном покрове, включая распределения ромбовидных форм ледяных образований, которые с закономерной периодичностью возникают независимо от наблюдаемых метеоусловий. При исследовании физико-механических процессов и перестройки структурных связей ледяного покрова основным материалом являются результаты наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс»: сжатие и торошение льдов, автоколебательные процессы во льдах, поверхностные волны во льдах океана, воздействие внутренних волн и турбулентных потоков на ледяной покров, явление самоподобия и самоорганизации морских льдов [5, 6].

Физика и механика деформирования и разломов ледяного покрова изучается на основе инструментальных измерений параметров деформаций и напряжений в ледяных полях с помощью деформометров, акселерометров, наклономеров, GPS-приемников и на основе спутниковых изображений льда. При наблюдениях на дрейфующих льдах изучались процессы, характеризующие механику деформирования ледяного покрова различного масштаба: напряжения, относительные деформации и смещения, горизонтальные ускорения ледяных полей при подвижках и др. [10, 16]. Временной диапазон наблюдаемых динамических процессов в ледяных полях составлял от единиц секунд до полусуток. Пространственные масштабы — от десятков метров до сотен километров. При обработке данных использовались гидрометеорологическая информация и спутниковые изображения ледяного покрова. При анализе результатов учитывались разделы механики сплошных и дискретных сред, физики колебаний и волн в различных средах, теория самоподобных процессов пространственных изображений льда и временных рядов его динамики.

Полученные в большом объеме данные наблюдений отклика ледяного покрова на динамические процессы в океане и атмосфере подвергались статистической обработке для выявления корреляционных связей, получения прогностических элемен-

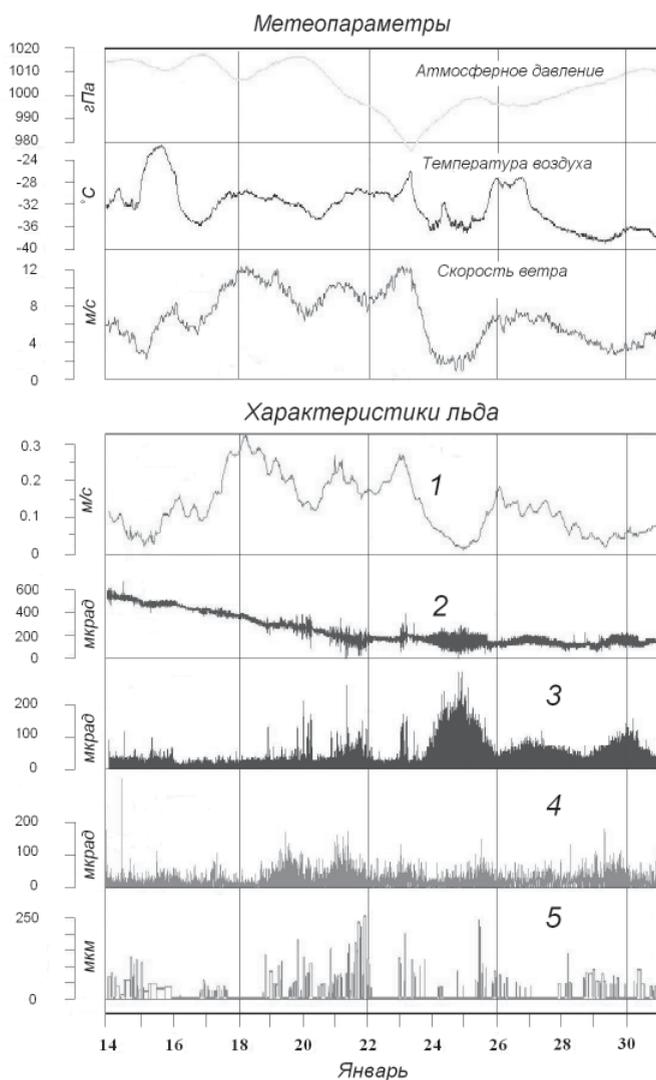


Рис. 4. Отклик ледяного покрова СЛО на динамические процессы в океане и атмосфере: а – метеопараметры и характеристики льда: 1 – скорость дрейфа льда; 2 – длительный наклон ледяного поля; 3 – волны зыби в диапазоне периодов 15–30 с; 4 – внутренние волны в диапазоне до 30 мин.; 5 – упругие колебания при сжатии и торошении льда в диапазоне 0,1–20 Гц; б) направление ветра и траектория дрейфа льда. Дрейфующая станция «Северный полюс-35», 2008 г.

тов, определения физических свойств крупномасштабных явлений в системе атмосфера–лед–океан. Скорость и направление дрейфа льда, уровень волн зыби, проявление внутренних волн и турбулентных потоков, автоколебания при сжатии льдов, разломы и торошения сравнивались с локальными метеопараметрами (рис. 4).

#### **Изгибно-гравитационные волны в ледяном покрове**

В ледяном покрове СЛО присутствует фон изгибно-гравитационных волн в диапазоне периодов от 1 до 60 с. Волны возникают от воздействия ветра, при торошении льдов, от волн на открытой воде. Амплитуда волн зыби при длине волны

один километр может иметь амплитуду до нескольких сантиметров. Слабое затухание зыби позволяет регистрировать ее во льдах от штормовых районов в Атлантике, в Баренцевом и в Беринговом морях. Волны зыби с периодом 25–35 с отмечаются на всех дрейфующих станциях. На рис. 4 повышения уровня волн зыби зарегистрированы при минимальной скорости ветра и дрейфа.

Особенно следует выделить свободные волны в морском льду при обрушении выводных ледников и образовании айсбергов. В этом случае колебания припая с периодом до 100 с могут продолжаться в течение нескольких часов. Волновые поля от айсбергов представляют значительный интерес при решении прикладных задач освоения арктического шельфа [8]. При изгибных деформациях ледяного поля могут возникать протяженные трещины во льду.

#### **Внутренние волны во льдах СЛО**

Колебания ледяного покрова в диапазоне периодов от единиц минут до часа и более возбуждаются короткопериодными гравитационными внутренними волнами океана и турбулентными течениями. Под действием внешних сил (атмосферных возмущений, приливов, килей торосов и айсбергов) в стратифицированной по плотности водной среде возникают колебания с амплитудами до десятков и сотен метров. При мгновенном воздействии или при резком прекращении силы внутренние волны рассматриваются как свободные [1]. Если внутренние волны становятся неустойчивыми и разрушаются, то образуются мелкомасштабные турбулентные пятна. Все эти процессы в зависимости от их энергии воздействуют на ледяной покров. Реакция льда на это воздействие проявляется в образовании колебательных и волновых процессов с фазовыми скоростями внутренних волн (около 0,5 м/с). Повышение фона внутренних волн отмечено при различных метеопараметрах (рис. 4).

В настоящее время имеются длительные ряды параметров как внутренних волн, так и схожих с ними хаотических колебаний ледяного покрова. Внутренние волны тесно связаны с океанской турбулентностью, когда в зоне максимального градиента плотности происходит резкое изменение скорости течений. Можно предположить, что за счет энергии внутренних волн и турбулентных потоков возникает эффективная сила, создающая соответствующую реакцию ледяного покрова.

#### **Механические автоколебания в морских льдах**

В консолидированном ледяном покрове океана обнаружены периодические горизонтальные подвижки, относящиеся к классу автоколебательных процессов. Одним из явлений, возникающих в реальных диссипативных системах типа морского льда, является генерация незатухающих механических колебаний, период и амплитуда которых не зависят от характера внешнего воздействия, а определяются свойствами самой системы. Длительность и интенсивность автоколебательных подвижек с трением по разрыву во льдах характеризуют реологию льда, механику разрушения, формируют структуру излучаемых волн. Периодические пульсации ледяного поля могут превратиться в квазигармонические автоколебания — процесс стабильного скольжения с трением по разрыву. При этом переход от разрывных колебаний к почти синусоидальным зависит от относительной скорости смещения стенок разрыва (рис. 5). При помощи пространственной расстановки приборов отмечены циклические сдвиговые подвижки, охватывающие области размером до нескольких километров [7].

На основании наблюдений на дрейфующих льдах получены обобщенные характеристики явления. Для поддержания автоколебаний не требуется периодических воздействий извне. Внешним источником энергии ледовых автоколебаний являются силы сжатия, обусловленные ветром и поверхностными течениями океана. Демпфирующим механизмом служат силы трения и сцепления относительно границ разрыва в ледяном покрове. Процесс взаимодействия проявляется в регу-

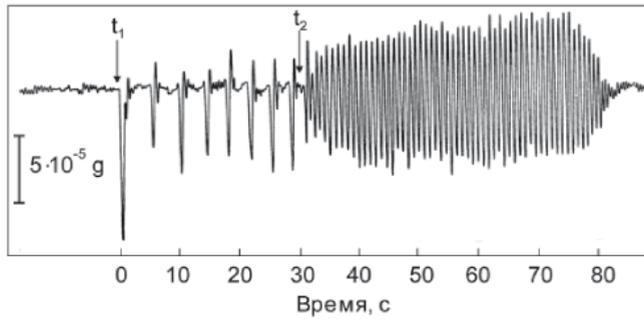


Рис. 5. Типичная запись периодической горизонтальной подвижки по разрыву в ледяных полях при сжатии льдов. Циклические импульсы  $t_1$  обусловлены явлением stick slip, переходящим в  $t_2$  стабильное скольжение; периодичность следования импульсов 4–5 с; частота автоколебаний 0,9 Гц. Длительность автоколебательных процессов достигает десятков минут

лярной повторяемости процессов накопления и сброса напряжений, характеризующих релаксационные свойства льда в большом масштабе. Автоколебания могут служить прогностическим признаком ледового сжатия и торошения. Процесс автоколебаний служит ярким примером явления самоорганизации в хаосе временных ледовых событий.

#### Физическое самоподобие в морских льдах

Ряд признаков пространственных и временных изменяющихся параметров — самоподобие на различных масштабных уровнях, наличие автоколебательных процессов — указывают на то, что совокупность трещин, разрывов, гряд торосов и других нарушений сплошности льда является иерархической самоорганизующейся системой. Такой подход создает новое направление на основе статистической физики фракталов: самоподобие и самоорганизация ледовых образований. Понятие самоподобного множества произвольных геометрических объектов (фрактальных размерностей) включает совокупность линий, поверхностей, имеющих сильно изрезанную форму. Самоподобие по пространству и времени — это статистически одинаковый характер структуры геофизической среды в разных пространственно-временных масштабах рассмотрения.

Автомодельность процесса структурообразования иллюстрируется количественными соотношениями между размерами области разрушения и энергией процесса разрушения. Переход между уровнями осуществляется «катастрофическим» путем и сопровождается появлением самоподобных структур. Характерной формой блоков в результате разрушения ледяного покрова является параллелограмм или ромб (рис. 6). Когерентность геометрических размеров указывает на возникновение самоорганизации и самоподобия [9]. Об активной жизни ледяного покрова свидетелем являются колебания и волны во льдах в широком диапазоне периодов.

Значение пространственно-временной корреляции ледовых образований состоит в потенциальной возможности предсказывать изменение во времени некоторой зоны ледяного покрова, исходя из предшествующей эволюции системы на другом масштабном уровне. Таким образом, масштабная инвариантность динамики морских льдов в сочетании с их фрактальной организацией позволяют рассматривать ледяной покров как самоорганизующийся фрактальный пространственно-временной домен. Установление взаимосвязи между характером деформаций льда различного масштаба и особенностями его дрейфа является основой для совершенствования моделей динамического поведения морского льда, используемых

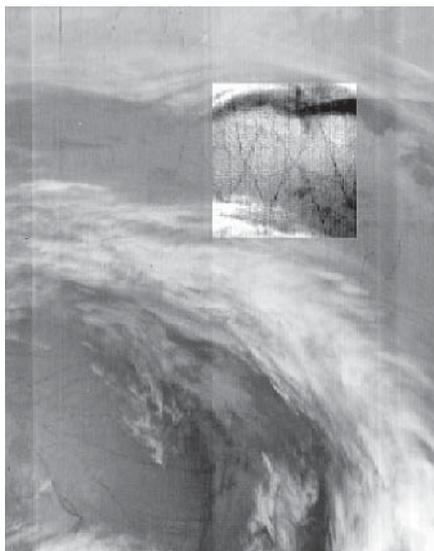


Рис. 6. Самоорганизация форм морского льда. В выделенном фрагменте снимка NOAA видны ледовые образования ромбовидной формы; размер стороны «ромба» около 200 км

в задачах ледовых прогнозов, а также при изучении природы катастрофических явлений локального и геофизического масштабов.

Основные результаты, полученные в ходе исследований физики и механики морского льда:

1. Физико-механические свойства ледяного покрова и перестройка его макроструктуры связаны с локальной и мезомасштабной динамикой льдов, ледовыми автоколебаниями, поверхностными и внутренними волнами.

2. Связь физики и механики морского льда с процессами в океане и атмосфере позволяет выявлять природу экстремальных ледовых явлений, совершенствовать методы прогноза сжатия морских льдов, возникновения разломов и формирования разводий – важных факторов при решении климатических и инженерных задач.

3. Направление изучения динамики морских льдов на основе статистической физики фракталов создает предпосылки для разработки технологии мониторинга состояния льдов мезо- и макромасштаба.

#### **4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ И ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА**

Регулярные экспериментальные исследования физических процессов в атмосфере и ледяном покрове Центральной Арктики имеют длительную историю, начавшуюся в 1950 г., когда была открыта дрейфующая станция «Северный полюс-2». В 1991 г. комплексные гидрометеорологические исследования в СЛО с использованием дрейфующих станций были прерваны до 1997 г., когда в период американского эксперимента «Тепловой баланс поверхности в Арктике» (SHEBA) в течение года было выполнено комплексное изучение системы «атмосфера – морской лед – океан» в районе моря Бофорта и прилегающей части Арктического бассейна. Основное внимание в этом эксперименте было уделено изучению процессов взаимодействия атмосферы и океана при наличии ледяного покрова. Комплексные исследования гидрометеорологических процессов в Центральной Арктике с помощью дрейфующих станций были возобновлены Россией в 2003 г.

Несмотря на длительную историю регулярных исследований Арктического бассейна, насчитывающую более 50 лет, можно отметить лишь 4 годичных цикла комплексных наблюдений, позволивших в известной степени описать совместную сезонную эволюцию основных параметров атмосферы, ледяного покрова и верхнего слоя океана. Такие наблюдения были выполнены на дрейфующей станции «Северный полюс-4» в 1956–1957 гг., в период эксперимента «SHEBA» в 1997–1998 гг. и на дрейфующих станциях СП-35, СП-36 в 2007–2009 гг. Преимуществом комплексных наблюдений на СП-35 и СП-36 является полная согласованность наблюдательской программы, выполненной силами ученых одного института (ААНИИ), в противоположность более технически оснащенному, однако гораздо менее скоординированному комплексу наблюдений в период эксперимента SHEBA, в результате которого не было создано даже единого архива данных. В свою очередь, качество данных комплексных наблюдений на СП-4, послуживших прообразом экспериментальных исследований на СП-35, СП-36, соответствовало уровню развития измерительной техники того времени.

На дрейфующих станциях СП-35, СП-36 в период с октября 2007 г. по июль 2008 г. и с октября 2008 г. по август 2009 г. с помощью полуавтоматической метеорологической станции MAWS 110 (Vaisala, Финляндия), представляющей собой комплекс современных метеорологических и актинометрических датчиков, с дискретностью одна минута выполнялись измерения атмосферного давления, скорости и направления ветра на высоте 2 и 10 м, температуры и влажности воздуха на 2 и 8 м, температуры снежно-ледяного покрова на 3 уровнях, коротковолновой и длинноволновой суммарной приходящей и отраженной радиации. Кроме этого, газоанализаторами ЗАО «ОПТЭК» с дискретностью одна минута проводились измерения концентрации озона и углекислого газа в приледном слое воздуха. В период, когда высота солнца составляла более 10°, производились измерения содержания озона и интенсивности ультрафиолетовой радиации. Один раз в 3 часа выполнялись визуальные наблюдения облачности (высоты, количества и формы) и состояния подстилающей поверхности и атмосферных явлений. Два раза в сутки выполнялись зондирования атмосферы до высоты 25–30 км с помощью современного комплекса радиозондирования «Vaisala», и эпизодически проводились аэростатные зондирования пограничного слоя атмосферы. С помощью полевых спектрометров «Рамзес» регулярно выполнялись измерения спектрального альбеда снежно-ледяного покрова, спектральные измерения проникающей под лед солнечной радиации. Впервые были выполнены прямые измерения потока углекислого газа на границе снежно-ледяной покров – атмосфера с помощью современного прибора «Licor-8100». Кроме этого по совместной программе ААНИИ и ГГО производился отбор проб воздуха для химического анализа. Основные виды гидрометеорологических наблюдений, организованных на дрейфующей станции «Северный полюс-35», показаны на рис. 7 цв. вклейки.

На основе проведенных наблюдений в ААНИИ был создан уникальный совместный электронный архив данных аэрологических, аэростатных, метеорологических, интегральных и спектральных радиационных наблюдений, наблюдений за высотой облачности и газовым составом атмосферы, охватывающий период с октября 2007 по август 2009 г.

Информация, содержащаяся в электронном архиве, совместно с полученными на станциях данными об осадках и временной изменчивости толщин снежного и ледяного покрова, была использована как в качестве внешнего форсинга, так и для валидации результатов расчетов, выполненных с помощью разработанной в ААНИИ термодинамической модели морского ледяного покрова, описываемого плоско-параллельными слоями снега и льда [2, 13]. При этом были выполнены численные эксперименты по расчету годового цикла изменения толщин

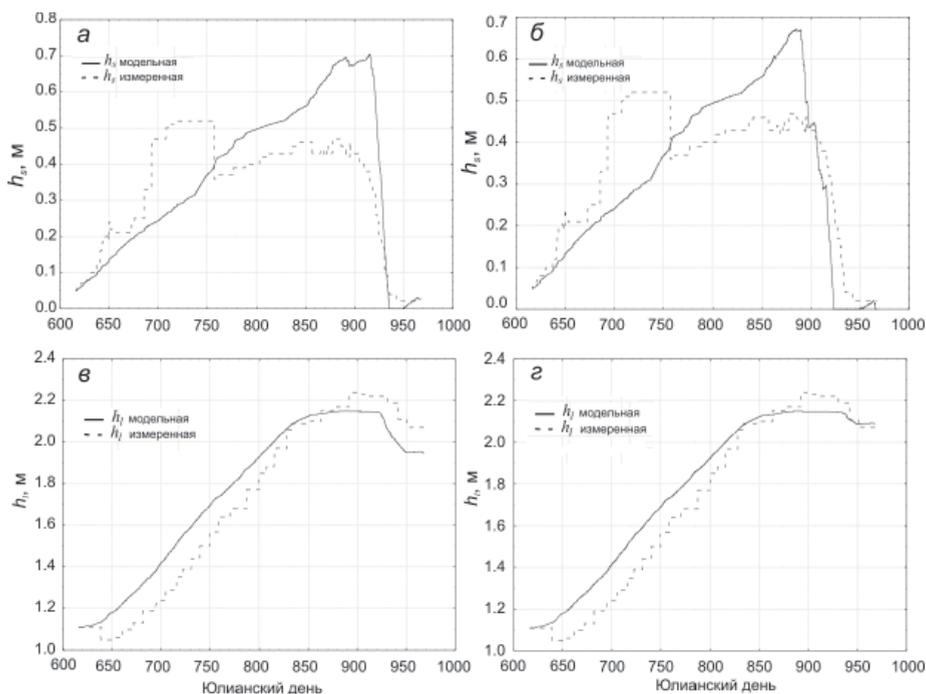


Рис. 8. Воспроизведение моделью толщин снежного (а, б) и ледяного (в, з) покрова на дрейфующей станции «Северный полюс-36»: слева – с использованием параметризации альбедо, справа – по измеренному альбедо

снега и льда как при априорно заданном альбедо подстилающей поверхности, так и при альбедо, рассчитанном на основе маршрутных съемок. В качестве начальных условий использовались осредненные значения толщин снега и льда, полученные в результате ледовых съемок на момент высадки станций. Результаты модельных расчетов сравнивались с данными регулярных ледовых съемок, выполнявшихся один раз в 10 суток в период дрейфа каждой из станций. На рис. 8 в качестве примера приведены результаты расчетов временной и изменчивости толщин снежно-ледяного покрова по данным дрейфующей станции «Северный полюс-36».

Анализ результатов моделирования показал, что модель несколько завышает высоту снежного покрова в момент его максимального развития (до 25 %), что, вероятно, связано с недоучетом перераспределения снега под воздействием ветра и его уплотнения [12]. При этом она вполне адекватно описывает процессы таяния снега, особенно при задании альбедо подстилающей поверхности на основании натуральных измерений. Расхождение между наблюдаемым и модельным временем полного исчезновения снежного покрова в последнем случае не превышает двух дней при общей длительности периода таяния снежного покрова порядка 40 дней. Так же адекватно модель описала изменение толщины льда за весь период наблюдений. Расхождение между рассчитанной и измеренной толщинами на момент окончания периода таяния при использовании измеренных значений альбедо поверхности составила 1–2 см при общем изменении толщины ледяного покрова от 1,2 до 2,3 м. Использование априорно заданных в основном варианте модели значений альбедо привело к занижению рассчитанной толщины льда на 10–12 см, что составляет порядка 10 % общего изменения его толщины.

В целом выполненные численные эксперименты продемонстрировали хорошее воспроизведение моделью годового хода толщины льда и снега при реальном атмосферном форсинге. Их успешность во многом объясняется наличием отрицательной обратной связи между турбулентными потоками и длинноволновым радиационным балансом, выявленной по данным натуральных наблюдений на дрейфующих станциях и адекватно воспроизведенной в модели. Дальнейшее совершенствование термодинамической модели снежно-ледяного покрова планируется выполнить также путем введения новой параметризации параметра шероховатости, предложенной в работе [11], а также новых параметризаций альbedo подстилающей поверхности и проникающей в ледяной покров и верхний слой океана коротковолновой солнечной радиации, базирующихся на результатах экспериментальных исследований, проведенных на СП-35 и СП-36 в весенне-летние периоды 2008 и 2009 гг. Для указанных характеристик радиационного энергообмена на основе анализа экспериментальных данных получены эмпирические зависимости для различных спектральных интервалов. При этом впервые выявлен суточный ход альbedo снежной поверхности при ясном небе и частичной облачности, составляющий при изменении высоты Солнца от 14 до 20 градусов до 15 % от средней величины альbedo.

Кроме данных о процессах взаимодействия в системе «приледный слой атмосферы – морской ледяной покров – верхний слой океана» на дрейфующих станциях СП-35, СП-36 были получены принципиально новые данные о пространственно-временной изменчивости концентраций углекислого газа и озона в приледном слое атмосферы, а также, впервые, данные о вертикальном распределении концентрации озона в пограничном слое атмосферы в весенний период (период полного разрушения приповерхностного озонового слоя) в его связи со стратификацией пограничного слоя. Указанное направление работ находится на самом переднем крае науки и еще требует своего осмысления.

Выполненные также впервые прямые измерения потока углекислого газа на границе «атмосфера – снежно-ледяной покров» показали слабое выделение углекислого газа поверхностью замерзшего разводья зимой и его поглощение поверхностью снежицы летом. Полученные результаты подтвердили выявленные в ходе гидрохимических исследований на дрейфующей станции СП-35 закономерности обмена углекислым газом между океаном и атмосферой при наличии ледяного покрова, указывающие на то, что в годовом цикле морской ледяной покров обуславливает сток  $\text{CO}_2$  из атмосферы.

Данные аэростатных зондирований пограничного слоя атмосферы (до высоты 1,5 км) и аэрологических – до высоты 30 км в настоящее время используются как для анализа изменчивости климата свободной атмосферы СЛО, так и для совершенствования региональной модели прогноза состояния полярной атмосферы, выполняющегося совместно ААНИИ и Гидрометцентром Росгидромета. В этой связи наибольший интерес представляют измеренные впервые в Центральной Арктике параметры струйных течений нижнего уровня и их временная изменчивость на периодах от 30 с до 2–3 ч.

Подводя итоги краткого обзора результатов метеорологических исследований на дрейфующих станциях «Северный полюс-35, 36» следует подчеркнуть, что, наряду с результатами описанных выше специально ориентированных экспериментов, проведенные в период дрейфа на современном оборудовании и высококвалифицированным персоналом стандартные метеорологические наблюдения представляют собой во многом единственную возможность получения информации, необходимой для целей продолжения мониторинга состояния атмосферы Центральной Арктики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорнин Ю.П., Гудкович З.М. Дрейф морских льдов. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 110 с.
2. Макитас А.П., Назаренко Л.С., Шутилин С.В. Модель морского ледяного покрова Арктического бассейна // Математические модели в исследовании динамики океана. Новосибирск.: ВЦ СО АН СССР. 1988. С. 96–116.

3. *Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О.* Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 269 с.
4. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. 2007 / Под ред. И.Е.Фролова. СПб.: ААНИИ, 2008. 80 с.
5. Патент № 84999 от 25.11.08. Система для определения времени и координат места образования айсбергов. Авторы Смирнов В.Н., Шушлебин А.И., Ковалев С.М.
6. *Смирнов В.Н.* Динамические процессы в морских льдах. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 162 с.
7. *Смирнов В.Н.* Особенности динамики и механики деформирования льда Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 73–84.
8. *Смирнов В.Н., Ковалев С.М., Никитин В.А., Шейкин И.Б., Шушлебин А.И.* Новые технологии изучения механики и динамики морского льда и получения исходных данных для оценки сил ледового воздействия на берега, дно и сооружения // Труды RAO/GIS OFFSHORE 2009, PROCEEDINGS. Санкт-Петербург 15–18 сентября 2009 г. СПб., 2009. Т. 2. С. 288–293.
9. *Смирнов В.Н., Чмель А.Е.* Самоподобие и самоорганизация в дрейфующем ледяном покрове Арктического бассейна // Доклады Академии наук. 2006. Т. 5. С. 684–687.
10. *Шейкин И.Б., Смирнов В.Н., Ковалев С.М.* Оценка точности GPS-измерений на ледяном поле дрейфующей станции СП-33 // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 79. С. 31–44.
11. *Andreas E.L., Jordan R.E., Makshtas A.P.* Parameterizing turbulent exchange over sea ice: the ice station Weddell results // Boundary-Layer Meteorology. 2005. Vol. 114. P. 439–459.
12. *Jordan R.E., Andreas E.L., Makshtas A.P.* Heat budget of snow-covered sea ice at North Pole 4 // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104. P. 7785–7806.
13. *Makshtas A.P., Shoutilin S.V., Marchenko A.V., Bekryaev R.V.* Dynamic-thermodynamic sea ice model: application to climate study and navigation // J. of Ship&Ocean Technology, 2004. Vol. 8. № 2. P. 20–28.
14. *Polyakov I.V., Alekseev G.V., Timokhov L.A., Bhatt U.S., Colony R.L., Simmons H.L., Walsh D., Walsh J.E., Zakharov V.F.* Variability of the intermediate Atlantic Water of the Arctic Ocean over the last 100 years. // Journal of Climate. 2004. Vol. 17(23). P. 4485–4497.
15. *Polyakov I.V., Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frolov I.E., Gerdes R., Gerdes R., Hansen E., Holfort J., Ivanov V., Jonson M., Karcher M., Kauker F., Morison J., Orvik K., Schauer U., Smmons H., Skagseth O., Sokolov V., Steel M., Timokhov L., Walsh D., Walsh J.E.* One more step toward a warmer Arctic // Geophys. Res. Lett., 32, L17605, doi:10.1029/2005GL0237402005. P. 1–4.
16. *Смирнов В.Н.* The mechanism of dynamic loads in compressed sea ice during shear failure // Proc. 16th Int. Conf. on Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions, POAC, Ottawa, Canada, 2001. Vol. 2. P. 421–429.

*I.M.ASHIK, S.A.KIRILLOV, A.P.MAKSHTAS, V.N.SMIRNOV, V.T.SOKOLOV, L.A.TIMOKHOV*

## **THE MAJOR RESULTS OF THE SEA-GOING ARCTIC EXPEDITIONS IN THE BEGINNING OF XXI CENTURY**

*This paper briefly reviews the general information on Russian marine expedition researches during IPY 2007/08 in the Arctic and the major results obtained in these cruises. The authors speculate about the possible factors that are responsible for the forming of sizable anomalies in thermohaline structure both in the surface and intermediate layers. Except the oceanographic results, this paper also reviews the results of observation at the ice-drifting station North Pole including ice-physics, atmospheric researches and the surface heat balance.*

**Keywords:** International Polar Year, Arctic Ocean, marine expedition, thermohaline conditions, water temperature, water salinity, physics of ice, dynamic processes into ice cover, physics of atmosphere, heat balance.

**ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ФЕДОРОВ  
(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

*д-р геогр. наук Л.М.САВАТЮГИН, науч. сотр. М.А.ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, ashik@aari.ru*

10 апреля 2010 г. исполняется 100 лет со дня рождения Евгения Константиновича Федорова — известного полярника, много лет возглавлявшего Гидрометслужбу СССР, академика АН СССР, геофизика с мировым именем, государственного и общественного деятеля

Годы его славы приходятся на тот период, когда наш народ с восторгом воспринимал вести, приходившие из Арктики, освоение которой являлось огромным достижением советской власти. Передовые полосы газет и радиопередачи были полны рассказов о плавании ледокола «Георгий Седов» к Земле Франца-Иосифа, экспедиции на Северную Землю под руководством Георгия Ушакова, первом сквозном плавании ледокольного парохода «Александр Сибиряков» по Северному морскому пути с запада на восток за одну навигацию, челюскинцах, беспосадочном перелете экипажа Валерия Чкалова по маршруту Москва—Дальний Восток и, конечно, созданной в Арктике впервые в мире дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-1».

21 мая 1937 г. воздушная экспедиция под руководством О.Ю.Шмидта доставила в район Северного полюса четверку исследователей-полярников во главе с И.Д.Папаниным. Если мы откроем газету «Вечерняя Москва» за 22 мая 1937 г., то на первой же ее странице увидим знаменитых героев-полярников на льдине и прочтем восторженные приветствия «сталинским питомцам и отважным сыновьям Родины, завоевавшим полюс».



В четверку мужественных полярников кроме И.Д.Папанина входили гидробиолог и океанолог П.П.Ширшов, полярник-радиотехник Э.Т.Кренкель и геофизик-астроном Е.К.Федоров. Папанинцы во время своего 274-суточного высокоширотного дрейфа провели уникальный для того времени комплекс научных наблюдений, собрали исключительно ценные материалы

о природе Центральной Арктики. Они открыли поднятия дна, в то время считавшиеся частью «Порога Нансена», составленный ими на основании многочисленных замеров глубин профиль дна выявил впадины глубиной более 4 км близ полюса и в Гренландском море, разделенные мощным гребнем, своими измерениями подтвердили наличие

течения, обнаруженного еще знаменитым Ф.Нансеном, выявили особенности льдов Центральной Арктики, определили величину магнитного склонения у полюса и по линии дрейфа. Лично Евгений Константинович Федоров на основе тысячи метеорологических замеров доказал ошибочность представления о существовании в районе полюса постоянного антициклона, опровергнув прежние представления о структуре и круговороте атмосферы в приполюсном пространстве.

Невозможно описать все трудности беспримерного дрейфа: морозы, ледяные шторма, постоянные разломы казавшейся в начале пути огромной льдины, медведи — все усиливало нервное напряже-

ние чувствовавших огромную ответственность перед страной участников дрейфа. Впрочем, о станции «Северный полюс-1» написано много книг, в том числе самими участниками дрейфа И.Д.Папаниным и Э.Т.Кренкелем. Новые подробности о жизни четверки можно найти в изданных значительно позже записках Евгения Константиновича Федорова. Эти заметки, написанные в спокойной, далекой от пафоса, простой и доверительной манере, носят название «Полярные дневники». В книге много штрихов из богатой биографии автора, до сих пор пользующегося широкой известностью в мировых научных кругах. Поэтому позволим себе остановиться на основных моментах его жизни.

Евгений Константинович родился 10 апреля 1910 г. в городе Бендеры (ныне Приднестровье) в семье служащего. В 1927 г. окончил опытно-показательную школу при Нижегородском педагогическом институте. После окончания Ленинградского государственного университета (1932 г.) трудовую деятельность в качестве магнитолога начал в Заполярье: в 1932–1933 гг. на полярной станции в бухте Тихая на Земле Франца-Иосифа, а в 1934–1935 гг. на мысе Челюскина (в 1983 г. станция Мыс Челюскин Указом Президиума Верховного Совета СССР переименована в полярную станцию имени Е.К.Федорова).

И, наконец, принесшее ему заслуженную славу – участие в работе на дрейфующей станции «Северный полюс-1» (1937–1938 гг.). За мужество и героизм в деле освоения Арктики Евгению Константиновичу Федорову, как и другим участникам дрейфа, было присвоено звание Героя Советского Союза с вручением ордена Ленина, а после учреждения знака особого отличия он был награжден медалью «Золотая Звезда».

Звездная биография продолжалась еще десяток лет. В 1938–1939 гг. он – директор Арктического НИИ, а в период с 1939 по 1947 г. – начальник Гидрометслужбы СССР. Трудно поверить, что всех четверых незаурядных профессионалов (в том числе и Е.К.Федорова), сильных и мужественных людей, которыми гордилась страна, подвергли незаслуженным репрессиям. Первым пострадал немец Эрнст Кренкель «за низкопоклонство перед Западом», он был уволен из Главсевморпути, и долгое время знаменитый герой оставался без ра-

боты. Папанину «попало» за построенную им трехэтажную дачу (его отстранили от руководства Главсевморпути). Про трагедию Ширишова был снят документальный фильм, ее подоплека была банальна: на красавицу жену Ширишова – очаровательную актрису Евгению Гаркушу – положил глаз Берия, после отказа всемогущему она была арестована «за спекуляцию», обвинена в шпионаже на Англию и умерла в 1948 г. в одном из лагерей ГУЛАГа под Магаданом.

Евгений Константинович стал одной из жертв идеологической кампании 1947–1948 гг. Им, в то время генерал-лейтенантом, начальником Гидрометслужбы СССР, занимался так называемый суд чести. На поверхности было обвинение в том, что метеорологи не предсказали ливень, сорвавший первомайскую демонстрацию. На деле «публичная порка» была устроена за «пресмыкательство и раболепие перед иностранней».

Страна стояла на пороге «холодной войны», и правительство считало излишним встряхнуть видных ученых, деятелей культуры и чиновников высокого ранга, наглухо закрыть страну от Запада. Конечно, Евгений Константинович весьма часто по роду службы общался с иностранными коллегами. Обвинения в его адрес касались и снабжения метеосводками судов союзных конвоев, и веселого обмена фуражками с американским генералом на гулянии в честь Дня Победы, и просто дружелюбного отношения к коллегам-союзникам. Евгений Константинович был снят с поста, лишен звания генерал-лейтенанта.

Публичные обвинения не прошли бесследно ни для нервов героев, ни для их положения в обществе. Однако после смерти Сталина в жизни героев-полярников начался новый виток.

В 1962 г. Е.К.Федоров был вновь назначен начальником Гидрометслужбы СССР, которой руководил до 1974 г., сразу же начав ее реорганизацию. Сеть наблюдений по инициативе Е.К.Федорова пополнилась радиолокаторами, самолетами-лабораториями, автоматическими метеостанциями, метеорологическими спутниками.

Заслуги Е.К.Федорова перед отечественной наукой можно перечислять очень долго. Он был организатором и директором (1956–1969 и с 1974 г.) Института

прикладной геофизики Гидрометслужбы СССР, в 1960 г. стал академиком. С 1959 по 1962 г. выполнял обязанности главного ученого секретаря Президиума АН СССР. Е.К.Федоров был крупным государственным и общественным деятелем, вел огромную общественную работу, уделяя много сил и энергии борьбе за мир: был заместителем председателя Советского комитета защиты мира, членом Президиума Всемирного Совета Мира, в 1979–1981 гг. – председателем Советского комитета защиты мира, главой делегации на первой Всемирной конференции по климату.

Научная и общественная деятельность академика Федорова были отмечены высокими правительственными наградами. Кроме Золотой Звезды Героя Советского Союза, у него было шесть орденов Ленина, орден Октябрьской Революции, два ордена Трудового Красного Знамени, два ордена Отечественной войны I степени, орден Кутузова II степени и другие ордена и медали, в 1946 г. он был удостоен звания лауреата Сталинской премии, а в 1969 году – Государственной премии СССР. Почетный гражданин Обнинска. Е.К.Федоров – ученый с мировым именем, много лет был вице-президентом Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Личная жизнь Евгения Константиновича сложилась благополучно. Исключительно тепло в книге «Полярные заметки» он пишет о своей жене Анне Викторовне Гнедич, которая разделяла с ним трудности работы на полярной станции Мыс Челюскин. Из его воспоминаний мы узнаем, что она вместе с женой И.Д.Папанина была одной из первых женщин-полярниц. Анна Викторовна помогала выдержать невзгоды и трудности в жизни, была приветливой хозяйкой дома, а главное «помогла выдержать испытание столь рано и внезапно пришедшей славой, известностью, высокими постами». С любимой женщиной Евгений Константинович прожил 43 года. В 1977 г. от сердечной недостаточности умерла Анна Викторовна, еще раньше ушел из жизни любимый взрослый сын. Двойная трагедия не сломила Е.К.Федорова, он спасался работой, и фантастическая занятость помогала забыть о сердечной пустоте и боли. Им были написаны труды по исследованию геофизических полей в Арктике, водного балан-

са облаков, искусственного воздействия на метеорологические процессы, по изучению высоких слоев атмосферы с помощью искусственных спутников Земли, загрязнения окружающей среды. Основные труды Е.К.Федорова: «Глобальные исследования атмосферы и прогноз погоды» (М., 1971), «Взаимодействие общества и природы» (Л., 1972), «Экологический кризис и социальный прогресс» (Л., 1977), «Полярные дневники» (Л., 1979), «Научные аспекты политических переговоров» (М., 1981).

Умер Евгений Константинович 30 декабря 1981 г. Похоронен в Москве на Новодевичьем кладбище.

Его именем названо научно-исследовательское судно Роскомгидромета «Академик Федоров», которое является флагманом российского полярного флота (оно совершило уже более 30 рейсов в Арктику и Антарктику). Имя Е.К. Федорова присвоено Институту прикладной геофизики РАН (Москва), одной из центральных улиц города Бендеры (1982), площади и соревнованиям по лыжным гонкам в Обнинске, полярной станции Мыс Челюскин (1983) и полярной станции на о. Вайгач, премии Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за лучшие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, имеющие большое научное и практическое значение для Росгидромета (2002). Символом Обнинска стала высотная метеорологическая мачта имени академика Е.К.Федорова, являющаяся уникальной геофизической обсерваторией.

Образ Евгения Константиновича Федорова, настоящего полярного исследователя, всегда будет примером для всех поколений российских полярников.

## **ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ»**

1. Объем статьи не должен превышать 15 страниц текста в формате Microsoft Word с полуторным интервалом, включая список литературы, таблицы и рисунки.
2. Статьи должны быть представлены в распечатанном виде и переданы в электронном формате на CD или flash-накопителе (только при личной явке автора) в соответствии с нижеприведенными требованиями. Допускается пересылка файлов со статьей по электронной почте.
3. В комплект статьи, присылаемой автором, должны входить:
  - Основной текст статьи на русском языке (включает в себя подрисовочные подписи и библиографический список).
  - Иллюстративный материал в виде отдельных файлов любого из графических форматов в соответствии с нижеприведенными требованиями.
  - Текст аннотации на русском и английском языках.
  - Ключевые слова на русском и английском языках.
  - Название статьи, инициалы и фамилии авторов на русском и английском языках.
  - Сведения об авторах (ученая степень (или должность при отсутствии степени), название организации, город, электронная почта и телефон (в статье не публикуется)) только на русском языке.
  - УДК статьи.
  - Акт экспертизы и сопроводительное письмо, подписанное руководителем организации или учреждения, где работает автор (авторы), или самим автором (авторами).
4. Требования к представляемым текстовым файлам:
  - Текст должен быть представлен в формате Word 97–2003. При подготовке текста необходимо использовать стандартный шрифт Times New Roman 12 пт., для набора греческих и некоторых специальных символов использовать шрифт Symbol.
  - Дробные части чисел отделяются от целых ЗАПЯТОЙ, а не точкой.
  - Не допускается:
    - использование цифры 0 и буквы O в надстрочном написании в качестве символа градуса;
    - символа «-» вместо «—»;
    - использование символа «x» вместо символа «×»;
    - использование символов N, O, S, W в качестве указания широты и долготы как в текстах, так и на картах;
    - использование неразрывного пробела.
  - В качестве внешних кавычек используется пара «». При необходимости использования внутренних кавычек набираются кавычки “”.
5. Требования к таблицам:
  - Таблицы должны быть подготовлены в Microsoft Word шрифтом Times New Roman (при необходимости Symbol) 9 пт.
  - В каждой ячейке таблицы НЕ ДОЛЖНО БЫТЬ более 1 абзаца
  - При подготовке таблиц следует помнить, что максимальная ширина таблицы в книжной ориентации 125 мм, в альбомной 195 мм.
  - Таблицы оформляются разделительными линиями толщиной 0,5 пт.
6. Требования к графическим файлам:
  - Иллюстрации к статье готовятся в любом доступном для автора редакторе или приложении. При этом каждая иллюстрация ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ В ВИДЕ ОТДЕЛЬНОГО ФАЙЛА в одном из графических форматов: \*.jpg, \*.tif, \*.eps, \*.cdr, \*.wmf, \*.ai. НЕ ПРИНИМАЮТСЯ иллюстрации, помещенные в документы Word или нарисованные в нем. Допускается иллюстративный материал в формате \*.xls

(строго БЕЗ рамок). Все иллюстрации должны быть ЕДИНООБРАЗНЫ (шрифт, линии) по стилю.

- Принимаются только черно-белые иллюстрации. Цветные изображения должны быть отредактированы авторами с учетом того, что цвет не является носителем информации и проконвертированы в черно-белые (серые). Растровые иллюстрации должны иметь разрешение не менее 300 пикс/дюйм. НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ использование тоновых заливок.
  - Размер и ориентация иллюстрации подбираются автором исходя из размеров полосы верстки, которая не превышает 195×125 мм (максимальный размер иллюстрации, включая подрисовочную подпись и легенду).
  - Для иллюстраций в векторном формате (рисунке в формате Corel Draw, Adobe Illustrator, Microsoft Excel или файлы, экспортированные в формат \*.wmf) необходимо использовать только стандартные шрифты Windows (Times New Roman, Symbol) или их аналоги Type-1. При использовании иных шрифтов они должны быть проконвертированы в кривые.
  - Для оцифровки осей рисунков необходимо использовать только вышеуказанные шрифты НОРМАЛЬНОГО начертания, размером не более 10 пт. Десятичный знак при оцифровке осей – только ЗАПЯТАЯ.
  - Все карты, схемы, диаграммы, рисунки должны быть на русском языке.
7. Требования к списку литературы:
- Список работ, на которые есть ссылки в тексте, формируется в алфавитном порядке по фамилии первого автора (при отсутствии автора используется первая буква названия работы) и нумеруются. Сначала идет перечень публикаций на русском языке, далее, при сквозной нумерации, иностранных публикаций также в алфавитном порядке. Все работы из списка оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008.
  - Ссылка на номер работы дается в тексте в квадратных скобках [ ].

С полным перечнем требований к статьям можно ознакомиться на web-странице журнала <http://www.aari.ru/main.php>.

*Редакция оставляет за собой право делать необходимые редакционные исправления, дополнения, сокращения.*

*За размещение статей в журнале оплата НЕ ВЗЫМАЕТСЯ.  
Всем авторам публикаций бесплатно высылаются 1 экземпляр журнала.*

Подписано в печать 03.03.2010  
Формат 70×100 1/16  
Тираж 500

Печать офсетная  
Усл. печ. л. 8  
Заказ № 4

Ротапринт ГНЦ РФ 160ААНИИ  
199397, ул. Беринга, 38