



ISSN 0555-2648

ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 1 (99)

2014 г.



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 (99)

Издается с июня 1937 г.



*100-летию со дня рождения
академика,
Героя Социалистического Труда,
полярного исследователя
Алексея Федоровича Трёшникова
посвящается*

Санкт-Петербург
ААНИИ
2014

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

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

канд. геогр. наук *И.В.Бузин*

(ученый секретарь, тел. (812) 337-3212, e-mail: buzin@aari.ru)

А.А.Меркулов

(секретарь, тел. (812) 337-3135, e-mail: aam@aari.ru)

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

канд. физ.-мат. наук *Л.П.Бобылев* (Фонд Нансен-центр)

д-р геогр. наук *В.С.Вуглинский* (ГГИ)

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

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

д-р геогр. наук *Г.К.Зубакин* (ААНИИ)

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

д-р физ.-мат. наук *В.М.Катцов* (ГГО)

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

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

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

канд. биол. наук *А.В.Неелов* (ЗИН РАН)

д-р геогр. наук *А.Ю.Прошутинский* (Woods Hole Oceanographic Institute, USA)

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

д-р философии *Д.Рэйно* (Centre National de la Recherche Scientifique, France)

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

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

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

д-р физ.-мат. наук *О.А.Трошичев* (ААНИИ)

ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 1 (99)

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.

Подписные индексы издания в каталоге «Газеты. Журналы» ОАО «Агентство Роспечать»
70279 – на год

48657 – для индивидуальных подписчиков (на полгода)

70278 – для предприятий и организаций (на полгода)

Редактор О.В. Лапина

ISSN 0555-2648

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

<i>СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ. Н.А. Корнилов, Л.М. Саватюгин, И.Н. Сократова.</i> К 100-летию А.Ф. Трёшникова	5
<i>СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ. Э.И. Саруханян.</i> Только берегите эту Землю!	15
<i>В.В. Лукин.</i> Российская антарктическая экспедиция на рубеже веков. Связь времен и поколений.....	22
<i>Г.В. Алексеев.</i> Исследования взаимодействия океана и атмосферы в Северной полярной области по программам крупномасштабных натуральных экспериментов НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы» в 1960—1980-е годы.....	41
<i>А.П. Махитас, В.Ф. Тимачев, В.Т. Соколов, В.Ю. Кустов, И.А. Говорина.</i> Процессы турбулентного энергообмена на границе морской лед — атмосфера по историческим данным и данным дрейфующих станций «Северный полюс-35» и «Северный полюс-39»	53
<i>Н.Н. Антипов, А.И. Данилов, А.В. Клепиков.</i> Исследования Южного океана по научным программам ААНИИ: от программы «ПОЛЭКС-Юг» до ФЦП «Мировой океан»	65
<i>А.И. Коротков, С.В. Кашин.</i> Антарктический припай — эффективный показатель характера развития ледовых процессов в Южном океане.....	86
<i>Д.О. Владимирова, А.А. Екайкин.</i> Климатическая изменчивость в секторе моря Дейвиса (Восточная Антарктида) за последние 250 лет по данным геохимических исследований ледяного керна из скважины 105-й км.....	102
<i>Г.Л. Лейченко, В.Я. Липенков, А.В. Антонов, С.А. Булат, F. Charlot,</i> <i>И.А. Алёхина, А.А. Екайкин, Б.В. Беляцкий.</i> Природа микрочастиц, обнаруженных в скважине после вскрытия озера Восток	114
Памяти Ю.А. Израэля	123
Памяти З.М. Гудковича.....	125

CONTENTS

<i>PAGES OF HISTORY. N.A. Kornilov, L.M. Savatyugin, I.N. Socratova.</i>	
In honour of the 100th anniversary of the A.F. Tryoshnikov's birth.....	5
<i>PAGES OF HISTORY. E.I. Sarukhanyan. Only remember to take care of Earth!</i>	15
<i>V.V. Lukin. Russian Antarctic Expedition at the turn of the century. Relation of times and generations. Problems Arctic and Antarctic</i>	22
<i>G.V. Alekseev. Studies of the Ocean and Atmosphere interaction in the North polar area on programs of the large scale field experiments "FEI", "POLEX-Sever", "SECTIONS" in 1960—1980s.....</i>	41
<i>A.P. Makshtas, V.F. Timachev, V.T. Sokolov, V.Yu Kustov, I.A. Govorina. Turbulent energy exchange Processes on the boundary of Sea ice — atmosphere on historical data and data of drifting stations "North Pole-35" and "North Pole-39"</i>	53
<i>N.N. Antipov, A.I. Danilov, A.V. Klepikov. Studies of the Southern Ocean within the AARI scientific programmes: from POLEX-South programme to FTP "The World Ocean"</i>	65
<i>A.I. Korotkov, S.V. Kashin. Antarctic fast ice as an effective indicator of the development of ice processes in the Southern Ocean.....</i>	86
<i>D.O. Vladimirova, A.A. Ekaykin. Climatic variability in Davis Sea sector (East Antarctica) over the past 250 years based on the 105 km ice core geochemical data.....</i>	102
<i>G.L. Leychenkov, V.Ya. Lipenkov, A.V. Antonov, S.A. Bulat, F. Charlot, I.A. Alyokhina, A.A. Ekaykin, B.V. Belyatsky. The nature of microparticles found the borehole after unsealing of lake Vostok</i>	114
In Memory of Yu.A. Izrael.....	124
In Memory of Z.M. Gudkovich	126

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

УДК 929+91

Поступила 11 февраля 2014 г.

К 100-ЛЕТИЮ А.Ф. ТРЁШНИКОВА

канд. геогр. наук Н.А. КОРНИЛОВ¹, д-р геогр. наук Л.М. САВАТЮГИН²,
канд. геогр. наук И.Н. СОКРАТОВА³

¹ Ассоциация полярников России

² ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: savat@aari.ru

³ Отделение наук о Земле РАН, г. Москва

14 апреля 2014 г. в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте Росгидромета будет отмечаться значительное для всего российского научного сообщества событие — 100 лет со дня рождения одного из самых выдающихся полярников XX века академика Алексея Федоровича Трёшникова, возглавлявшего Институт с 1960 по 1981 г. Имя «Хозяин двух полюсов», как при жизни называли своего любимого директора сотрудники ААНИИ, по праву стоит в одном ряду с именами Ю.М. Шокальского, В.Ю. Визе, Н.Н. Зубова, И.Д. Папанина, М.М. Сомова.

Родился будущий полярный исследователь 14 апреля 1914 г. в небольшом селе Павловка Симбирской губернии в крестьянской семье. С детства, по собственным воспоминаниям, он мечтал о дальних странах: «...Еще в годы раннего детства хранил я тайную уверенность увидеть и обойти мир. С величайшим увлечением отдавался чтению книг...» (Трёшников, 1985). Обрывки описания экспедиций, занимавшихся поисками Джона Франклина, найденные на чердаке полуразрушенного барского дома, произвели такое впечатление на мальчишку, что он впервые задумался о судьбе полярника. «Спрятавшись в зарослях лопухов, я с упоением читал увлекательные страницы о том, как где-то на Севере люди на собачьих упряжках пересекали ледники и торосы, голодали, жевали кожаную обувь, жили в хижинах из снега, замерзали и все же стремились вперед к какой-то цели. Все эти подлинные события далекой жизни завораживали и привлекали», — пишет в своих воспоминаниях А.Ф. Трёшников (Трёшников, 1985).

Годы становления его личности совпали с огромным интересом всех советских людей к делу освоения Арктики. К этому времени Алексей Трёшников был уже вполне самостоятельным человеком, успевшим два года поработать в колхозе, а затем, по окончании курсов по комсомольскому набору, учителем и даже директором сельской школы. В 1932 г. он приехал в Ленинград и поступил в Сельскохозяйственный институт в г. Пушкине на рабфак.

В 1934 г., когда имена первых Героев Советского Союза — полярных летчиков, снявших в 1934 г. людей со льдины после трагической гибели парохода «Челюскин», были у всех на устах, А.Ф. Трёшников принял окончательное решение связать свою профессию с географией и морскими исследованиями. Он поступил в Ленинград-

ский государственный университет на геолого-почвенно-географический факультет. Океанографию, которой впоследствии Трёшников посвятил всю жизнь, преподавал президент Русского географического общества с 1914 г. академик Юлий Михайлович Шокальский. Этот выдающийся российский географ в последние годы, когда здоровье пошатнулось, читал лекции группе студентов кафедры гидрологии в своей квартире. Студенты с интересом рассматривали свешивающийся с потолка прозрачный абакжур в виде глобуса и рельефную карту арктического острова Шокальского на стене. Удивительная атмосфера, царившая во время этих лекций, оказала большое влияние на формирование А.Ф. Трёшникова как ученого. Алексей Трёшников был любимым учеником Ю.М. Шокальского на этом последнем в его жизни курсе, и именно ему академик предрекал большое научное будущее.

Летом 1938 г., по окончании четвертого курса, Алексей Федорович выдержал первый морской экзамен — в качестве студента-практиканта принял участие в работе небольшой гидрографической экспедиции на моторном боте «Иван Папанин», осуществлявшем промеры в восточной части Карского моря. Данные наблюдений за течениями, собранные студентом Трёшниковым во время первого арктического плавания, легли в основу его дипломной работы, блестяще написанной под руководством Ю.М. Шокальского.

Однокурсник и друг А.Ф. Трёшникова Г.А. Баскаков, в течение многих лет заведовавший лабораторией динамики моря ААНИИ, а в свое время — сосед по комнате в студенческом общежитии ЛГУ на 5-й линии Васильевского острова в доме № 66, часто вспоминал студенческие годы. Жили студенты дружно, весело, увлекаясь театром, книгами, танцами и, конечно, девушками, у которых красивый, высокий, стройный и веселый Алексей пользовался большим успехом. Однако уже на третьем курсе стало ясно, что больше других ему нравится Таня Макаревич. На пятом курсе они поженились.

Как пишет Г.А. Баскаков, *«это была чудесная пара! Он — светловолосый русский богатырь, она — яркая брюнетка, со слегка смуглым личиком, женственная, с идеальной фигуркой...»* (Академик Трёшников, 2004). Это были любовь и брак на всю жизнь. Татьяна Николаевна впоследствии получила ученую степень кандидата географических наук и долгие годы возглавляла один из отделов Государственного гидрологического института. Алексей Федорович всю жизнь обожал жену и очень дорожил ее мнением. По воспоминаниям друзей, на предложение сбрить не особенно украшавшие его усы, которые Трёшников отрастил в уже пожилом возрасте, тот сердился: «Татьяна Николаевна утверждает, что они мне идут».

В 1939 г. Алексей Федорович окончил университет и был направлен на работу в Арктический научно-исследовательский институт, пройдя в нем путь от младшего научного сотрудника до директора.

Уже в первый год работы в Институте он отправился в длительную экспедицию на Новосибирские острова с целью изучения проливов Дмитрия Лаптева и Санникова. Эта экспедиция оставила в памяти будущего выдающегося ученого самые яркие воспоминания. В книге «Мои полярные путешествия» Трёшников по дневниковым записям, которые он вел во всех экспедициях, с любовью восстановил все детали этой зимовки на островах.

Сначала путешественники построили на одном из островов архипелага большой уютный дом, из которого можно было совершать длительные лыжные походы

на соседние острова. На Малом Ляховском острове для зимовки облюбовали урасу (временное жилище якутов конусообразной формы, построенное из плавникового леса и жердей), где и поселились, а рядом организовали метеоплощадку. С наступлением весны путешественники посетили Землю Бунге, остров Фаддеевский, а затем добрались на лыжах к проливу Санникова, где решено было провести серию гидрологических наблюдений.

Участникам экспедиции пришлось пережить немало трудностей: сильнейшие морозы, снежные бури, боль от обморожений. Особенно тяжелым было пребывание в районе пролива Санникова, где, несмотря на жестокую экономию керосина и продовольствия, они отчаянно голодали и находились на грани гибели. Несмотря на голод и неоднократные купания в холодной воде, никто не заболел, и всем удалось благополучно вернуться на базу. Это был первый опыт суровых полярных испытаний. И хотя впоследствии А.Ф. Трёшникову приходилось часто бывать в Арктике на борту экспедиционных судов и самолетов, яркие воспоминания об этой экспедиции остались навсегда: *«никогда больше уже не испытал той остроты переживаний, как в ту зимовку, когда впервые удалось осуществить мечту далекого детства»* (Трёшников, 1985). При этом он подчеркивал: *«...Если вспомнить о трудностях, то сезон на патрульном судне, маленьком парусно-моторном боте, труднее, чем плавание до Антарктиды»* (Трёшников, 1985).

Во время этой экспедиции 25 июня 1941 г. А.Ф. Трёшников по радио узнал о начале войны с Германией. Как писал Алексей Федорович: *«С началом войны как-то внезапно кончилась моя юность»* (Трёшников, 1985). Участники экспедиции надеялись, что после прибытия в порт Игарка их всех отправят на фронт. Однако полярников оставили работать в Арктике. Арктический научно-исследовательский институт был эвакуирован в Красноярск, где продолжал работать до лета 1944 г., обеспечивая нужды арктических морских операций. А.Ф. Трёшников участвовал в научно-оперативной работе по обеспечению гидрометеорологической информацией кораблей Северного флота и караванов грузовых судов, следовавших в моря Карское и Лаптевых с востока. За эти работы он был награжден медалями «За работу в Арктике», «За оборону Советского Заполярья», «За победу над Германией».

Вернувшись в Ленинград в 1944 г., А.Ф. Трёшников возобновил научную работу и в 1946 г. защитил кандидатскую диссертацию, в основу которой легли материалы собственных экспедиционных научных наблюдений по метеорологии и гидрологии. Научным руководителем его диссертационной работы стал крупнейший ученый-океанолог Владимир Юльевич Визе.

В начале 1948 г. в связи с реализацией «Атомного проекта СССР» активизировались работы в Центральной Арктике. Был одобрен план высокоширотной воздушной экспедиции, получившей название «Север-2» («С-2»), и А.Ф. Трёшников назначили руководителем третьего научного отряда для работы в районе Полюса относительной недоступности, на границе Восточного и Западного полушарий. 21 день провел он на базе, созданной на льдине. Три месяца спустя Трёшников был назначен начальником экспедиции на гидросамолете, которым командовал И.И.Черевичный. Летали над берегом, островами и льдами Центральной Арктики, покрыв за один месяц более 50 тыс. км. Трёшникову удалось составить подробную карту ледового покрова от архипелага Новая Земля до острова Врангеля и к северу до 83-й параллели.



Руководитель отряда ВШЭ «Север-4»
А.Ф. Трёшников, 1949 г.
Фото из архива ААНИИ.

Весной 1949 г. в Центральную Арктику отправилась воздушная экспедиция «Север-4» (третий номер был присвоен океанографической экспедиции на ледорезе «Литке»). Алексей Федорович руководил одним из «подвижных отрядов». Им удалось обнаружить одну из вершин крупного подводного хребта, простирающегося от Новосибирских островов к Северному полюсу и далее к Земле Элсмира, который получил название по имени великого русского ученого М.В. Ломоносова. В ходе последующих экспедиций очертания хребта были уточнены; также обнаружены другие поднятия дна Арктического бассейна: хребет Менделеева, хребет Гаккеля. Таким образом, была открыта огромная подводная горная страна с впадинами между хребтами.

Открытие подводного хребта Ломоносова стало крупнейшим географическим событием середины XX века. Оно принадлежало большому коллективу советских

ученых и летчиков, в числе которых были М.Е. Острекин, П.К. Сенько, М.М. Сомов, П.А. Гордиенко, Я.Я. Гаккель, В.Х. Буйницкий, Л.Л. Балакшин, И.С. Песчанский, В.А. Токарев, И.И. Черевичный, В.И. Аккуратов, И.С. Котов, В.И. Масленников, М.И. Козлов и многие другие. За выполнение научных исследований в Центральной Арктике полярники были удостоены высоких правительственных наград. Алексей Федорович был награжден Золотой Звездой Героя Социалистического Труда.

Весной 1950 г. для дальнейшего изучения Арктики была организована высокоширотная экспедиция «Север-5», которая наряду с работой «подвижных отрядов» предусматривала организацию двух дрейфующих станций, начальниками которых должны были стать М.М. Сомов и А.Ф. Трёшников. Станция под руководством М.М.Сомова получила название «Северный полюс-2» (СП-2). Алексею Федоровичу не повезло. Лыдина, подобранная для создания станции, в результате сильных подвижек льда раскололась. Полярники, которые собирались зимовать на этой лыдине, с печалью выслушали известие о том, что им придется возвращаться к своим обыденным делам.

Лишь в 1954 г. А.Ф. Трёшников дождался осуществления своей мечты. Он был назначен начальником дрейфующей станции СП-3. Начались бесконечные согласования, указующие и запрещающие бумаги, борьба за каждый лишний килограмм груза. Трёшников настаивал, чтобы в список было включено пианино. *«Ты себе представить не можешь, — говорил Алексей Федорович главному хозяйственнику экспедиции, — вокруг вечные льды, морозы, торосы голубеют. Полярник берет аккорд, и потрясенные белые медведи рыдают от восторга»* (Трёшников, 1985). Тем не менее начальник Главсевморпути В.Ф. Бурханов вычеркнул это фантастическое требование.

Открытие станции широко освещалось в прессе и по радио. Выбранная для станции лыдина имела овальную форму и была сложена из изумрудно-голубого льда

толщиной около 3 м. Усилиями полярников на льдине вырос палаточный поселок, были установлены приборы для наблюдений, заработала радиостанция. 14 апреля 1954 г. (в день сорокалетия начальника станции) на материк была передана первая метеорологическая сводка. Со временем палатки на льдине были заменены уютными сборными жилыми домиками, а арктическую тишину нарушили звуки пианино, которое все-таки доставили на самолете по приказу В.Ф. Бурханова, посетившего льдину вместе со всем своим штабом. К его приезду из снеговых кирпичей был сложен настоящий ледовый дворец. Площадки верхних ступеней украсили оскаленные морды медведей, изваянные из снега Василием Канаки. Прилетевшие гости были поражены красотой голубеющего в лучах солнечного света дворца (Волович, 2004).

В общей сложности под влиянием ветров и течений льдина проделала извилистый путь — около 2000 км, дрейф продолжался 376 дней. Алексей Федорович позже писал: *«Теперь, когда полярная ночь в прошлом, даже трудно представить себе ее бесконечность и тишину. Временами смотришь на торосы вблизи лагеря и думаешь: Могли бы мы перенести все это еще раз?»* (Трёшников, 1985). Действительно, в те далекие годы это были выдающиеся события, а люди, участвовавшие в работе СП, — настоящие герои. Особенно трудной и ответственной была роль руководителя экспедиции. Научные данные, полученные во время работы СП-3, внесли крупный вклад в дело изучения рельефа дна, был решен многолетний спор о генеральной схеме дрейфа льдов Арктического бассейна, получены важные материалы по земному магнетизму Центральной Арктики, ее погодному режиму, ионосфере и другим параметрам.

Следующим важным этапом жизненного пути Алексея Федоровича стала Антарктика. В 1956—1958 гг. он возглавил Вторую Комплексную антарктическую экспедицию (КАЭ), сменив на этом посту своего друга М.М. Сомова, руководившего Первой КАЭ. Как писал впоследствии Алексей Федорович, *«Вторая антарктическая экспедиция прибыла к уже обжитому месту»* (Трёшников, 1985). Программа работ Второй КАЭ выполнялась в рамках Международного геофизического года (МГГ) и была значительно расширена по сравнению с первой. Главной задачей экспедиции было создание научной станции в районе Южного геомагнитного полюса.

Продвижение в центральные районы Антарктиды требовало дополнительных резервов, поэтому зимовочный состав Второй КАЭ был увеличен почти вдвое, экспедиция была укомплектована с учетом опыта, полученного в Первой КАЭ. В частности, в Антарктиду было доставлено десять мощных гусеничных АТТ (артиллерийский тяжелый тягач) вместо обыкновенных тракторов, использовавшихся во время Первой КАЭ и оказавшихся непригодными для транспортировки большого количества грузов по антарктическому леднику. Среди новой техники были и четыре самолета ЛИ-2 на лыжах с моторами, имеющими специальные турбокомпрессоры. В доставке необходимого имущества (более 2000 т различных грузов) участвовали дизель-электроходы «Обь» и «Лена» и теплоход «Кооперация». Трудно представить, скольких тревог и бессонных ночей стоили руководителю экспедиции подбор всего необходимого имущества, выгрузка его в Мирном, а затем подготовка к предстоящим походам в глубь материка.

Для того чтобы определить возможность дальних переходов по антарктическому плато, А.Ф. Трёшников предпринял поход на новых тягачах на станцию Пионерская, которая была открыта во время Первой КАЭ. Он понимал, что на 1500-километровом пути к Южному геомагнитному полюсу необходимо создание еще одной проме-

жуточной базы со складом горючего и аэродромом. Решено было создать станцию Комсомольская, которая первоначальным планом экспедиции не предусматривалась. Поход по ее организации был закончен 7 марта 1957 г. в точке с координатами 74° 05' ю.ш., 97° 29' в.д.

В начале марта состоялись первые перелеты самолетов ЛИ-2 на новую станцию. На Комсомольскую вылетел и А.Ф. Трёшников. Здесь создалась необычайно трудная ситуация с возвращением самолетов обратно в Мирный. Жесткая поверхность наста из мелкого спрессованного снега и низкая температура воздуха не создавали условий для скольжения металлических лыж самолетов. Механики падали с ног от усталости, но взлететь удалось только одному самолету. Решено было заночевать на Комсомольской. Трёшников писал: *«Ночь была кошмарной. В небольшом домике на санях вповалку расположились 6 человек. Помню, когда я вышел на улицу, у меня было такое впечатление, что судьба нас забросила на какую-то другую планету. Над снежной равниной на темном небосклоне повисла огромная желтая луна, и снег блестел в ее лучах невероятно равнодушным светом... Меня терзали сомнения: выберемся ли мы благополучно из этих краев? И как? Такие часы, безусловно, стоят многих лет жизни»* (Трёшников, 1985).

На следующий день попытки взлететь делались вновь и вновь. При морозе -52 °С механики, поджигая облитую бензином ветошь, устроили на снегу ледовую площадку по ширине лыж самолета. Почти каждый взлет самолета со станции сопровождался поломкой лыжных креплений. Наконец самолетам с трудом удалось взлететь. Когда самолет П.П. Москаленко с А.Ф. Трёшниковым на борту взлетел, начальник экспедиции вздохнул с облегчением. Тем не менее он понимал, что самолеты не смогут обеспечить новую станцию Комсомольская всем необходимым, и принял решение о ее временной консервации (официально она была открыта 6 ноября 1957 г.).

Следующим этапом на пути продвижения на юг для организации станции на южном геомагнитном полюсе был поход поезда из пяти тягачей, который отправился из Мирного 28 февраля 1957 г. Походом руководил В.Г. Аверьянов. Трёшников лишь проводил поезд до 54-го километра, где находился склад горючего, и, тепло простившись с товарищами, вернулся в Мирный. Теперь ему оставалось только с волнением следить за продвижением этого похода. Поход был тяжелым: редко выдавались дни, когда поезд проходил большие расстояния без вынужденных остановок, требовавших напряженной физической работы на морозе, при сильном ветре, зачастую ночью, когда за границами узкой полосы света от фар тягачей ничего не было видно. Учитывая все эти трудности, особенно нехватку горючего, Алексей Федорович 18 марта 1957 г. дал указание остановиться и организовать временную станцию, получившую название Восток-1, на высоте 3380 м над уровнем моря. На зимовку осталось восемь человек во главе с В.Г. Аверьяновым.

Всю зиму Трёшников с коллегами анализировали работу тягачей, характер поверхности на всех участках пути, недостатки организации санно-тракторных походов, отрабатывали план подготовки и проведения нового похода, который базировался на совместных действиях наземного транспорта и авиации. Предстояло также провести массу подготовительных работ.

С наступлением весны 1957 г. поход к южному геомагнитному полюсу был продолжен. На этот раз санно-гусеничным поездом из шести тягачей руководил сам А.Ф. Трёшников. Когда врачи экспедиции узнали, что начальник сам хочет возглавить

поход на Восток, они запротестовали, ссылаясь на то, что Трёшникова часто мучает кашель, присущий заядлым курильщикам, и поставили условие — покончить с курением. Тогда Алексей Федорович, которого постоянно видели то с папиросой, то с трубкой в руках, бросил курить, никому об этом торжественно не объявляя.

Поезд в составе 27 человек вышел из Мирного 8 октября 1957 г. и 4 ноября прибыл в район станции Комсомольская, законсервированной в марте. Из-под снега были извлечены оставленные здесь домики и гусеничные тягачи. Трёшников, завершив работы по созданию базы горючего, вернулся на Комсомольскую, откуда самолетом вылетел в Мирный, чтобы встретить д/з «Обь», на борту которого прибыл состав Третьей континентальной советской экспедиции.

1 декабря была полностью демонтирована станция Восток-1, и колонна, состоящая из девяти гусеничных тягачей с прицепами и санями, на которых были установлены домики с жилыми помещениями и научными павильонами, кают-компанией, радиорубкой и электростанцией, двинулась к станции Комсомольская, куда прибыла через три дня. Вскоре к поезду из Мирного прилетел Трёшников. Беспокойным и невероятно напряженным для начальника экспедиции был весь этот период. Приходилось следить за работой всей экспедиции, регулярно читать сводки из Мирного, а также со станций Пионерская и Комсомольская, принимать множество решений по самым различным вопросам и вникать во все детали дальнейшего продвижения на юг, к намеченной цели.

16 декабря 1957 г. участники санно-тракторного похода, который возглавлял А.Ф. Трёшников, открыли вблизи южного геомагнитного полюса, в точке с координатами 72°27' ю.ш., 106°52' в.д., знаменитую и по сей день станцию Восток. Это событие произошло на стыке Второй и Третьей КАЭ. В дни, предшествовавшие окончанию похода, начальник Третьей КАЭ Е.И. Толстиков, переживавший, что поезд не успеет вернуться на станцию Мирный к отходу дизель-электрохода «Обь», отправлял Трёшникову радиogramмы, чтобы тот создал станцию, не доходя до запланированного места. Алексей Федорович велел радисту на радиogramмы не отвечать и на связь не выходить якобы из-за ее отсутствия. Лишь по достижении южного геомагнитного полюса связь «возобновилась». Именно поэтому на вопрос корреспондента *«Кому вы завидуете?»* по возвращении из Антарктиды Алексей Федорович ответил: *«Нансену. У него не было радио, и никто не мог ему помешать делать то, что он задумал»* (Трёшников, 1985).

В 1960 г. Алексей Федорович был назначен директором Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ). Благодаря инициативе и организаторскому таланту А.Ф. Трёшникова в 1960—1980 гг. объем фундаментальных научных исследований, выполняемых в Институте, значительно расширился. ААНИИ стал крупнейшим отечественным и международным полярным центром. А.Ф. Трёшников взрастил плеяду учеников, ставших учеными, признанными на международном уровне. Пройдя суровую полярную школу, Трёшников многому научил молодую смену. Об отношении Алексея Федоровича к молодым специалистам хорошо сказано в книге Б. Кошечкина «Притяжение полюсов»: *«...именно теперь он с любопытством и интересом потянулся к новому поколению, к молодым. Рискнул, что редко делают маститые, собрать вокруг себя самых ярких, самых талантливых... Стал над этими ребятами, как некий бог Саваоф — советуя, опекая, защищая»* (Кошечкин, 1987).

В начале 1970-х годов начались работы по международной Программе исследований глобальных атмосферных процессов, в которой предусматривалось проведение крупномасштабных натурных экспериментов в полярных областях. А.Ф. Трёшников руководил в ААНИИ разработкой программ «Полярный эксперимент-Север» и «Полярный эксперимент-Юг», которые благодаря особой значимости поставленных задач вскоре приобрели самостоятельный характер. Для проведения исследований по этим программам и их координации в Институте был создан отдел Полярного эксперимента, которым Трёшников, находясь на посту директора Института, непосредственно руководил на протяжении четырех лет. В 1976 г. он возглавил экспедицию «ПОЛЭКС-Север-76», район проведения которой охватывал Североевропейский и Арктический бассейны, а также северную часть Тихого океана. В этой экспедиции, помимо ААНИИ, принимали участие и другие институты Госкомгидромета. Благодаря успешному осуществлению программ Полярного эксперимента были получены фундаментальные научные результаты о динамике антициклонического круговорота вод в Арктическом бассейне, структуре и изменчивости Антарктического циркумполярного течения, а также об особенностях процессов взаимодействия океана и атмосферы в полярных широтах.

Весной и осенью А.Ф. Трёшников обычно отправлялся инспектировать дрейфующие станции в Арктике. Он писал: *«Человек, привыкший с молодых лет к путешествиям, не успокоится никогда. Что-то всегда зовет его в дорогу, он тоскует о пространстве, лежащем за горизонтом, и... какое-то чувство подсказывает ему — там ждет его что-то новое, неизведанное»* (Трёшников, 1985). В 1963 г. он руководил перелетом в Антарктиду двух тяжелых самолетов Ил-18. В 1967—1968 гг. ему удалось снова поработать в Антарктике, на этот раз в качестве начальника Тринадцатой САЭ.

После открытия 22 февраля 1968 г. станции Беллинсгаузен основным делом экспедиции оставалась разгрузка на станции Новолазаревская, которая оказалась невероятно сложной. Разразился ураган, один из тягачей затонул при попытке перегнать его от судна на барьер. Во время авралов Алексей Федорович надевал кожаный костюм, унты и штормовку и вместе с бригадой выходил на лед. Он понимал, что в физическом смысле его помощь была невелика, однако был с теми, кому в тот момент было особенно трудно.

В 1973 г. Трёшников вновь побывал в Антарктике. Он возглавил экспедицию на НИС «Профессор Зубов» и руководил очень сложной операцией по снятию людей с д/э «Обь», впервые попавшего в ледовый плен у берегов Антарктиды.

Следует подчеркнуть, что А.Ф. Трёшников, будучи исключительно талантливым организатором экспедиционных исследований, не прерывал свою научную работу. В 1962—1963 гг. он опубликовал ряд научных трудов: «Морфологический очерк окраинных морей Антарктики», «Особенности ледового режима Южного Ледовитого океана», «Гидрологический и ледовый режим антарктических вод». А.Ф. Трёшников внёс большой вклад в популяризацию науки — хорошо известны его книги, посвященные истории изучения Арктики и Антарктики, в том числе воспоминания о полярных экспедициях, в которых он принимал личное участие, и очерки о выдающихся полярных исследователях, с которыми был лично знаком: В.Ю. Визе, Н.Н. Зубове, М.М. Сомове, Е.К. Федорове. Публикация этих очерков положила начало серии книг, озаглавленной «Их именами названы корабли науки». Исключительно интересная монография А.Ф. Трёшникова «История открытия и исследования Антарктиды»,

опубликованная в 1963 г., была удостоена Золотой медали имени Литке Географического общества СССР.

В 1964 г. А.Ф. Трёшникову была присуждена степень доктора географических наук; в 1967 г. он получил звание профессора.

В 1966 и 1969 гг. были изданы два тома подготовленного по инициативе А.Ф. Трёшникова «Атласа Антарктики», за создание которого авторский коллектив в 1971 г. был удостоен Государственной премии СССР. В общей сложности А.Ф. Трёшникову принадлежит более 150 научных публикаций.

Постепенно расширялся круг административных и общественных обязанностей А.Ф. Трёшникова. В 1964 г. он был избран вице-президентом Географического общества СССР, а в 1977 г., после ухода из жизни президента Географического общества академика С.В. Калесника, Съезд Географического общества утвердил Алексея Федоровича в качестве его президента. *«Я горжусь, что стал президентом Географического общества... Пусть простит мне читатель эту гордость, но мне хотелось этим сказать, что люди уходят, а жизнь продолжается...»* (Трёшников, 1985). Находясь на этом посту, Трёшников был инициатором выполнения масштабных обобщающих работ в области мировой географии. Он поддержал новое научное направление — теорию самоорганизации и саморегуляции природных систем.

Научная и научно-организационная деятельность Алексея Федоровича получила высшее признание: в 1976 г. А.Ф. Трёшников был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1981 г. — действительным членом Академии наук СССР по отделению океанологии, физики атмосферы и географии.

В 1981 г. Трёшников стал заведующим кафедрой океанологии Ленинградского государственного университета. Он активно внедрял в учебный процесс результаты изучения общих физико-географических закономерностей Земли, полярных стран, большое внимание уделял истории географических исследований Мирового океана, разработал новый вариант курса «География Мирового океана», руководил советскими и зарубежными аспирантами. С приходом А.Ф. Трёшникова кафедра океанологии значительно расширила международные научные контакты и сотрудничество с крупнейшими мировыми исследовательскими центрами; развивалось традиционное для кафедры научное направление — изучение вод и льдов Южного океана; был подготовлен уникальный «Морской энциклопедический справочник» (Ионов, 1997).

Вскоре после избрания академиком для А.Ф. Трёшникова последовало новое ответственное назначение — в 1982 г. он возглавил Институт озероведения Академии наук СССР. Нельзя сказать, что переход от крупных и глобальных океанографических проблем к проблемам лимнологии был для него прост. Если раньше интересы А.Ф. Трёшникова лежали преимущественно в полярных областях, то теперь сферой его



Академик А.Ф. Трёшников, 1984 г.
Фото Р. Кучерова.

интересов стала вся страна с огромным перечнем вопросов, связанных с состоянием ее внутренних водоемов. Будучи широко эрудированным географом и прекрасным организатором, он и здесь оказался инициатором целого ряда новых направлений, нацеленных на разработку методов рационального природопользования в озерных бассейнах, сохранение природных ресурсов таких озер, как Ладожское, Онежское, Ильмень, Балхаш, Иссык-Куль и др.

Всех, кто знал Алексея Федоровича, покорила его искренность, порядочность и доброта. Если Трёшников сердился, то открыто и яростно, если радовался, то откровенно, с заразительным смехом. Глядя на Алексея Федоровича, невозможно было представить, что этот человек может болеть. Долгие годы он был крепок, статен, громогласен, много шутил. Однако волнения и тревоги за судьбу вверенных ему экспедиций и человеческие судьбы не могли не сказаться на здоровье. Последние месяцы жизни Алексей Федорович провел на даче. Он почти никого не принимал — не хотел, чтобы люди видели его в немоющем состоянии. 18 ноября 1991 г. А.Ф. Трёшникова не стало. Он похоронен на кладбище в Комарово Ленинградской области; могила Алексея Федоровича находится недалеко от могилы его друга и коллеги М.М. Сомова.

Полярники бережно хранят память об этом замечательном человеке. Именем Трёшникова назван огромный залив в море Дейвиса, на побережье которого расположена обсерватория Мирный. Его имя носит малая планета 3339 Трёшников (Dictionary..., 2003).

1 февраля 2014 г. из порта Санкт-Петербурга в свой второй антарктический рейс вышло научно-экспедиционное судно «Академик Трёшников» (капитан судна С.В. Лукьянов; начальник рейса, начальник 59-й зимовочной РАЭ М.В. Бугаев). Судно сочетает в себе качества сухогруза, танкера, носителя бортовых вертолетов, пассажирского и исследовательского судна. В Антарктику оно доставит груз для материально-технического обеспечения станции Новолазаревская, участников зимовочного состава 59-й РАЭ со станций Новолазаревская и Прогресс, а также морской научный отряд сезонной экспедиции. Новый флагман российского антарктического флота фактически продолжает дело Алексея Федоровича Трёшникова, участвуя в решении глобальных задач по обеспечению деятельности России в полярных регионах и в целом в Мировом океане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Академик Трёшников. (2004). —СПб.: ААНИИ. 103 с.
- Волович В.Г. (2004). Пианино на льдине // Экспедиция. № 2. С. 9—12.
- Ионов В.В. А.Ф. Трёшников. (1997). Океанология в Санкт-Петербургском университете. —СПб.: изд-во СПбГУ. С. 39—43.
- Кошечкин Б.И. (1987). Притяжение полюсов. —Л.: Лениздат. 131 с.
- Трёшников А.Ф. (1985). Мои полярные путешествия. —М.: Мысль. 476 с.
- Dictionary of Minor Planet Names. (2003). —Springer. 278 p.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

УДК 929+91

Поступила 25 февраля 2014 г.

ТОЛЬКО БЕРЕГИТЕ ЭТУ ЗЕМЛЮ!

*д-р геогр. наук Э.И. САРУХАНИЯ**Всемирная метеорологическая организация*

Октябрь 1980 года. Киргизия. В республиканском Дворце съездов на закрытии VII Съезда Географического общества СССР с заключительным словом выступает Алексей Федорович Трёшников, единогласно переизбранный президентом общества. Присутствующие в зале ожидают как обычно традиционную речь о задачах и перспективах развития общества, но с трибуны съезда неожиданно звучат строки стихов замечательного поэта-фронтовика Михаила Дудина (Дудин, 1980):

«Берегите Землю!
Берегите
Чудо песен
Городов и весей
Мрак глубин и волно поднебесий.
.....
Берегите будущего ради
Это слово из моей тетради.
Все дарю!
И все от вас приемлю!
Только берегите эту Землю!»

Зал встает в едином порыве и устраивает оратору овацию...

Май 1986 года. Из письма А.Ф.Трёшникова: «... На собрании нашего Отделения я делал доклад о тревожном будущем Ладоги и Севана, а на общем собрании Академии добился слова, чтобы обратить внимание на науки об охране природы и внести их в разряд приоритетных...» (Трёшников, 1985).

Ноябрь 1986 года. Из письма А.Ф.Трёшникова с соавторами в газету «Правда»: «Быть или не быть Ладоге живой? Так стоит сегодня вопрос. Никто, кроме нас, на него не ответит. В ответе перед современниками и потомками за судьбу озера тоже мы.» (Трёшников и др., 1986).

Таким он был человеком — этот выдающийся полярный исследователь, замечательный ученый и общественный деятель, которого больше всего заботила судьба планеты Земля и ее обитателей. Неслучайно, посвящая ему свой стихотворный цикл «Полярный круг», Михаил Дудин написал: «Алексею Федоровичу Трёшникову с благодарностью за то, что он есть, за то, что в его представлении Полюс — не только географическое понятие, а еще та самая точка в человеческой душе, где скрещиваются все тревоги мира и где начинается в Человеке Человечество» (Дудин, 1980).

Таким он вошел и в нашу жизнь. Двадцать с лишним лет мы были связаны с Алексеем Фёдоровичем узами тесной дружбы и замечательным общим делом, вошедшим в историю науки под названием Полярный эксперимент. Мы прошли с ним все этапы развития программы Полярного эксперимента — от его зарождения, планирования и создания специального отдела ПОЛЭКС, который вобрал в себя талантливую молодежь, до осуществления крупномасштабных натурных экспериментов в Северном Ледовитом и Южном океанах (Трёшников и др., 1978). В тесном общении с ним все более отчетливо открывалось его предназначение как человека, постоянно нацеленного на поиск нового и неизведанного. Именно об этом говорили все предыдущие этапы его полярной карьеры.

Начиная с первых университетских лет девизом Трёшникова стали знаменитые слова из поэмы Альфреда Теннисона «Улисс»: «Бороться и искать, найти и не сдаваться», которые начертаны на надгробном кресте Роберта Скотта и его соратников, поставленном на вершине Обсервер Хилл в Антарктиде. Он следовал этому девизу как перед войной во время своих нелегких походов по Новосибирским островам и проливам, так и в последующие годы, участвуя в Высокоширотных воздушных экспедициях «Север», возглавляя дрейф станции «Северный полюс-3» и три Советские антарктические экспедиции.

К сожалению, не всегда его вера в свое предназначение и целеустремленность воспринимались положительно. Однажды, когда мы были вместе в одной из экспедиций, Алексей Федорович рассказал историю его исключения из комсомола на последнем курсе университета. На дворе стоял тревожный 1939 год. Шел призыв молодежи в военную авиацию, и в университет приехал из Москвы инструктор ЦК комсомола с задачей набора добровольцев. Алексей Трёшников, уже получивший к этому времени опыт плавания в полярных морях в период курсовых практик, заметно выделялся среди окружавших его сверстников, и представитель ЦК остановил свой выбор на нем.

«Когда он подошел ко мне с предложением пойти в авиацию, — рассказывал Трёшников, — я решительно заявил, что уже сделал свой выбор в пользу исследования Арктики. Однако он настаивал, а я продолжал отказываться. Тогда он потребовал исключить меня из комсомола как человека, противящегося установке ЦК. К сожалению, комитет комсомола университета пошел на этот шаг. Лишь одна студентка, бывшая в те годы секретарем этого комитета, проголосовала против. Более того, она отстояла меня и на заседании райкома комсомола, за что я остался ей благодарен на всю жизнь. Отделавшись строгим выговором, я был спасен для Арктики, поскольку исключение из комсомола автоматически влекло за собой и отчисление из университета. Спустя десять лет, уже став Героем Социалистического Труда, я встретил этого деятеля в коридорах власти. Он кинулся ко мне с приветствиями, но руки я ему не подал».

Эта история лишний раз подчеркивает преданность Трёшникова избранному пути, умение твердо отстаивать свою позицию, стремление всегда идти до победного конца. Такие черты характера, сложившиеся еще в ранней молодости, несомненно, помогли ему занять впоследствии лидирующую роль в отечественных полярных исследованиях. Одним из наиболее ярких проявлений этих черт стало поведение Трёшникова как руководителя тяжелейшего санно-тракторного похода в глубь Антарктиды, целью которого было открытие в окрестности южного геомагнитного полюса внутриконтинентальной станции Восток. Успешное осуществление замысла во

многим зависело от воли и целеустремленности руководителя похода, и Трёшников справился со своей задачей блестяще.

О знаменитом походе написано немало, но хотелось бы привести еще и мнение человека со стороны — американского обменного ученого-метеоролога Гордона Картрайта, зимовавшего вместе с А.Ф. Трёшниковым на станции Мирный в 1956—1957 гг. В мае 1991 г. Картрайт, узнав об ухудшении состоянии здоровья Алексея Фёдоровича, прислал ему письмо следующего содержания (Картрайт, 1991):

«Дорогой Алексей Фёдорович!

Я опечалился, узнав от профессора Юрия Израэля о том, что Вы пребываете не в своем обычном добром здравии. Это кажется мне невозможным, поскольку Вы мне запомнились самым активным человеком в нашей экспедиции в Мирном.

Я помню, как если бы это было вчера, тот замечательный солнечный день в марте 1957 г., когда Вы повели самый большой из когда-либо собранных в Антарктиде тракторный поезд в опасный путь на станцию Восток. Вы стояли на вершине саней в великолепном полярном разноцветном костюме, чтобы напутствовать своих товарищей по путешествию и услышать пожелания счастливого пути от тех, кто оставался.

Небольшой ярко-красный самолет наблюдения кружил над нами, как разноцветная ракета, запущенная в небо. Это было замечательное зрелище для всех нас, и, особенно, для американского обменного ученого, которому повезло оказаться здесь.

Пока мы все наблюдали это с некоторой завистью, километровый караван саней начал долгое восхождение от низкого ледового шельфа к крутым ненадежным краям ледового щита и вскоре исчез в белом безмолвии. Мы все хотели быть с вами.

Проходили дни и недели, а Ваша группа неуклонно двигалась к югу. Мы узнавали из сообщений по радио о тяжелых застругах, которые мешали движению. Затем, когда вы достигли самых высоких районов плато, где обычно превалировали слабые ветры, поезд начал увязать в рыхлом снегу.

И наконец Вы основали станцию Восток. Это было великое достижение.

Я помню Ваше возвращение в Мирный. Возможно, это был самый быстрый пробег тракторного поезда, когда-либо совершенный в Антарктиде в то время. Вы помните, как Вы хотели вернуться обратно в «город» к празднику и большой парной бане? ...

А затем и фантастический банкет в Вашем штабе, или в «Белом Доме», как кто-то из нас прозвал его? На следующий день никто из нас не был в норме!

Или же день, когда Вы и начальник станции осматривали базовый лагерь и вездеход провалился в расщелину? Или Ваши многочисленные визиты в наши различные группы с целью вдохновить нас больше думать о научных проблемах? «Думайте! Думайте!» — призывали Вы всех нас.

Да, Алексей Фёдорович, это был замечательный год для американского метеоролога, в течение которого я делил теплую дружбу с Вами и 180 членами Второй советской антарктической экспедиции. Какое прекрасное начало Международного геофизического года! Я всегда буду благодарен за Вашу большую поддержку и помощь мне в этот незабываемый год. Спасибо всем вам!

Гордон Картрайт
Женева, май 1991 г.»

Последняя фраза письма свидетельствует еще об одной черте личности А.Ф. Трёшникова. Будучи патриотом своей страны, добиваясь ее приоритета в полярных исследованиях, он, в то же время, прекрасно понимал пользу и эффективность международного научного сотрудничества, особенно при изучении полярных областей планеты. Опыт проведения Международного геофизического года 1957—1958 гг., в котором он принимал самое деятельное участие, убедительно это доказал. Поэтому



Встреча научно-исследовательских судов в Гренландском море во время экспедиции «ПОЛЭКС-Север», 1976 г. Слева направо: Э.И. Саруханян, А.Ф. Трёшников, Н.П. Смирнов. Фото из архива ААНИИ.

и нас, своих соратников по осуществлению программы Полярного эксперимента в Южной полярной области, получившей название «ПОЛЭКС-Юг», он тоже настраивал на международное сотрудничество, активно способствуя обмену учеными на антарктических станциях и судах, работавших по программе «ПОЛЭКС-Юг», и организации советско-американских совещаний по изучению Южного океана, проходивших у нас и в США.

Вспоминается наша совместная поездка в Бостон в июне 1978 г., где в Масачусетском технологическом институте было организовано очередное советско-американское совещание. Нашу делегацию возглавлял Алексей Фёдорович, американскую — Джеймс Бейкер, будущий глава Национального управления США по исследованию океана и атмосферы.

В конце рабочей недели, заполненной докладами о результатах экспедиционных работ, проведенных в Южном океане по программам «ПОЛЭКС-Юг» и «Международные исследования Южного океана» нами и нашими американскими коллегами, Дж. Бейкер пригласил всех участников совещания на ужин. Теплым июньским вечером мы сидели за большим круглым столом в бревенчатом двухэтажном доме на окраине Бостона, пили сухое вино и обменивались впечатлениями о заслушанных докладах. Почти все они были посвящены результатам изучения Антарктического циркумполярного течения в различных районах Южного океана. Однако одно из сообщений, а именно доклад профессора Колумбийского университета А. Гордона об аномальном явлении, наблюдавшемся на восточной окраине моря Уэдделла в окрестности поднятия Мод, несколько отличалось от общей тематики.

Суть аномального явления заключалась в том, что, согласно результатам спутниковых наблюдений, в период зим Южного полушария 1974—1976 гг. в этом районе существовала зона свободной от льда водной поверхности, приблизительно равная по площади Черному морю. О причинах этого явления можно было только догадываться, и профессор Гордон, говоря об этом в своем докладе, скорее, поставил вопросы, чем ответил на них. Это было понятно, поскольку об осенне-зимнем гидрологическом режиме моря Уэдделла мало что было известно.

Естественно, на вечернем неофициальном приеме мы вернулись к обсуждению доклада Гордона. Основной результат этого обсуждения свелся к тому, что для выяснения причин возникновения и существования «попыньи Уэдделла», как было названо это явление, необходима экспедиция в период наличия в этом районе ледяного покрова, то есть в осенне-зимние месяцы Южного полушария.

«Если бы ваш институт, — обращаясь к Трёшникову, вдруг произнес Бейкер, — смог выделить для такой экспедиции судно ледокольного типа, то мы бы поставили

на него всю необходимую аппаратуру для океанографических и других исследований, и могла бы получиться интересная экспедиция».

Мы переглянулись. Хотя к этому времени у нас уже был опыт обмена отдельными советскими и американскими специалистами на судах, подобная совместная экспедиция, с большим количеством американских специалистов на советском судне и преимущественным использованием американской океанографической аппаратуры, нами еще не проводилась.

«Хорошо, мы подумаем над этим предложением», — ответил Алексей Федорович.

Нетрудно представить, что на пути в отель «Мотор-хауз», где остановилась наша делегация, мы только и говорили об этом предложении. Идея зимних плаваний в Южный океан с помощью судов ледового класса была высказана Трёшниковым еще за два года до этого. В своей книге «Зимой в Южном океане», посвященной сложной, но блестяще выполненной спасательной операции в связи с ледовым дрейфом д/э «Обь», он писал: «Несмотря на все трудности, связанные с темнотой зимнего времени и неустойчивой погодой, зимой в Южном океане могут плавать суда ледового класса. По-видимому, проникновение зыби от штормов и периодический разлом смерзшегося льда под ее влиянием — явление, характерное для Южного океана. В такие периоды суда типа «Наварин» (НЭС «Михаил Сомов того же класса. — *Прим. авт.*) могут заходить далеко на юг, в глубь ледового пояса» (Трёшников, 1976). Поэтому мы не очень удивились, когда, как бы подводя итог нашей дискуссии по пути к отелю, Трёшников произнес: «Почему бы и нет?» Для нас эта фраза при ее кажущейся обыденности, была неслучайной. «Почему бы и нет?» (по-французски «Пуркуа па?») называлось судно французского полярного исследователя и океанографа Жана-Батиста Шарко, об экспедиции которого А.Ф. Трёшников писал в своем труде «История открытия и исследования Антарктиды» (Трёшников, 1963).

Так в тот вечер родилось решение о проведении советско-американской экспедиции «Полынья Уэдделла-81» на НЭС «Михаил Сомов». Экспедиция, руководителем которой был автор этих строк, прошла успешно и принесла интересные результаты. Она послужила началом крупномасштабных международных исследований круговорота Уэдделла, проведенных впоследствии как совместной экспедицией под руководством Н.В. Багрянцева на НЭС «Академик Фёдоров» и судне ФРГ «Поларштерн» в сентябре 1989 г., так и на первой антарктической дрейфующей станции «Уэдделл-1», которую возглавлял В.В. Лукин и на которой с 12 февраля по 9 июня 1992 г. дрейфовали 15 российских и 17 американских полярников (Саватюгин, 2004).

А началось все со знаменитой фразы «Почему бы и нет?».

Присущее А.Ф. Трёшникову умение вдохновлять людей и направлять их на интересные дела в полной мере проявилось и в период организации и проведения одной из крупнейших национальных комплексных экспедиций «ПОЛЭКС — Север-76», охватившей весной 1976 г. всю Северную полярную область. В экспедиции одновременно и по единой программе работали более десяти научно-исследовательских судов, два самолета-лаборатории, два самолетных отряда Высокоширотной воздушной экспедиции «Север», две дрейфующие станции «Северный полюс» и более сорока наземных аэрологических станций.

Программу экспедиции разработала группа ведущих ученых ААНИИ с привлечением специалистов других институтов. Алексей Федорович был назначен начальником экспедиции, мы — Николай Павлович Смирнов и автор этих строк — его



А.Ф.Трёшников на о. Жохова. Апрель 1986 г.
Фото А.Артемова.

заместителями. «Я находился на борту «Профессора Визе», здесь же находился штаб по управлению всем экспериментом, — писал Трёшников в книге «Мои полярные путешествия». — Сюда же по радио стекалась вся научная информация, которая обрабатывалась на судовой ЭВМ. Научные результаты эксперимента опубликованы в научных трудах. О личных впечатлениях и переживаниях 1976 г. можно написать еще одну книгу. Может быть, я и сделаю это когда-нибудь. Снова я несколько месяцев жил напряженной морской жизнью и испытывал необычные переживания. Вернувшись тогда, подумал: «Неужели теперь это моя «лебединая песня?»» (Трёшников, 1985).

Книгу об этой экспедиции Алексею Федоровичу написать не удалось, но, по счастью, ему предстояло еще одно свидание с Арктикой. В мае 1986 г. Алексей Федорович с присущей ему самоиронией писал автору этого очерка: «О моей персоне Цен-

тральная студия телевидения снимает фильм. Сценарист Володя Стругацкий. Фильм на 50 минут. В него войдут эпизоды из моей полярной жизни (благо есть материал в киноархивах), затем выступление перед студентами геофака ЛГУ, далее Институт озероведения — киногруппа ездил со мной на Севан, где я проводил итоговую конференцию. Снимали «лирические эпизоды» зимой на даче в Комарово. И, наконец, спровоцировали меня сниматься в Арктике. Я легко поддался и с 21 по 28 февраля слетал на работающую станцию СП-27...» (Трёшников. Личный архив автора).

Этот полет на СП-27 и стал его «лебединой песней», хотя жажда снова побывать в Арктике и Антарктиде продолжала в нем жить, и мы всегда это чувствовали. За два года до этого письма, когда Алексей Федорович отмечал свое 70-летие, отдел ПОЛЭКС обратился к нему со стихами:

«Давайте сознаемся в самом начале,
В канун юбилейной весны,
Что снова, как прежде, Вам снятся ночами
Полярные белые сны.
Не может ведь вычеркнуть память ни строчки,
Коль лед Антарктиды манит.
Тягач, на котором Вы шли, на Востоке
На вечной стоянке стоит.
Бывало над нами в морях-океанах
Звучал Ваш раскатистый гром,
И хоть Вы теперь над озерами главный
Мы все же уверены в том,
Что Вам бы хотелось, откинув все мысли,
Отбросить заботы, и вдруг —

Рвануться в просторы на беленьком НИСе,
И в «ПОЛЭКС» — хоть «Север», хоть «Юг».
Но судьбы Севана и Ладоги с Волгой
Волнуют Вас в данный момент.
Желает Вам жизни счастливой и долгой
Полярный эксперимент».

Долгой жизни, к глубокому сожалению, не получилось. Сказались изматывающие походы по Новосибирским островам, длительное пребывание в ледяной воде, нервное напряжение в арктических и антарктических экспедициях, гнетущая ответственность за судьбы людей и экспедиций на посту директора ААНИИ. Было тяжело видеть его, могучего и негибаемого, с трудом передвигающимся по квартире. Однако он мужественно держался и только однажды сказал мне: «Дай тебе Бог никогда не быть в таком беспомощном состоянии». Тем не менее и в этом тяжелом положении у него сохранялись необыкновенная ясность ума и живой интерес ко всему, что происходило вокруг, к нашим профессиональным делам.

Он рано ушел из жизни, но остались ученики и последователи, труды и книги, осталась светлая память об этом необыкновенном человеке, дружбой с которым нас одарила судьба. Осталось его завещание потомкам: «Только берегите эту Землю!».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дудин М. (1980). Заклинание с полюса // Ландыши на минном поле. —М.: Воениздат. с. 328.
- Картрайт Г. (1991). Письмо А.Ф. Трёшникову / Пер. автора. —Личный архив автора.
- Саватюгин Л.М. (2004). Российская наука в Антарктике. —М.: Городец. С. 274—276.
- Трёшников А.Ф. (1963). История открытия и исследования Антарктиды. —М.: Географгиз. С. 77—78.
- Трёшников А.Ф. (1976). Зимой в Южном океане. —Л.: Гидрометеиздат. С. 76.
- Трёшников А.Ф., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. (1978). Исследования по программе Полярного эксперимента. —Л.: Гидрометеиздат. 9 с.
- Трёшников А.Ф. (1985). Мои полярные путешествия. —М.: Мысль. 474 с.
- Трёшников А.Ф. (1986). Письмо автору от 11 мая 1986 г. —Личный архив автора.
- Трёшников А.Ф. и др. (1986). Быть ли Ладоге живой? // Газета «Правда». 11 ноября 1986 г. № 315.

РОССИЙСКАЯ АНТАРКТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ. СВЯЗЬ ВРЕМЕН И ПОКОЛЕНИЙ

Руководитель РАЭ В.В. ЛУКИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: lukin@aari.ru

В дни столетнего юбилея выдающегося отечественного полярного исследователя академика А.Ф. Трёшникова заканчиваются исследования и транспортные операции по программе 59-й сезонной Российской антарктической экспедиции (РАЭ). Ее участники продолжают славные традиции, начатые почти 60 лет назад советскими полярниками — участниками Первой Комплексной антарктической экспедиции (КАЭ) Академии наук СССР.

О первых шагах прославленных покорителей шестого континента из состава Первой КАЭ написано множество научных и популярных статей, монографий и мемуарной литературы, где достаточно подробно отображены причины организации этой экспедиции и основные направления ее деятельности. Однако недавно современным исследователям стали доступны новые архивные документы начала 50-х годов XX века, которые отражают фактическую официальную ситуацию, вызвавшую у СССР реальный интерес к Антарктике. Анализ этих документов позволяет сопоставить события начального периода активной деятельности нашего государства в Антарктике с внешнеполитическими факторами того времени и текущим состоянием организации и проведения РАЭ.

После открытия Антарктиды в январе 1820 г. военными судами «Восток» и «Мирный» Русской южно-полярной экспедиции под командованием Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева советский флот пришел в антарктические воды только через 126 лет. Это были суда китобойной флотилии «Слава», приступившие в летнем сезоне 1946/47 г. к регулярному промыслу китов в Южном океане (Слевич, 1968). Флотилия «Слава» вышла в свой первый антарктический рейс 22 ноября 1946 г. из английского порта Ливерпуль. Эта флотилия была передана СССР в качестве репарации фашистской Германией по решению Тройственной комиссии стран — победителей во Второй мировой войне (Великобритания, США и СССР).

В это время киты представляли собой важнейшее стратегическое сырье для укрепления обороноспособности различных государств, и СССР не был исключением из этого правила, поэтому наша страна стремилась начать свой китобойный промысел в самом перспективном для этого районе Мирового океана — в Антарктике.

2 декабря 1946 г. в Вашингтоне (США) была создана Международная конвенция по регулированию китобойного промысла (вступила в силу 10 ноября 1948 г.). СССР ратифицировал эту Конвенцию Постановлением Президиума Верховного Совета СССР 15 июля 1948 г.

Начиная с летнего сезона 1947/48 г. на борту плавбазы китобойной флотилии «Слава» стала работать научная группа из специалистов Государственного океаногра-

фического института (ГОИН) Главного управления гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР (ГУГМС) и Всесоюзного НИИ Рыбного хозяйства и океанографии (ВНИИРО) Минрыбхоза СССР. В их задачу входило гидрометеорологическое обеспечение безопасности мореплавания и промысла судов флотилии, проведение попутных океанографических, гидрохимических и гидробиологических исследований, а также апробация новых технологий переработки китов. В следующем летнем сезоне (1948/49 г.) для проведения океанографических и гидрохимических исследований было дооборудовано одно из промысловых китобойных судов флотилии.

Весной 1949 г. на Ученом совете ГОИНа обсуждался вопрос о дальнейших исследованиях Института в Антарктике. В решении Ученого совета было сказано: «Изложенное настоятельно диктует необходимость в ближайшие же годы предпринять широкие исследовательские работы со стороны СССР, заинтересованность которого в вопросах освоения Антарктики совершенно очевидна, памятуя при этом и о необходимости отстаивания приоритета русских в открытии этого материка. Должна быть организована на специальном корабле соответствующим образом оснащенная советская научно-исследовательская экспедиция».

Предусматривалось также устройство обсерватории на берегу Антарктиды и были намечены первоочередные задачи. Решение Ученого совета было представлено руководству ГУГМС при Совете Министров СССР для передачи в вышестоящие инстанции (Таубер, 1956).

Следует отметить, что это предложение не было первым в истории полярных исследований СССР. Так, в 1931 г. при разработке планов участия нашей страны в программе Второго Международного полярного года 1932/33 г. специалисты Института проблем Севера (в настоящее время АНИИ) Р.Л. Самойлович, М.М. Ермолаев и А.Ф. Лактионов разработали проект проведения первой Советской антарктической экспедиции на борту одного из судов китобойной флотилии «Алеут». В соответствии с разработанными планами предлагалось открыть полярную гидрометеорологическую станцию на о. Петра Первого и выполнить океанографические, метеорологические и геомагнитные исследования в тихоокеанском секторе Антарктики (Ермолаев, Дибнер, 2005). Однако в связи с отсутствием в то время дипломатических представительств СССР в странах Южного полушария стала невозможна организация бункеровки советских судов в портах Южной Америки. Это и стало основной причиной отмены экспедиции.

В дальнейшем, в 1945 г., директор Арктического НИИ В.Х. Буйницкий в докладе, посвященном 25-летию создания АНИИ, выдвинул предложение по созданию на континенте Антарктида советской геофизической обсерватории с целью проведения метеорологических, аэрологических, геомагнитных и прибрежных океанографических исследований на постоянной основе (Буйницкий, 1945). Вполне понятно, что экономическая ситуация в СССР сразу по окончании войны не могла способствовать осуществлению этих планов.

Отметим, что геополитическая ситуация после завершения Второй мировой войны в мире резко изменилась. Началось разрушение колониальных империй европейских стран (Великобритания, Франция, Нидерланды, Испания, Португалия и др.) в Африке и Азии. Укреплялась роль восточного блока социалистических и народно-демократических стран в Восточной Европе и в Азии. После широко известной речи бывшего премьер-министра Великобритании У. Черчилля в американском

городе Фултоне 5 марта 1946 г. официально началось мощное военно-политическое противостояние блока западных стран, возглавляемого США, и социалистических стран под руководством СССР, которое вошло в новейшую историю под названием «холодная война».

В этой обстановке США предпринимали организационные усилия по укреплению своих позиций и на шестом континенте. Дело в том, что в первой половине XX века семь стран (Великобритания в 1908 и 1910 гг., а также 28 марта 1917 г.; Новая Зеландия 30 июля 1923 г.; Австралия 7 февраля 1933 г. и в 1947 г.; Франция 2 апреля и 21 ноября 1924 г., 1 апреля 1938 г., в декабре 1949 г. и августе 1955 г.; Норвегия в 1928 и 1930 гг., 23 апреля 1931 г., 24 марта 1933 г., 14 января 1939 г., 28 мая 1948 г.; Аргентина в 1926, 1942, 1946 и 1955 гг.; Чили в ноябре 1940 г., в 1945 и 1955 гг.) своими односторонними правительственными актами заявили об установлении своего государственного суверенитета над территориями в Антарктиде, омывающими ее водами Южного океана и окружающими островами. Данные территории имели форму меридиональных секторов с общей вершиной на Южном географическом полюсе и были ограничены с севера параллелями 60 и 64° ю.ш. Общая площадь таких территорий охватывала 5/6 всей территории Антарктики — за исключением сектора между меридианами 90 и 150° з.д.

В США продолжительное время проводились дискуссии о необходимости создания своего антарктического сектора, который можно было бы расположить на «пока еще свободной территории Антарктики». Однако этот путь политического решения управления Антарктикой был отвергнут Конгрессом. В результате США, обладая самой мощной в мире авиационной поддержкой своих работ в Антарктике, предпочли использовать доктрину «эффективного контроля» всей территории шестого континента и омывающих его вод.

В своей ответной ноте Правительству Королевства Норвегии от 27 января 1939 г. Народный комиссариат иностранных дел СССР категорически отверг любые односторонние акты в отношении суверенитета над антарктическими территориями и подчеркнул свои исторические права на открытие Антарктиды экспедицией Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева в 1820 г.

Для урегулирования вопросов территориального владения в Антарктике других стран Государственный департамент США в августе 1948 г. предложили созвать Международную антарктическую конференцию с целью установления режима международного управления этой частью света. В качестве механизма управления был предложен принцип кондоминиума, который уже успешно зарекомендовал себя в Западном Берлине. Следует отметить, что антарктические секторы Великобритании, Чили и Аргентины не имели согласованных границ и накладывались друг на друга. Это обстоятельство неоднократно приводило к серьезным межгосударственным политическим конфликтам с привлечением вооруженных сил этих государств и попыткой решения данной проблемы в Международном суде. В связи с этими обстоятельствами США как лидер послевоенного западного мира предложили возложить на себя решение этого сложного вопроса международного права.

СССР не получил приглашения участвовать в этой Международной антарктической конференции. Вероятно, США не пригласили нашу страну вследствие того, что СССР не проводил никаких работ и исследований непосредственно в Антарктиде, в то время как другие приглашенные страны уже неоднократно высаживались и

проводили там научные исследования. Советские морские исследования на судах китобойной флотилии «Слава» не воспринимались США как видный вклад в дело освоения Антарктики, поскольку в сезоне 1947/48 г. они проводились нашей страной впервые, а их результаты еще не были опубликованы и соответственно не были доступны широкой научной общественности. Безусловно, это обстоятельство негативно сказывалось на укреплении позиции СССР в качестве великой мировой державы, без учета мнения которой не может обсуждаться ни один серьезный вопрос международных отношений и права.

Однако запланированная США международная конференция не состоялась из-за отказа принять в ней участие делегаций Аргентины, Норвегии и Чили. Эти страны понимали, что решения в отношении антарктической проблемы будут принимать, прежде всего, США и их права будут ущемлены (Berguno, 2009). Таким образом, вопрос об установлении международного правового режима управления Антарктикой продолжал оставаться неразрешенным.

В нашей стране было начато активное общественное движение в поддержку исторических завоеваний России и ее правопреемника СССР — открытия Антарктиды в 1820 г. экспедицией Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева. Лидером в этом движении стало Всесоюзное географическое общество (ВГО). 10 февраля 1949 г. на общем собрании действительных членов этого общества выступил президент ВГО академик Л.С. Берг с докладом «Русские открытия в Антарктике и современный интерес к ней» (Берг, 1949). В нем приводились убедительные доводы о том, что СССР сохраняет за собой все права на владение шестым континентом на основе выдающегося географического открытия начала XIX века, сделанного русскими моряками под руководством Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева. Официальные круги СССР в это время с вниманием ожидали реакцию западных стран, и главным образом государств, заявивших свои территориальные претензии в Антарктике, на позицию советской стороны.

В то же время, советские юристы-международники понимали уязвимость официальной позиции СССР, основанной исключительно на исторических правах на географические открытия. Дело в том, что в системе международного права уже в конце XIX века сложился еще один юридический подход к правам на владение другими географическими территориями. Принцип, лежащий в основе этого подхода, получил название «эффективная оккупация». Он был сформулирован на Международной конференции в Берлине в 1884—1885 гг. при обсуждении вопросов о размежевании территории колоний европейских стран в экваториальной Африке и о судоходстве по реке Конго. В дальнейшем этот правовой принцип на владения заморской территорией европейского государства был использован в 1933 г. в Постоянной палате международного правосудия Лиги Наций в г. Гааге при обсуждении прав на владение территорией в Восточной Гренландии между королевствами Дании и Норвегии (Молодцов, 1954). В результате обсуждения этого вопроса Международный суд признал законными права на владение территориями в Гренландии за Данией, которая всесторонне использовала в этом регионе принципы «эффективной оккупации», а не ссылки на историческое право географического открытия самого крупного в мире острова.

Конечно, само юридическое определение «эффективная оккупация» не могло использоваться в советской юриспруденции, хотя формально он был принят в между-

народном праве того времени. С формальной точки зрения принцип «эффективной оккупации» не мог применяться в отношении Антарктики, так как подразумевал наличие представительств государственных форм власти метрополии, обеспечение местного коренного населения финансированием, правосудием, здравоохранением, образованием и почтой. Однако принцип «эффективного контроля», предложенный США для Антарктики, при котором юридическая форма присутствия государства обеспечивалась постоянно действующими научными станциями, а контроль за территорией — действиями экспедиционной авиации, флота и транспортных внутриконтинентальных походов, был абсолютно приемлем для этого региона.

7 июня 1950 г. Совет Министров СССР опубликовал Меморандум в отношении принципов управления Антарктикой и распространил его правительствам США, Великобритании, Австралии, Новой Зеландии, Франции, Норвегии и Аргентины. В этом документе подчеркивались исторические права нашего государства на Антарктиду и окружающие ее моря и острова, а также указывалось, что любое обсуждение вопросов международного управления этим регионом должно происходить на специальном международном форуме при участии в нем всех заинтересованных сторон.

Для устранения существующих организационных пробелов в будущем управлении Антарктидой перед СССР встала задача создания своей национальной антарктической экспедиции с обязательным условием организации круглогодично действующих станций на шестом континенте. В условиях весьма жесткого финансового дефицита, который существовал в те годы в нашей стране, для создания такой экспедиции нужно было поставить конкретные, реальные цели и задачи, которые могли бы рассматриваться наравне с проблемами восстановления послевоенного народного хозяйства, создания ядерного щита СССР, перевооружения Советской Армии в условиях «холодной войны» и необходимой помощи молодым социалистическим странам Восточной Европы и Юго-Восточной Азии.

В 1950 г. американский специалист по ракетным исследованиям высокой атмосферы Джеймс Ван-Аллен выдвинул предложение о начале подготовки Третьего Международного полярного года (Fogg, 2007). Научная программа этого проекта предполагала проведение исследований полярных сияний, космического излучения, геомагнетизма, гляциологии, гравиметрии, физики ионосферы, метеорологии и сейсмологии в Арктике и в Антарктике. Оригинальные предложения не включали в себя проведение исследований по картографии, геологии, океанографии и биологии.

В 1951 г. это предложение было передано в Международный совет научных союзов (МСНС). Данный проект рассматривался на заседании руководящего органа МСНС, в ходе которого представитель Всемирной метеорологической организации предложил расширить этот проект вышеназванными видами исследований, а также распространить область его деятельности на весь земной шар. В результате проект получил новое название — Международный геофизический год (МГГ), и было решено провести его в 1957—1958 гг.

Несмотря на расширение географической области исследований по программе МГГ, антарктический регион продолжал оставаться одним из главных объектов запланированных МГГ международных исследований. С этой целью при Специальной комиссии МСНС по проведению МГГ была создана Антарктическая группа. 4 октября 1954 г. в Риме состоялось заседание этой группы, на котором рассматривались предложения стран, изъявивших желание участвовать в работах по проведению программы

МГГ в Антарктике. Для работы в этой группе по инициативе Академии наук СССР была приглашена советская делегация под руководством члена-корреспондента АН СССР В.В. Белоусова, хотя официально ни Академия наук СССР, ни Совет Министров СССР не являлись членами МСНС.

Среди районов Антарктики, предложенных СССР Антарктической комиссией для организации советских научных станций, были указаны Берег Нокса в координатах приблизительно 67° ю.ш., 105° в.д. и Земля Принцессы Астрид в координатах приблизительно 70° ю.ш., 10° в.д. Однако в своем первом выступлении на заседании Антарктической комиссии глава советской делегации В.В. Белоусов сообщил, что, кроме организации одной из береговых станций в Антарктиде, СССР готов построить научную станцию на Южном географическом полюсе. В связи с тем что делегация СССР опоздала на открытие этого совещания в Риме на один день, его председатель сообщил, что накануне совещание решило передать права на открытие станции на Южном полюсе США. В ответ В.В. Белоусов сообщил, что СССР в этом случае готов открыть свои исследовательские станции на южном геомагнитном полюсе и Полюсе относительной недоступности (Fogg, 2007).

К сожалению, эта активность не была подкреплена официальной позицией, так как наша страна по-прежнему не присоединилась к МСНС и, таким образом, не имела прав на участие в программе МГГ, проводимой этой международной организацией. В связи с этим были необходимы важные государственные решения по созданию национальной антарктической экспедиции. С целью устранения этого пробела 22 декабря 1954 г. президент Академии наук СССР А.Н. Несмеянов, министр морского флота СССР В.Г. Бакаев, министр рыбной промышленности СССР А.А. Ишков и и.о. начальника ГУГМС при Совмине СССР М.Е. Иванов отправили в адрес Первого секретаря ЦК КПСС Н.С. Хрущева письмо с предложением о создании с 1955 г. советской Антарктической научно-исследовательской экспедиции для комплексного изучения районов Антарктики и создания *постоянных* (выделено автором) полярных станций на материке и островах Антарктиды. Основанием для этого послужила возрастающая активность главного идеологического и военного противника СССР в те годы — США — по исследованию Антарктики. Именно этот геополитический вывод послужил основанием для предложения создать Антарктическую экспедицию СССР. Справедливости ради нужно отметить, что авторы письма считали целесообразным сочетать советские исследовательские работы в Антарктике с выполнением программы МГГ, но не делая основного акцента на данном предложении. Главными задачами этой советской Антарктической экспедиции предлагалось считать:

- метеорологические и геофизические исследования для изучения циркуляции атмосферы в Антарктике, геомагнитных явлений и поведения ионосферы в Южном полушарии;
- комплексное океанографическое изучение Антарктики для обеспечения безопасности мореплавания и эффективного проведения китобойного промысла;
- геологическое изучение Антарктиды и окружающего ее морского дна;
- изучение ледяного покрова Антарктиды, шельфовых и морских льдов океана с целью обеспечения безопасности мореплавания;
- разработку методов аэронавигации в условиях Антарктики с целью подготовки советских пилотов для полетов в любых районах земного шара.

Из текста письма видно, что в основе задач, которые ставились перед Антарктической экспедицией, были не проблемы фундаментальной науки, а практические направления прикладных научных задач.

Данное предложение было поддержано в ЦК КПСС, и 13 июля 1955 г. Совет Министров СССР издал Постановление об организации Комплексной антарктической экспедиции (КАЭ). В том же 1955 г. Академия наук СССР вступила в МСНС и, таким образом, обрела права для легального участия в программе МГТ.

Академия наук СССР была назначена ведомством, ответственным за формирование и выполнение научной программы, а на Главное управление Северного морского пути (Главсевморпуть) Минморфлота СССР возлагались задачи по логистическому обеспечению работ экспедиции. Таким образом, с этого момента к своей постоянной деятельности приступила национальная антарктическая экспедиция нашей страны, которая за свою почти 60-летнюю историю несколько раз меняла свое название (Комплексная, Советская и Российская антарктическая экспедиция).

Условно весь период деятельности КАЭ — САЭ — РАЭ можно разделить на три этапа (Лукин и др., 2006). На *первом, рекогносцировочном этапе* (1955 — 1969 гг.) были выявлены основные закономерности и черты географического, геологического, климатического, гляциологического, океанографического и биологического строения и режима шестого континента и омывающих его морей. В этот период СССР создал в Антарктиде станции Мирный (1956 г.), Оазис (1956 — 1959 гг.), Пионерская (1956 — 1959 гг.), Комсомольская (1957 — 1959 гг.), Восток (1957 г.), Советская (1958 — 1959 гг.), Молодежная (1963 — 1999 гг.), Лазарев (1959 — 1961 гг.), Новолазаревская (1961 г.) и Беллинсгаузен (1968 г.), а также сезонную полевую базу Полюс недоступности (декабрь 1958 г.). Отметим, что станция Восток была открыта 17 декабря 1957 г. с помощью санно-гусеничного похода, возглавляемого начальником Второй КАЭ А.Ф. Трёшниковым, непосредственно в районе расположения южного геомагнитного полюса. Этот период был завершён изданием двухтомного Атласа Антарктики, авторы которого были удостоены Государственной премии СССР.

Для морского транспортного обеспечения деятельности КАЭ — САЭ использовались арендованные у Министерства морского флота СССР суда усиленного ледового класса. Авиационное обеспечение работ экспедиции выполнялось воздушными судами и специалистами Управления полярной авиации Министерства гражданской авиации СССР. С 15 по 24 декабря 1963 г. советскими летными специалистами был выполнен первый межконтинентальный полет самолетов Ил-18 и Ан-12 по маршруту Москва — Ташкент — Дели (Индия) — Рангун (Бирма) — Джакарта (Индонезия) — Дарвин (Австралия) — Сидней (Австралия) — Крайсчерч (Новая Зеландия) — МакМердо (Антарктида) — станция Мирный (Антарктида) и обратно по тому же маршруту (с 3 по 11 января 1964 г.).

Специалистами КАЭ была разработана технология и успешно осуществлена целая серия внутриконтинентальных санно-гусеничных походов научного и логистического назначения. За короткий срок советские полярные исследователи, моряки и летчики профессионально освоили антарктический регион, создав необходимые условия для лидирующих позиций СССР в международном антарктическом сообществе. Во многом это было связано с огромным накопленным опытом советских работ в Арктике, где СССР уже давно занимал ведущие позиции.

В связи с завершением 31 декабря 1958 г. работ по программе МГТ Совет Министров СССР своим Распоряжением от 25 июня 1958 г. организовал Межведомственную комиссию по изучению Антарктики, а Арктический научно-исследовательский институт Главсевморпути Министерства морского флота СССР был переименован в Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ).

В 1958 г. при обсуждении программы работ 4-й КАЭ в начале 1959 г. планировалось открыть две новые советские антарктические станции, которые предполагалось назвать Лазарев и Беллинсгаузен. Расположение этих станций было выбрано не случайно, а именно в тех географических районах, где были совершены наиболее важные открытия Русской южно-полярной экспедиции 1819—1821 гг. Так, станция Лазарев должна была располагаться на шельфовом леднике недалеко от того района, где русские моряки впервые увидели неизвестный южный ледяной материк, а станция Беллинсгаузен — на побережье Земли Александра Первого. К сожалению, удалось открыть только первую из этих станций. Дело в том, что в октябре 1958 г. Совет Министров СССР своим Распоряжением значительно сократил ассигнования, выделяемые на проведение работ и исследований по программам КАЭ.

19 июля 1959 г. Постановлением Совета Министров СССР головная роль в организации и проведении национальной антарктической экспедиции СССР была передана от Академии наук СССР Главсевморпути Минморфлота СССР. С этого момента экспедиция была преобразована в Советскую комплексную антарктическую экспедицию (СКАЭ), а логистическое управление СКАЭ было возложено на ААНИИ. 18 мая 1963 г. Постановлением Совета Министров СССР № 549 «О возложении на Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР работ по изучению гидрометеорологического режима и гидрометеорологическому обеспечению мореплавания и авиации в районах Арктики и Антарктики» ААНИИ вместе со СКАЭ был переведен в ведение Главного управления Гидрометслужбы при Совете Министров СССР. С этого момента экспедиция получила название Советская антарктическая экспедиция (САЭ), а за Гидрометеорологической службой нашей страны по настоящее время закреплены функции руководства и контроля за деятельностью экспедиции.

Второй этап, связанный с изучением и освоением ресурсного потенциала Антарктики, проходил с 1970 по 1991 г. В это время основное направление советских исследований Антарктики было сосредоточено на изучении биологических ресурсов Южного океана и минерально-сырьевого потенциала региона. В конце 60-х годов СССР приступил к регулярному рыболовному промыслу в антарктических водах, который до 1987 г. в ограниченных объемах дополнялся продолжением китобойного промысла. Советские рыбаки осваивали новые регионы Южного океана. Этот вид деятельности был основан на строгих научных рекомендациях, которые обеспечивались с помощью проведения специализированных океанографических и гидробиологических исследований.

В 1971 г. была создана постоянно действующая Антарктическая комплексная рыбохозяйственная экспедиция Минрыбхоза СССР. Ее руководителем был назначен заместитель министра С.А. Студенецкий. С момента организации экспедиции по 1980 г. общее число выполненных научно-исследовательских и научно-промысловых рейсов этой экспедиции достигло 60 — по 12—15 ежегодно. Деятельность экспедиции позволила эффективно координировать научно-исследовательские усилия отрасле-

вых институтов (Атлантический НИИРО в г. Калининграде, Тихоокеанский НИИРО в г. Владивостоке, Азово-Черноморский НИИРО в г. Керчи, Полярный НИИРО в г. Мурманске) и промысловых разведок бассейновых управлений Минрыбхоза СССР с работой промыслового флота и значительно сократить время внедрения научных разработок в практику рыболовства. Концентрация усилий рыбохозяйственной науки и созданная сеть советских научно-промысловых экспедиций позволили создать уникальный массив данных о состоянии биоресурсов Южного океана, который долгие годы продолжает оставаться основным источником выработки решений Научного комитета Комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики.

Одновременно возрастала и рыбопромысловая активность советского флота в Южном океане. Максимальные общие уловы рыбы и криля, которые были достигнуты советскими рыбаками в этом регионе, составляли в 1981 г. 392,3 тыс. тонн в атлантическом секторе и 121,0 тыс. тонн в индоокеанском секторе Антарктики.

Мировой энергетический кризис конца 60-х годов XX века обратил внимание мирового сообщества на возможность освоения минеральных ресурсов Антарктики. В связи с этим начиная с 70-х годов советские геологи резко расширили работу по геологическому изучению Антарктики и поиску на ее территории месторождений полезных ископаемых. С этой целью была коренным образом изменена технология геологического изучения Антарктики, которое до этого в САЭ проводилось на выходах коренных пород в районе расположения советских антарктических станций или специально созданных сезонных полевых лагерей.

Новая технология предусматривала широкое использование дистанционных авиационных геофизических методов разведки недр (магнитная, гравиметрическая и радиолокационная съемки) и геологических исследований с помощью авиадесантных методов (доставка и вывоз геологических отрядов к выходам коренных пород с помощью вертолетов). С этой целью создавались крупные сезонные полевые базы с широким применением различных типов самолетов и вертолетов. Наземные геофизические исследования сопровождалось сейсмическими изысканиями, проводимыми по различным методикам: методами отраженных волн, преломленных волн, глубинного сейсмического зондирования. Геолого-геофизические изыскания дополнялись геодезическими и картографическими работами для создания картографической основы этих работ на неисследованных участках Антарктиды. На транспортных судах, доставлявших геологов, геофизиков, геодезистов и авиаторов к месту проведения работ на континенте, стали проводиться первые морские сейсмические исследования акваторий прибрежных районов антарктических морей.

На пике этих работ Совет Министров СССР 20 ноября 1985 г. опубликовал постановление «О мерах по усилению геолого-геофизических работ в Антарктике и укреплению материально-технической базы этих работ». Этим постановлением предусматривалось строительство двух крупных геолого-геофизических баз для выполнения программ по геологической разведке полезных ископаемых в Западной и в Восточной Антарктиде. Эти базы должны были иметь жилой комплекс для ограниченного зимовочного персонала для подготовки к эксплуатации снежно-ледовых взлетно-посадочных полос для приема тяжелых транспортных самолетов на колесных шасси, выполняющих межконтинентальные и исследовательские полеты над шестым континентом. Кроме того, на каждой базе должны были быть созданы условия для размещения и работы до 100 человек сезонного состава.

Практическая направленность работ в этот период привела к значительному расширению гидрометеорологических, гидрографических и картографических исследований региона, а также созданию инфраструктуры морских и воздушных транспортных операций. Перспективные планы реконструкции деятельности САЭ на этот период (1970—1991 гг.) были изложены в Постановлении Совета Министров СССР от 9 марта 1966 г. № 184-59 «О мерах по дальнейшему развитию советских исследований в Антарктике». Благодаря этому Постановлению САЭ создала сеть антарктических станций по всему периметру шестого континента, дополнив станции Мирный, Восток, Молодежная, Новолазаревская, Беллинсгаузен, созданные на первом этапе деятельности экспедиции, двумя станциями в тихоокеанском секторе Антарктики — Ленинградская и Русская — и еще одной станцией в индоокеанском секторе — Прогресс.

В результате СССР стал обладателем единственной в мире сети пунктов наблюдений и проведения разнообразнейших научных исследований на постоянной основе практически во всех стратегически важных районах Антарктики. Вполне понятно, что советская идеология того периода не допускала официального использования таких терминов, как «геополитика» и «эффективный контроль» территорий, которые широко применялись в западных странах. Однако, на самом деле, СССР эффективно применял подобную практику в отношении Антарктики, обеспечивая соблюдение своих геополитических интересов в этом регионе планеты. Созданная сеть станций находилась практически во всех ранее заявленных другими странами «антарктических территориях», обеспечивая нашей стране эффективный контроль за ними и создавая условия для научных исследований практически во всех ландшафтных комплексах континента.

Специально для обеспечения деятельности САЭ были построены научно-экспедиционные суда «Михаил Сомов» (1975 г.) и «Академик Федоров» (1987 г.). На станциях Молодежная и Новолазаревская были подготовлены снежно-ледовые взлетно-посадочные полосы для приема тяжелых транспортных самолетов на колесных шасси, которые начиная с 1980 г. приступили к организации регулярных межконтинентальных полетов из южной части Африки (г. Мапуту, Мозамбик) в Антарктиду на самолетах Ил-18Д и Ил-76ТД.

На станции Молодежная был построен и введен в эксплуатацию комплекс высотного ракетного зондирования атмосферы, на котором осуществлялся запуск геофизических ракет на высоту до 100 км с последующим выполнением метеорологических, геофизических и астрофизических наблюдений с помощью спускаемой на парашютах головной измерительной части ракеты. В то же время, на станциях Мирный, Молодежная, Ленинградская и Беллинсгаузен была установлена аппаратура приема информации о состоянии земной поверхности с искусственных спутников Земли. В практику традиционных методов радиосвязи стали внедряться спутниковые связные комплексы международной системы ИНМАРСАТ и отечественной «Горизонт». На всех советских антарктических станциях была установлена аппаратура для проведения наблюдений методами спутниковой геодезии.

В летнем антарктическом сезоне 1975/76 г. ААНИИ приступил к выполнению работ по новому натурному научному эксперименту «Полярный эксперимент-Юг» («ПОЛЭКС-Юг»), который был направлен на изучение влияния крупномасштабных круговоротов вод и льдов Южного океана на динамику циркуляции вод системы

Мирового океана и учета их вклада в энергетический баланс системы океан — атмосфера — морской лед. В 1981 и 1989 гг. этот эксперимент был дополнен проведением специальных зимних морских океанографических экспедиций на НЭС «Михаил Сомов» и НЭС «Академик Федоров». Последний рейс выполнялся совместно с германским исследовательским судном «Поларштерн».

Начиная с 1966 г. активную работу в водах Южного океана стали выполнять гидрографические суда ВМФ Минобороны СССР, которые традиционно отвечают в нашей стране за навигационное и гидрографическое обеспечение мореплавания во всех районах Мирового океана. Наиболее значимыми работами советских военных гидрографов стали промерные исследования для создания гидрографической карты пролива Дрейка в сезоне 1966/67 г., а также кругосветное исследовательское плавание вокруг Антарктиды гидрографических судов ВМФ «Адмирал Владимирский» и «Фаддей Беллинсгаузен» в сезоне 1982/83 г.

В этот же период наша страна открыла новые станции: Ленинградская (1971 — 1991 гг.), Русская (1980 — 1990 гг.), Прогресс (1988 г.), а также сезонные полевые базы Эймери (1971 — 1974 гг.), Дружная-1 (1975 — 1978 гг.), Геолог (1981 — 1982 гг.), Дружная-2 (1982 — 1986 гг.), Дружная-3 (1987 — 1990 гг.), Дружная-4 (1987 г.), Союз (1982 г.), Прогресс-1 (1986 — 1991 гг.), Прогресс-2 (1989 г.). Судовое обеспечение деятельности САЭ проводилось флотилией общей численностью до девяти судов, состоящей из одного научно-экспедиционного, двух научно-исследовательских, трех грузовых, двух гидрографических судов и одного танкера (28-я САЭ, 1982 — 1984 гг.). Максимальная численность зимовочного состава на восьми круглогодично действующих антарктических станциях достигала 377 человек (34-я САЭ, 1988 — 1990 гг.), а сезонного состава без учета численности экипажей морских и воздушных судов — 600 человек.

Наиболее важные научные и технологические результаты в этот период были получены в следующих областях:

- создание оборудования и разработка технологии бурения глубоких скважин в ледниках;
- открытие районов с потенциальными залежами полезных ископаемых в Западной и в Восточной Антарктиде;
- создание информационной базы данных по биоразнообразию, особенностям воспроизводства морских биологических ресурсов и элементов морских экосистем в Южном океане в зависимости от особенностей океанографического режима этой области;
- разработка и внедрение технологии строительства взлетно-посадочных полос из уплотненного снега для приема тяжелых транспортных самолетов на колесных шасси;
- создание наиболее репрезентативной сети метеорологических наблюдений в Антарктике;
- изучение структуры верхней атмосферы над Антарктидой.

Таким образом, 70—80-е годы XX века стали периодом максимального развития деятельности СССР в Антарктике, что дало нашей стране право наряду с США возглавить международное антарктическое сообщество и, следовательно, принимать активное участие в разработке новых политико-правовых документов системы Договора об Антарктике.

Третий, современный этап отечественных работ в Антарктике совпал с распадом СССР и началом деятельности Российской антарктической экспедиции (РАЭ). Она была образована Указом Президента Российской Федерации от 7 августа 1992 г. № 824. В этот период деятельность РАЭ была направлена на определение роли и места Антарктики в глобальных природных и социальных процессах. Глубокие политико-экономические преобразования постсоветского периода в Российской Федерации привели к резкому сокращению бюджетных ассигнований, выделяемых в том числе и на работу экспедиции, что соответственно определило необходимость минимизации существующей сети российских антарктических станций и сезонных полевых баз.

В октябре 1991 г. был выполнен заключительный рейс самолета Ил-76ТД из Кейптауна (ЮАР) на станции Молодежная и Новолазаревская. В 1999 г. была закрыта крупнейшая российская (советская) станция Молодежная с последующим ее переводом в статус сезонной полевой базы. В 1993/94 г. свой последний антарктический рейс совершило НЭС «Михаил Сомов». Из-за проблем, связанных с техническим состоянием транспортного парка санно-гусеничного похода, выполнявшего доставку грузов и топлива на станцию Восток со станции Мирный, в зимние периоды 1995 и 2003 гг. временно закрывалась станция Восток.

Начиная с 1992 г. организация выполнения работ РАЭ обеспечивалась ежегодными постановлениями Правительства Российской Федерации (14 октября 1992 г. № 788, 23 октября 1993 г. № 1068, 3 ноября 1994 г. № 1209, 19 сентября 1995 г. № 943, 5 ноября 1996 г. № 1323).

В октябре 1996 г. Комиссия по оперативным вопросам Правительства Российской Федерации рассматривала вопрос о целесообразности сохранения деятельности России в Антарктике. Это было связано с глубоким экономическим кризисом и необходимостью решения огромного числа жизненно важных государственных проблем, среди которых антарктические вопросы не могли занимать приоритетных позиций.

Международное антарктическое сообщество с интересом наблюдало за процессами значительного сокращения деятельности национальной антарктической экспедиции России, полным прекращением российского рыболовного промысла в Южном океане, завершением межконтинентальных полетов в Антарктиду из южной Африки и других видов деятельности, которые много лет определяли лидирующую роль СССР в Антарктике.

Однако, несмотря на всю реальную глубину бюджетного дефицита, правительственная комиссия приняла историческое решение сохранить РАЭ в минимально допустимых параметрах. В мае 1997 г. Правительство Российской Федерации постановило выполнять начиная с 1998 г. финансирование деятельности РАЭ через отдельную строку Федерального бюджета, которая получила название «Финансирование деятельности российских антарктических экспедиций», а 28 августа 1997 г. было принято Постановление № 1113 «О деятельности Российской антарктической экспедиции». В этом правительственном документе предусматривалось, что «в целях продолжения исследований в Антарктике с учетом сложившихся экономических условий и геополитических интересов России в Южной полярной области Правительство Российской Федерации постановляет одобрить представленные Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды согласованные с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти:

- перечень минимально допустимых параметров деятельности Российской антарктической экспедиции;
- мероприятия по обеспечению деятельности Российской антарктической экспедиции в режиме минимально допустимых параметров на 1997 — 2001 годы».

Таким образом, впервые в правительственном документе по отношению к Антарктике использовался термин «геополитические интересы страны».

Принцип «минимально допустимые параметры», с одной стороны, предельно сокращал деятельность РАЭ, но, с другой стороны, гарантировал финансовое обеспечение минимально допустимых параметров деятельности экспедиции в полном объеме вне зависимости от уровня цен на товары и услуги в России и за рубежом.

Минимально допустимые параметры деятельности РАЭ означали следующее:

- численность антарктической экспедиции без учета экипажей морских и воздушных судов: 90 человек из числа зимовочного состава, 80 человек из числа сезонного состава;
- действующие антарктические станции: Новолазаревская, Прогресс, Мирный, Восток, Беллинсгаузен;
- действующие сезонные полевые базы: Дружная-4 и Молодежная;
- 25 служебных и жилых зданий, сооружений и комплексов;
- суда обеспечения: научно-экспедиционное судно «Академик Федоров» Росгидромета и научно-исследовательское судно «Академик Александр Карпинский» Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации;
- авиационное обеспечение: два самолета, два вертолета; взлетно-посадочная полоса для приема тяжелых самолетов на станции Новолазаревская;
- нефтебазы антарктических станций для топлива и горюче-смазочных материалов емкостью 18,5 тыс. тонн.

Такое положение в РАЭ существовало до 2005 г., когда 2 июня Правительство Российской Федерации выпустило Распоряжение № 713-р, в котором деятельность РАЭ переводилась из «минимально допустимых параметров» в «оптимальные параметры».

Численность экспедиционного состава была увеличена до 110 человек из числа зимовочного состава и 120 человек из числа сезонного состава. При сохранении общего числа и перечня круглогодично действующих станций (пять) число сезонных полевых баз возросло с двух до пяти (Дружная-4, Молодежная, Союз, Ленинградская и Русская). Расширилось авиационное обслуживание работ РАЭ: к ранее использовавшимся воздушным судам был добавлен самолет Ил-76 для выполнения межконтинентальных рейсов из Кейптауна (ЮАР) на станцию Новолазаревская. Число взлетно-посадочных полос (ВПП) было увеличено до пяти: к ВПП на станции Новолазаревская добавились полосы на станциях Прогресс, Восток и сезонных полевых базах Молодежная и Дружная-4.

21 января 2013 г. Правительство Российской Федерации приняло Распоряжение №28-р, в котором на новый пятилетний цикл с 2013 по 2017 г. были утверждены основные направления и параметры деятельности РАЭ.

Они характеризуются круглогодично действующими станциями Мирный, Восток, Прогресс, Новолазаревская, Беллинсгаузен и сезонными полевыми базами Молодежная, Дружная-4, Союз, Ленинградская, Русская и Оазис Бангера (с 2015 г.). Судовое обеспечение экспедиции проводится с помощью научно-экспедиционных

судов «Академик Федоров» и «Академик Трёшников» (построено в 2012 г.), а также научно-исследовательским судном «Академик Александр Карпинский». Численный состав экспедиции сохранен на уровне 2005 г., а число экспедиционных вертолетов увеличено с двух до четырех.

Утвержденные Правительством Российской Федерации параметры деятельности РАЭ являются ключевыми аргументами для расчета бюджетных обязательств Правительства при подготовке проекта Федерального бюджета России на очередной финансовый год, что во многом повышает объективность выделения необходимых ассигнований для обеспечения деятельности РАЭ.

Несмотря на предпринимаемые в начале XXI века Правительством Российской Федерации энергичные меры по возвращению утраченных позиций в международном антарктическом сообществе, которые занимал СССР, особенно в 70 — 80-е годы XX века, РАЭ все еще не вышла на позиции САЭ, которые занимала наша отечественная экспедиция в 1990 г. по уровню финансирования этих работ. Итоговые данные по этому важнейшему параметру деятельности РАЭ приведены в таблице. Для удобства сравнения размеры финансового обеспечения деятельности РАЭ с 1992 по 2014 г. приведены к обменному курсу рубля к доллару США Центрального банка Российской Федерации в данном конкретном бюджетном году.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 сентября 1999 г. № 1027 «О мерах по обеспечению интересов России в Антарктике» Министерству экономики Российской Федерации поручалось начиная с 2000 г. предусматривать ежегодное выделение в проекте федеральной инвестиционной программы средств на приобретение новых приборов и оборудования для обеспечения деятельности РАЭ. В Плане мероприятий деятельности РАЭ на период с 2002 по 2004 г., утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2001 г. № 685 «О мерах по обеспечению интересов Российской Федерации в Антарктике и деятельности Российской антарктической экспедиции в 2002—2005 годах» предусматривалось выполнение проекта по переносу со станции Мирный на станцию Прогресс транспортного узла для проведения санно-гусеничного похода на станцию Восток и строительства снежно-ледового аэродрома на станции Прогресс. Эти работы были начаты в 2002 г. и завершены в конце 2012 г., когда на станции Прогресс были построены новый зимовочный комплекс и взлетно-посадочная полоса, предназначенная для приема транспортных самолетов. Начиная с 2007 г. санно-гусеничные походы по обеспечению внутриконтинентальной станции Восток стали проводиться со станции Прогресс, а не со станции Мирный, как это делалось на протяжении последних 50 лет.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 июня 2005 г. № 713-р предусматривалось начало проведения работ по проектированию и постройке нового научно-экспедиционного судна для обеспечения деятельности РАЭ. Фактически строительство этого судна началось после опубликования Постановления Правительства Российской Федерации от 27 января 2009 г. № 47 «О строительстве научно-экспедиционного судна Российской антарктической экспедиции». Эти работы были возложены на одно из старейших судостроительных предприятий России ОАО «Адмиралтейские верфи» в Санкт-Петербурге. 10 октября 2012 г. на этом судне, названном «Академик Трёшников», был поднят государственный флаг Российской Федерации, а 21 декабря 2012 г. оно вышло в свой первый антарктический рейс. Таким образом, строительство

Сравнение финансирования САЭ в 1990 г. и РАЭ за период с 1992 по 2014 г.

Год	Текущие расходы, млн руб.	Выделенная валюта, тыс. дол. США	Кап. вложения на оборудование, млн руб.	Средства на кап. стронт., млн руб.	Средний курс доллара США к рублю	Всего расходов, млн руб.	Всего затраты РАЭ без кап. стронт., млн руб.	Всего без расходов на кап. стронт., тыс. дол. США	Всего в переводе к текущему курсу доллара США	В % от 1990 г.
1990	25,5	3857	0	0	0,56	—	6913,00	42498,60	42498,6	100
1991	17,74	1200	0	0	0,58	—	2086,71	31698,00	31698	74,6
1992	386,2	4200	0	0,006	248	—	403,14	5745,00	5745	13,5
1993	4600	2252	0	0	1190	—	4601,89	3836,00	3836	9,0
1994	11970,8	0	0	0	2579	11970,8	11970,80	4154,00	4154	9,8
1995	36618,6	0	0	0	5180	36618,6	36618,60	7071,00	7071	16,6
1996	18880,2	0	0	0	5239	18880,2	18880,20	3645,00	3645	8,6
1997	55588,2	0	0	0	6075	55588,2	55588,20	9150,00	9150	21,5
1998	92,29	0	0	0	6,2 — 21,8(18,6)	92,75	92,29	9807,00	9807	23,1
1999	166,4	0	0	0	26	166,4	166,40	6400,00	6400	15,1
2000	102,4	0	7,45	1,55	28,3	111,4	109,85	3881,63	3936	9,1
2001	146,97	0	14,66	9,34	29,46	170,97	161,63	5486,42	5803	12,9
2002	272,92	0	16,41	2,52	31,36	291,85	289,33	9226,08	9306,4	21,7
2003	311,12	0	6,74	32,6	32	351,12	317,86	9933,13	10972,5	23,4
2004	349,81	0	32,92	11,08	31,6	393,81	382,73	12111,71	12462,3	28,5
2005	373,72	0	34,03	14,17	29,8	421,92	407,75	13682,89	14158,4	32,2
2006	550,34	0	50	98,2	28,5	678,54	600,34	21064,56	23808,4	49,6
2007	632,96	0	56,094	109,297	30	773,56	689,05	22968,47	25785,3	54,0
2008	701,024	0	60,9	118,9	32	880,824	761,92	23810,13	27525,8	56,0
2009	744,897	0	55,59	39,6	31	840,087	800,49	25822,16	27099,6	60,8
2010	744,897	0	29	287,555	31	1061,452	773,90	24964,42	34240,4	58,7
2011	820,786	0	57,18	175,02	30	1052,986	877,97	29265,53	35099,5	68,9
2012	1015,505	0	57,45	161,35	31	1234,305	1072,96	34611,45	39816,3	81,4
2013	1122,928	0	28,6	0	32	1151,528	1151,53	35985,25	35985,3	84,7
2014	1153,321	0	0	0	34	1153,321	1153,32	33921,21	33921,2	79,8

нового зимовочного комплекса на станции Прогресс и научно-экспедиционного судна «Академик Трёшников» стали наиболее крупными инвестиционными проектами по модернизации структуры РАЭ в начале XXI века при полном финансовом обеспечении со стороны Правительства Российской Федерации.

С 2001 г. после 10-летнего перерыва были восстановлены межконтинентальные полеты самолетов Ил-76 на аэродром станции Новолазаревская из Кейптауна (ЮАР). В 2003 г. заинтересованные в совместном авиационном обеспечении своей деятельности на Земле Королевы Мод и в прилегающих к ней районах национальные антарктические программы Бельгии, Финляндии, Германии, Индии, Японии, Нидерландов, Норвегии, России, ЮАР, Швеции и Великобритании организовали международную корпоративную авиационную программу ДРОМЛАН. В ее задачи входило выполнение межконтинентальных полетов по доставке грузов и персонала антарктических экспедиций из Кейптауна (ЮАР) на ледовые аэродромы российской станции Новолазаревская и норвежской станции Тролл, а также проведение фидерных полетов между антарктическими станциями и полевыми базами вышеназванных антарктических программ. Ледовый аэродром российской станции Новолазаревская в 2001 г. был включен в Реестр российских аэродромов гражданской авиации и получил Свидетельство государственной регистрации годности аэродрома к эксплуатации № 10-7, которое периодически продлевается Федеральным агентством воздушного транспорта России. Последнее такое продление было сделано в декабре 2010 г. сроком на пять лет — до 28 декабря 2015 г.

Российские научные исследования в Антарктике начиная с 1999 г. выполнялись в рамках подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» Федеральной целевой программы «Мировой океан», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 10 августа 1998 г. № 919 «О Федеральной целевой программе «Мировой океан». 31 декабря 2013 г. завершился третий, заключительный этап этой федеральной Программы, и начиная с 2014 г. работы и исследования РАЭ проводятся в рамках подпрограммы «Обеспечение и организация работ и научных исследований в Антарктике» Государственной программы «Охрана окружающей среды», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации № 2552-р от 27 декабря 2012 г.

27 июля 2001 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин утвердил Морскую доктрину России. В разделе «Индоокеанское региональное направление» предусматривается, что главным элементом осуществления государственной политики России в Антарктике, направленной на сохранение и закрепление позиций в этом регионе, является проведение научных исследований.

30 октября 2010 г. Правительство Российской Федерации своим Распоряжением № 1926-р утвердило «Стратегию деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2020 г. и на более отдаленную перспективу» (Стратегия, 2011). Основные направления Стратегии заключаются в следующем:

- сохранение Антарктики в качестве зоны мира, стабильности и сотрудничества, предотвращение возможного возникновения очагов международной напряженности и природно-климатических угроз глобального характера за счет всесторонней поддержки основных положений действующей системы Договора об Антарктике;
- укрепление экономического потенциала России за счет использования имеющихся водных биологических ресурсов Южного океана, а также комплексного изучения минеральных, углеводородных и других видов природных ресурсов Антарктики;

– повышение международного престижа Российской Федерации, чему будет способствовать проведение масштабных политических, социальных, научных, природоохранных мероприятий, связанных с деятельностью России в Антарктике.

В качестве тактических задач по реализации основных направлений деятельности России в Антарктике приняты:

– по первому направлению — всестороннее содействие сохранению и прогрессивному развитию Системы Договора об Антарктике, определение роли и места Антарктики в глобальных климатических изменениях на планете, наземная поддержка космической деятельности России в Южном полушарии;

– по второму направлению — поддержка и развитие деятельности российского рыбопромыслового флота в Антарктике на основе специализированного научного обеспечения, оценка перспектив минеральных и углеводородных ресурсов Антарктики при безусловном соблюдении требований Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике;

– по третьему направлению — проведение научных исследований на уровне лучших мировых достижений, осуществление природоохранных мероприятий в регионе.

Выполнение всех этих задач неразрывно связано с вопросами реорганизации или модернизации существующей экспедиционной инфраструктуры России в Антарктике. Подробный экономический анализ двух методов решения этой проблемы: создание новой инфраструктуры под современные требования науки или реконструкция имеющейся инфраструктуры, созданной в Антарктике СССР, показал, что наиболее эффективным и экономически выгодным подходом к решению этой проблемы является второй подход. С этой целью Россия планирует в ближайшие годы провести реконструкцию и модернизацию антарктических станций Мирный, Новолазаревская, Беллинсгаузен, построить новый зимовочный комплекс на станции Восток и восстановить на современном уровне деятельность станции Русская в режиме круглогодично действующей.

К наиболее значимым отечественным научным проектам и экспериментам, выполненным Россией в этот период, можно отнести:

– организацию первой в Антарктике дрейфующей научной российско-американской станции Уэдделл-1 в западной части моря Уэдделла в феврале — июне 1992 г.;

– создание цифрового интегрального индекса возмущений магнитосферы планеты (РС-индекс), характеризующего одним числом возмущенность геомагнитного поля;

– открытие четырех полных климатических циклов «оледенение — потепление» в Антарктике продолжительностью около 100 тысяч лет каждый, совершенное с помощью реконструкции палеоклиматических изменений по данным изотопных анализов ледникового керна со станции Восток;

– издание Атласа океанов «Антарктика» (Министерство обороны СССР, 2005);

– открытие зависимости изменения скорости биохимических реакций от интенсивности возмущения физических полей неэлектромагнитного происхождения;

– ввод в эксплуатацию на российских антарктических станциях аппаратуры дифференциальной коррекции параметров орбит спутников навигационной системы ГЛОНАСС, оснащение всех российских антарктических станций возможностью приема российских телевизионных программ и выхода в Интернет;

– экологически чистое проникновение в водный слой подледникового озера Восток через ледяной покров толщиной 3769,3 м 5 февраля 2012 г.

Таким образом, в начале XXI века в деятельности РАЭ произошли коренные изменения, вызванные большим вниманием российского Правительства к вопросам деятельности РАЭ. 19 апреля 2012 г. вновь избранный Президент Российской Федерации В.В. Путин встретился с участниками работ по выполнению глубокого бурения ледника с проникновением в поверхностный слой вод подледникового озера Восток с отбором проб из него. В.В. Путин выразил свою благодарность и восхищение достигнутыми результатами, заверил исполнителей в дальнейшей поддержке их деятельности в Антарктике.

Исторический обзор деятельности СССР и Российской Федерации в Антарктике убедительно показывает, что начиная с 1946 г. любые практические мероприятия в этом регионе наша страна выполняет при самом строгом соблюдении существующих норм международного права. При этом государственные органы исполнительной власти СССР и Российской Федерации выполняют огромную работу по разработке необходимых специализированных нормативно-правовых документов, регламентирующих деятельность наших граждан и юридических лиц в этом регионе. Правительство Российской Федерации предприняло значительные усилия, особенно в начале XXI века, по укреплению российских позиций в Системе Договора об Антарктике и непосредственно в Южном полярном регионе. С 1992 по 2013 г. Российской Федерацией в отношении Антарктики были опубликованы: два Федеральных закона, четыре Указа Президента Российской Федерации, 21 Постановление и 15 Распоряжений Правительства Российской Федерации.

Одновременно Российская Федерация предпринимает значительные усилия по развитию одного из основных принципов Договора об Антарктике — международного сотрудничества. За последние годы было заключено девять межправительственных соглашений о сотрудничестве с правительствами других стран в деле изучения Антарктики:

1) Соглашение между Министерством науки и технической политики Российской Федерации и Федеральным министерством образования, науки, исследований и технологии Федеративной Республики Германии о сотрудничестве в области морских и полярных исследований (г. Бонн, 10 февраля 1995 г.);

2) Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Чили о сотрудничестве в Антарктике (г. Москва, 14 февраля 1995 г.);

3) Совместное заявление Правительства Российской Федерации и Правительства Новой Зеландии о сотрудничестве в Антарктике (г. Пусан, 16 ноября 2005 г.);

4) Соглашение о научно-техническом сотрудничестве и сотрудничестве в области материально-технического снабжения при исследованиях в Антарктике между Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Перуанским антарктическим институтом (г. Москва, 21 декабря 2005 г.);

5) Меморандум о взаимопонимании и сотрудничестве в Антарктике между Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Российская Федерация) и министерством национальной обороны Восточной Республики Уругвай (г. Москва, 12 октября 2010 г.);

6) Меморандум о взаимопонимании между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки о сотрудничестве в Антарктике (г. Владивосток, 8 сентября 2012 г.);

7) Меморандум о взаимопонимании между Правительством Российской Федерации и Правительством Австралии по сотрудничеству в Антарктике (г. Сидней, 31 января 2012 г.);

8) Меморандум между Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Российская Федерация) и Государственным агентством по вопросам науки, инноваций и информатизации Украины о научно-техническом сотрудничестве в Антарктике (г. Ялта, 12 июля 2012 г.);

9) Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Беларусь о сотрудничестве в Антарктике (г. Санкт-Петербург, 15 марта 2013 г.).

Продолжительная история отечественных антарктических исследований и работ убедительно демонстрирует, что ее основой стал прекрасный арктический опыт советских полярников. В дальнейшем преемственность поколений в структуре КАЭ — САЭ — РАЭ помогала не только осваивать новые регионы шестого континента, но и активно внедрять новые современные методики исследований, транспортных операций, связи и других видов экспедиционных работ. При этом наша страна в Антарктике неуклонно следовала целям обеспечения своих государственных интересов в этом регионе при полном соблюдении существующих норм международного права. Эта позиция продолжает активно совершенствоваться и развиваться и в наши дни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Берг Д.С. (1949). Русские открытия в Антарктике и современный интерес к ней // Известия ВГО. №2. С 137—148.

Буйницкий В.Х. (1945). Основные итоги и перспективы научно-исследовательских работ Арктического института / Доклады юбилейной сессии 1920-XXVMT. М., —Л.: изд. Главсевморпути. 15 с.

Ермолаев А.М., Дибнер В.Д. (2005). Михаил Михайлович Ермолаев. Жизнь исследователя и ученого. —СПб.: Эпиграф. 597 с.

Лукин В.В., Корнилов Н.А., Дмитриев Н.К. (2006). Советские и российские антарктические экспедиции в цифрах и фактах (1955—2005 гг.). —СПб.: ААНИИ. . 455 с.

Молодцов С.В. (1954). Современное международно-правовое положение Антарктики. М.: Изд.-во юридической литературы. 48 с.

Слевич С. (1968). Ледяной материк сегодня и завтра. —Л.: Гидрометеиздат. 287 с.

Стратегия развития деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2010 года и на более отдаленную перспективу. (2011). —М.: Росгидромет. 20 с.

Таубер Г.М. (1956). Основные черты климата и погоды. Антарктика. Часть II. —Л.: Гидрометеиздат.

Berguno H. (2006). The Intellectual sources of the Antarctic Treaty / Boletín Antártico Chileno, 2-nd SCAR Workshop on the History of Antarctic Research. —Chile. P. 11—17.

Fogg G.E. (2007). International Geophysical Year / Encyclopedia of the Antarctic. —Routledge Taylor and Francis Group, New York. P. 535—536.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ПО ПРОГРАММАМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НЭВ, «ПОЛЭКС-СЕВЕР», «РАЗРЕЗЫ» В 1960—1980-е ГОДЫ

д-р геогр. наук Г.В. АЛЕКСЕЕВ

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

К середине 1960-х годов по мере развития знаний о процессах в атмосфере и океане укреплялась идея о необходимости учета их взаимодействия в развитии методов долгосрочных прогнозов погоды и колебаний климата. Прогностической направленности гидрометеорологических исследований в высоких широтах в СССР всегда придавалось особое значение, поэтому перспектива улучшения качества прогнозов при учете взаимодействия океана и атмосферы привлекла внимание специалистов ААНИИ.

В 1967 г. под руководством А.Ф. Трёшникова в ААНИИ был разработан план «Натурного эксперимента по взаимодействию океана и атмосферы» (НЭВ) (Трёшников и др., 1968). Его целью было исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы на акватории Северо-Европейского бассейна и прилегающей Северной Атлантики до линии мыс Фарвелл — 50° с.ш., 10° в.д. (рис.1).

Выбор района был обоснован его положением на пути встречных потоков теплых атлантических и холодных арктических водных и воздушных масс, которыми обмениваются Арктика и Северная Атлантика, и развитием интенсивных процессов обмена между ними. Здесь еще в 1930-е годы были начаты первые советские экс-

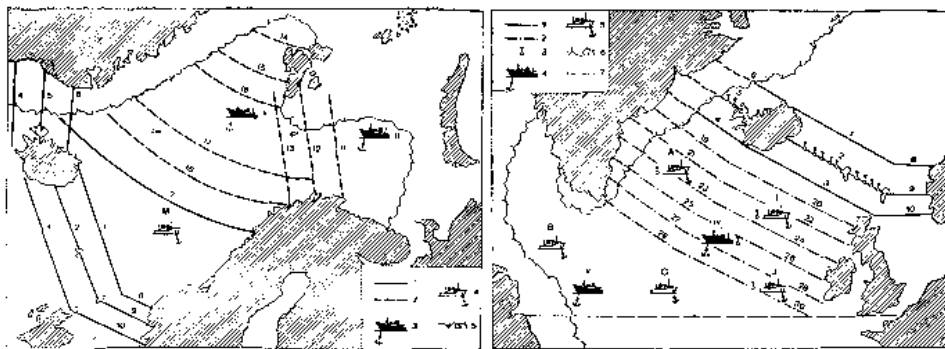


Рис.1. Схема работ в Северо-Европейском бассейне (слева) и в Северной Атлантике (справа) по плану НЭВ.

Слева: 1 — разрезы судна «А», 2 — разрезы судна «Б», 3 — корабли погоды НЭВ, 4 — международные корабли погоды, 5 — кромка льда. Справа: 1 — разрезы судна «А», 2 — разрезы судна «Д», 3 — буйковые станции, 4 — корабли погоды НЭВ, 5 — международные корабли погоды, 6 — кромка льда, 7 — граница НЭВ.

педиционные исследования, продолжавшиеся до 1939 г. включительно и имевшие целью выяснить влияние водообмена между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном на арктический лед и климатические условия вдоль трассы Северного морского пути (Тимофеев, 1944).

Первые экспедиции в Северную Атлантику и Северо-Европейский бассейн по плану НЭВ были выполнены в 1968—1970 гг. на научно-исследовательских судах «Профессор Визе» и «Профессор Зубов» (Борисов и др., 2006).

В 1970 г. при обсуждении международной Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП) было решено планировать и проводить наблюдения в полярных областях Земли в рамках предложенной программы НЭВ, включив ее в ПИГАП в виде подпрограммы под названием «Полярный эксперимент» (ПОЛЭКС). В 1971 г. на конференции стран — участниц ПИГАП программа ПОЛЭКС по предложению академика Е.К. Федорова была принята и стала, таким образом, международной.

Одна из главных задач «Полярного эксперимента» состояла в количественной оценке роли атмосферы и океана в формировании энергетического баланса полярных областей Земли (Борисенков, Трешников, 1970). Кроме того, ПОЛЭКС был направлен на исследование процессов крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в полярных областях и изучение механизмов, которые формируют крупномасштабные долгопериодные изменения гидрометеорологических процессов в Арктике и Антарктике.

Осуществление теоретических и экспериментальных работ по программе ПОЛЭКС началось в 1971—1972 гг. В плане на эти годы предусматривались изучение энергетики атмосферных процессов, разработка теоретических основ для гидродинамического моделирования атмосферной циркуляции и проведение научно-методических работ с научно-исследовательских судов на специальных полигонах. Итоги выполнения этих исследований были представлены в докладе А.Ф. Трешникова на заседании ГКНТ СССР 30 мая 1973 г. (Трешников, 1973).

В докладе, в частности, были приведены результаты анализа энергетических характеристик Северной полярной области с использованием представления о среднем энергетическом уровне атмосферы (Борисенков, Нагурный, 1970). В области численных экспериментов были представлены работы по развитию малопараметрических моделей циркуляции атмосферы и океана. На полигонах Северной Атлантики были проведены работы с целью изучения пространственно-временной структуры основных гидрофизических полей, а также механизмов взаимодействия атмосферы и океана с помощью специальной аппаратуры, предназначенной для определения составляющих теплового баланса. Вместе с тем, было отмечено, что без информации о крупномасштабных и долговременных процессах, протекающих на акватории океана, однозначная интерпретация явлений, наблюдаемых на ограниченных акваториях, в большинстве случаев невозможна. В связи с этим при дальнейшей реализации программы ПОЛЭКС на первый план была выдвинута задача проведения крупномасштабных долговременных натурных экспериментов.

Был предложен ряд таких экспериментов, и в частности натурный эксперимент «Центры действия атмосферы и океана в арктической области», который предполагал исследования очагов взаимодействия океана и атмосферы и связанных с ними крупномасштабных структур в атмосфере (центров действия) и в океане (океанические круговороты). Концепция очагов взаимодействия («география взаимодействия» (Бо-

рисенков, Трёшников, 1970)) получила развитие при разработке программы «Разрезы» (Программа..., 1981), где были использованы решения обратной задачи обнаружения очагов влияния на погоду и климат на территории России с использованием гидродинамической модели циркуляции атмосферы (Марчук, Скиба, 1976). Обнаруженные таким образом очаги взаимодействия океана и атмосферы были названы энергоактивными областями океана (ЭАЗО) и одна из этих областей располагалась в Северо-Европейском бассейне (Алексеев и др., 1985).

Эксперимент «Автоколебания гидрометеорологического режима Северного Ледовитого океана» был предложен исходя из предположения о взаимодействии процессов в Северном Ледовитом океане, Северной Атлантике и в атмосфере над ними, приводящем к возникновению автоколебаний с периодом 6—8 лет. Эксперимент «Водообмен между Северным Ледовитым, Атлантическим и Тихим океанами» был направлен на мониторинг расходов воды, тепла и соли через проливы, соединяющие эти океаны. Эксперимент «Параметризация процессов в атмосфере и океане при наличии ледяного покрова» должен был предоставить данные о процессах энерго-массообмена в системе океан — лед — атмосфера для последующей их параметризации в моделях циркуляции атмосферы и океана.

Для реализации программ натурных экспериментов был предложен план экспедиционных исследований на ближайшие годы, который осуществлялся в 1974—1975 гг. в рейсах научно-исследовательских судов, в воздушных высокоширотных экспедициях (ВВЭ) «Север» в Арктический бассейн, посредством постановки автономных буйковых станций. За этот период было выполнено до 10 рейсов научно-исследовательских и экспедиционных судов (Борисов и др., 2006), начаты крупномасштабные океанографические съемки Арктического бассейна ВВЭ «Север» (Константинов, Грачев, 2000). Вместе с тем, ощущалась необходимость объединения исследований по программам отдельных экспериментов в рамках крупномасштабного эксперимента на всей Северной полярной области, скоординированного с реализуемой в этот период Программой исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП).

В 1975 г. программа такого эксперимента, названного «ПОЛЭКС-Север-76» (Программа..., 1976), была разработана под руководством А.Ф. Трёшникова с учетом предложений от НИУ ГУГМС и АН СССР и одобрена в декабре 1975 г. на заседании Научного совета ГУГМС по проблеме «Изучение океанов и морей» и на Бюро Научного совета по проблеме «Изучение океанов и морей и использование их ресурсов» ГКНТ. Главной целью эксперимента было оценить вклад переноса тепловой энергии в атмосфере и океане в тепловой баланс системы океан — атмосфера в высоких широтах Северного полушария и, таким образом, более точно определить составляющие теплового баланса системы.

Эксперимент предполагалось проводить в марте — августе 1976 г. по нескольким направлениям (подпрограммам), включающим: радиационные исследования для определения радиационного баланса системы Земля — атмосфера, поверхности океана и льда и радиационных характеристик атмосферы с учетом распределения по вертикали облачности, водяного пара, углекислого газа, озона и аэрозолей; определение адвекции тепла в атмосфере, океане и изменения энтальпии системы океан — атмосфера; определение составляющих энергообмена между атмосферой и океаном, а также по ряду сопутствующих подпрограмм исследований, необходимых для научного обеспечения основных подпрограмм (методики, детализация процессов и др.).

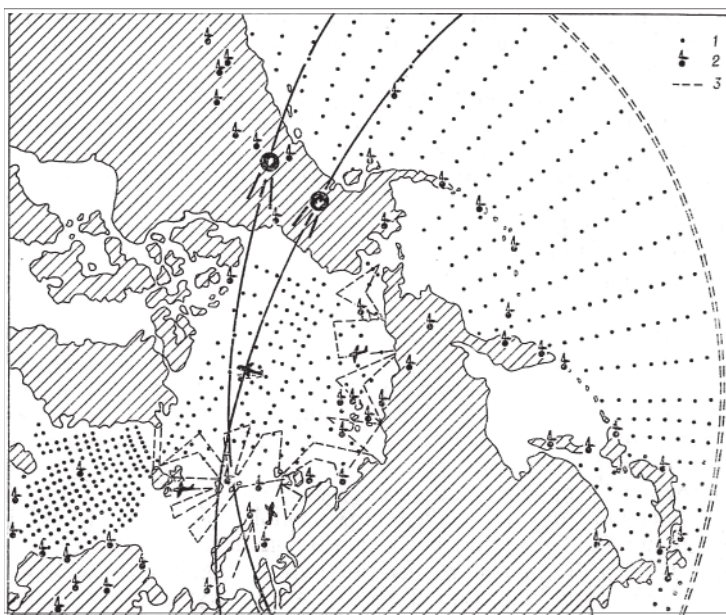


Рис. 2. Схема эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» (Трёшников, 1979).

1 — океанографические станции, 2 — аэрометеорологические станции,

3 — маршруты летающих обсерваторий.

В запланированные сроки в 1976 г. под руководством А.Ф. Трёшникова начался крупнейший в истории исследований Северной полярной области натурный эксперимент «ПОЛЭКС-Север-76». В работах, развернутых на акватории Северного Ледовитого океана и Берингова моря (рис. 2), приняли участие научно-исследовательские суда ААНИИ, других институтов Гидрометслужбы и других ведомств, авиация для выполнения океанографической съемки в Арктическом бассейне, ледовой разведки и атмосферных исследований.

При организации выполнения эксперимента вся область была разделена на три района – Северо-Европейский (без Баренцева моря), Арктический (Арктический бассейн, арктические моря и Баренцево море), Северо-Тихоокеанский (к северу от 30° с.ш.). В наиболее полной форме эксперимент был осуществлен в Северо-Европейском районе, где шестью научно-исследовательскими судами были выполнены три последовательные крупномасштабные океанографические съемки (1100 гидрологических станций), измерения течений на буйковых станциях и комплекс исследований атмосфер.

В Арктическом районе высокоширотной экспедицией «Север-28» была выполнена океанографическая съемка на регулярной сетке станций, покрывающей акваторию Арктического бассейна и северные части арктических морей (143 гидрологические станции) и ряд сопутствующих экспериментов для исследования процессов в атмосфере и морских льдах.

В Северо-Тихоокеанском районе четырьмя научно-исследовательскими судами ДВНИИГМИ были выполнены океанографическая съемка обширной акватории севернее 30° с.ш. (1063 океанографических станции) и комплекс метеорологических и аэрологических исследований.

В результате выполнения эксперимента был получен большой массив данных наблюдений в атмосфере и океане Северной полярной области. Океанографические данные представили практически синоптическое по океаническим меркам распределение океанологических полей в Северной полярной области при смене климатических режимов, особенно заметной в Тихоокеанском районе (Hare, Mantua, 2000).

Оценки переноса тепла в океане и атмосфере в Северо-Европейском бассейне подтвердили определяющую роль океанического притока тепла в этот район для формирования климатических и погодных условий в Арктике и на европейской части страны, о чем высказывал предположение еще В.Ю. Визе (Визе, 1937). Наблюдения в этом регионе заложили прочный фундамент для дальнейших исследований рассматриваемых процессов в режиме мониторинга в рамках как программы ПОЛЭКС, так и последующих программ.

Океанографическая съемка Арктического бассейна весной 1976 г. позволила установить важные особенности структуры и циркуляции водных масс и получить представление об их изменениях по сравнению с данными, полученными в результате выполненных ранее (в 1955—1956 и 1973—1975 гг.) съемок. Была установлена тенденция к ослаблению циркуляции и понижению температуры воды в бассейне. Были обнаружены области формирования и распространения холодных промежуточных вод (Никифоров и др., 1977, 1979). Они располагаются на периферии Арктического бассейна к северу от архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля, Гренландии и Канадского Арктического архипелага (рис. 3).

Промежуточные воды с более низкой температурой и более высокой соленостью, чем в верхнем слое, образуются зимой при интенсивном ледообразовании, сопровождающемся конвективным перемешиванием (Никифоров и др., 1977), глубина

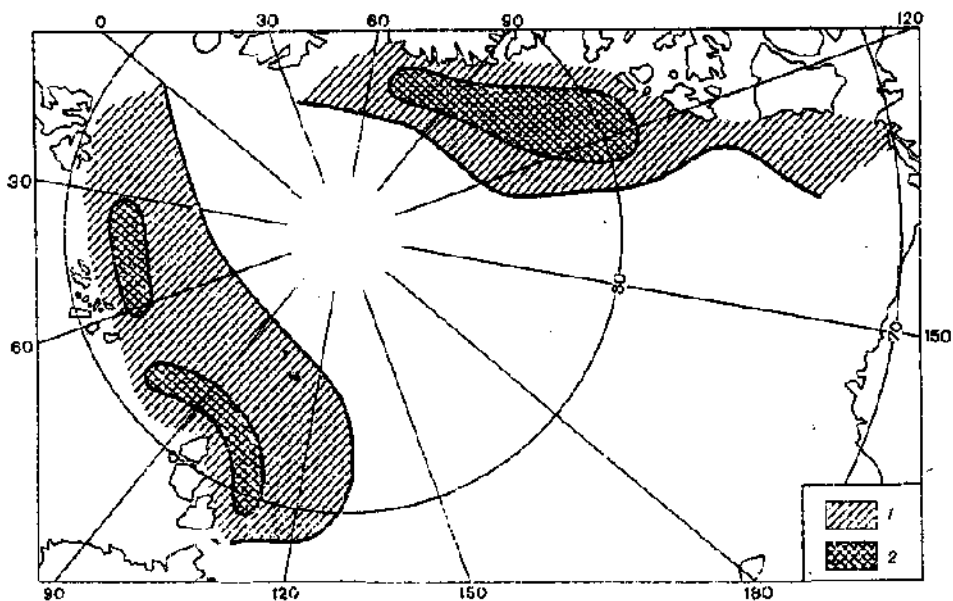


Рис. 3. Зоны образования и распространения зимних промежуточных вод в Арктическом бассейне (Никифоров и др., 1979).

1 — зона образования вод, 2 — ареал вод.

которого достигает верхней границы воды атлантического происхождения. Как правило, холодные промежуточные воды не перемешиваются с водами атлантического происхождения, а распространяется над ними на север от районов образования, сохраняя свои характеристики.

Были установлены значительные межгодовые колебания теплосодержания в слое воды атлантического происхождения в Арктическом бассейне, обусловленные в основном изменениями толщины слоя; более длительные, многолетние изменения теплосодержания вызваны, прежде всего, изменениями температуры слоя. С изменениями в поступлении атлантических вод через пролив Фрама связаны и климатические изменения антициклонического круговорота в Арктическом бассейне. Отмечена также консервативность крупномасштабной структуры водных масс и их циркуляции, изменения которой проявляются в интенсивности процессов (Никифоров и др., 1979).

Полученные весной 1976 г. данные океанографических наблюдений в Арктическом бассейне были использованы при подготовке атласа «Северный Ледовитый океан» (Атлас океанов, 1980) и «Атласа Арктики» (1985). Позднее они вошли в цифровые сеточные массивы климатических океанографических данных для Северного Ледовитого океана (EWG 1997, 1998, 2000), а наследие эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» было использовано при разработке части программы «Разрезы», относящейся к Норвежской энергоактивной зоне.

Программа «Разрезы» разрабатывалась под руководством академика Г.И. Марчука в 1979—1981 гг. Научные основы программы обсуждалась на совещании с участием А.Ф. Трёшникова и сотрудников ААНИИ в Новосибирске в 1979 г. Основная научная задача этой программы также заключалась в исследовании взаимодействия океана и атмосферы в целях долгосрочного прогноза погоды и короткопериодных изменений климата. Для оценки аномалий температуры поверхности океана, теплосодержания верхнего деятельного слоя и изучения физических механизмов их формирования в Мировом океане было выделено пять энергоактивных зон.

Одна из них, названная Норвежской энергоактивной зоной (НЭАЗО), располагалась на акватории Норвежского моря южнее параллели 71° с.ш. (Программа ..., 1981). Учитывая результаты эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» в Норвежском и Гренландском морях, выполненного на сетке разрезов до параллели 79° с.ш., было решено распространить область исследований на эту акваторию и продолжить наблюдения в Северо-Европейском бассейне по объединенной программе «ПОЛЭКС-Север/Разрезы» (Алексеев и др., 1985). Была принята схема океанографических наблюдений на регулярной сетке станций, покрывающей оба моря. Кроме того, проводились наблюдения на регулярной учащенной сетке станций в районах климатически активных процессов, таких как область глубокой конвекции в Гренландском море, круговорот над Лофотенской котловиной, Фареро-Шетландский канал и др. (рис. 4).

На первом этапе экспедиционных работ по объединенной программе «ПОЛЭКС-Север/Разрезы» в 1981—1985 гг. в рейсах НИС ААНИИ и других организаций было выполнено 12 628 океанографических станций, проведено 11 563 метеонаблюдений, большое число актинометрических и аэрологических наблюдений. Анализ этих данных и результатов съемок за 1976—1979 гг. позволил существенно дополнить представления о структуре и изменчивости характеристик вод Норвежского и Гренландского морей (Структура ..., 1989). Впервые были получены характеристики

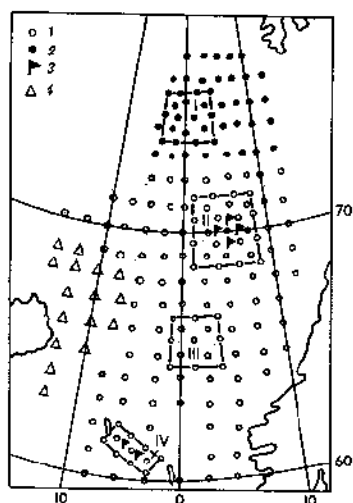


Рис. 4. Схема размещения океанографических станций на акватории Северо-Европейского бассейна (Структура ..., 1989).

1 — станции, выполняемые по программе «Разрезы»; 2 — по программе «ПОЛЭКС-Север»; 3 — буйковые постановки; 4 — станции, выполнявшиеся до 1984 г. I — полигон «Купол»; II — полигон «АЦ-вихрь»; III — полигон «М»; IV — полигон «Фареро-Шетландский пролив».

пространственной и временной изменчивости характеристик вод в глубоководных котловинах, выявлены области наибольшей изменчивости, связанные с фронтальными зонами и круговоротами, проведена типизация фронтальных разделов и рассмотрены механизмы их формирования (Кораблев, 1987).

В марте 1984 г. было зафиксировано развитие глубокой конвекции в Гренландском море (Нагурный и др., 1985). В районе Лофотенской котловины Норвежского моря в мае — июне 1985 г. была выполнена подробная океанографическая съемка, включающая инструментальные наблюдения за течениями. Были определены пространственные размеры ядра атлантических вод, достигающих в этом районе больших глубин и являющихся потенциальным источником повышенной теплоотдачи из океана в атмосферу. Аномально глубокое проникновение сезонного сигнала и наличие условий стратификации, благоприятных для развития глубокой конвекции, поставили этот район в ряд важных климатообразующих областей Северо-Европейского бассейна. Совершенствовалась и методика экспедиционных исследований, были выработаны рекомендации по проведению мониторинга на вихреразрешающей сетке станций (Алексеев, 1984; Алексеев, Николаев, 1987).

К 1989 г. число крупномасштабных съемок в Норвежском и Гренландском морях достигло 30, а число локальных полигонов в областях наиболее активных океанических процессов превысило 50. Таким образом были значительно расширены возможности диагноза, анализа и моделирования изменчивости. Более детально были представлены климатические океанические структуры — стационарные круговороты в глубоководных впадинах, системы гидрологических фронтов, теплые и холодные течения, кромка морских дрейфующих льдов (Структура..., 1989; Иванов, Макштас, 1987). Показана высокая корреляция положения этих структур в различных слоях и зон повышенной временной изменчивости. Характеристики крупномасштабной

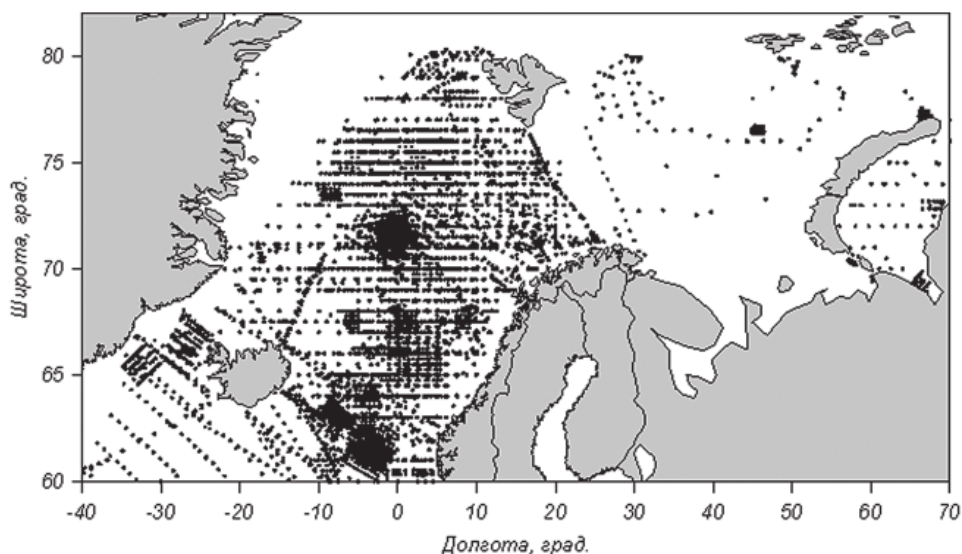


Рис. 5. Положение океанографических станций, выполненных в 1968—1993 гг. по программам НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы», а также океанографические станции в Баренцевом и Карском морях, которые выполнялись в рамках других программ.

временной изменчивости по данным наблюдений на регулярной сетке станций были получены впервые.

Следует отметить, что крупномасштабные съемки с привлечением нескольких судов выполнялись только в программах «ПОЛЭКС-Север» и «ПОЛЭКС-Север/Разрезы», а также во время проведения наблюдений в рамках международного геофизического года в 1958 г. Разработанная стратегия натурных экспериментов позволила не только получить новые данные о структуре и изменчивости крупномасштабных океанографических полей, но и выявить не известные ранее особенности локальных океанографических структур и процессов в Северо-Европейском бассейне.

Полный массив результатов океанографических наблюдений за период выполнения национальных программ в Норвежском и Гренландском морях составили данные 42 крупномасштабных съемок (4408 станций), 17 полигонов в зоне глубокого проникновения атлантических вод в Лофотенской котловине, 19 полигонов в центральной части Гренландского моря, большого числа наблюдений в проливах, фронтальных и прикромочных зонах дрейфующих льдов (рис. 5). Эти данные составили основу базы океанографических данных Северо-Европейского бассейна, которая в настоящее время включает данные более 700 000 станций (Кораблев и др., 2007).

Собранные океанографические данные составляют уникальную информационную основу для диагностики, анализа и моделирования океанических процессов и их взаимодействия с процессами в атмосфере. На их основе получены оценки теплосодержания деятельного слоя в центральной части Норвежского моря с учетом вклада теплообмена с атмосферой (20 %) и адвекции (80 %). Уточнены характеристики сезонной и межгодовой изменчивости полей океанографических параметров и положение областей максимальной изменчивости.

На основании анализа положения и интенсивности фронтальных разделов сделан вывод о формировании системы фронтов различной конфигурации в зависимости от

конкретных гидрологических условий. Рассмотрены результаты многомерной классификации водных масс и характеристики их временной изменчивости. Проведен статистический анализ значимости вертикальных, горизонтальных и временных корреляционных связей для полей аномалий температуры воды и солёности. Установлены сезонные изменения взаимосвязей и выделены ключевые узлы со значимой корреляцией.

Проанализированы океанографические и метеорологические условия развития глубокой конвекции в Гренландском море. Впервые с использованием математической модели воспроизведены основные закономерности трансформации поля плотности в конвективном круговороте, ведущие к развитию глубокой конвекции. Серия натурных съёмок в Лофотенской котловине выявила сложные динамические процессы на нижней границе линзы атлантических вод, включающие взаимодействие локальных антициклонических вихрей и крупномасштабной циркуляции.

Научные итоги отечественных натурных исследований в Северо-Европейском бассейне по программам НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы» подведены в многочисленных публикациях, включающих ряд монографий и сборников статей (ПОЛЭКС-Север-76. Ч.1, Ч2, 1979; Николаев, 1981; Алексеев, 1984; Структура..., 1989; Закономерности..., 1994; Взаимодействие..., 1991 и др.). Итоги исследований в Арктическом бассейне и арктических морях нашли отражение в серии обобщающих публикаций (Проблемы Арктики и Антарктики, 1976; ПОЛЭКС-Север-76. Ч.1, Ч2, 1979; Трёшников, 1979; Никифоров, Шпайхер, 1980; Вертикальная структура..., 1989) и в работах представляющих, в частности, оценки составляющих теплового баланса системы океан — атмосфера в Арктике (Доронин, 1974; Макштас, 1984; Хрол, 1992).

Тепловой баланс верхнего слоя Арктического бассейна поддерживается потоками тепла через его границы при активном участии притоков в этот слой и стоков через него пресных и солёных вод. Радиационный баланс на поверхности составляет в среднем за год около 3 Вт/м^2 и отрицателен (Хрол, 1992) в противоположность остальной части Мирового океана за исключением акватории, прилегающей к побережью Антарктиды. Суммарный за год поток тепла на поверхности Арктического бассейна также направлен из океана в атмосферу, что характерно для энергоактивных областей океана.

Вопрос об источниках тепла, отдаваемого в атмосферу через поверхность Арктического бассейна, давно являлся предметом дискуссий. Одни исследователи полагали, что главный источник — тепло от нижележащих вод атлантического происхождения и, в меньшей степени, от вод тихоокеанского происхождения. Другие (Трёшников, 1959; Тимофеев, 1960) считали, что основной источник — это тепло превращения избытка пресной воды в этом слое в морской лёд, выносимый затем за пределы Арктического бассейна. Уточнённые оценки вклада внутренних источников тепла были получены по данным наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс» в 1970—1980-х годах. Г.В. Алексеев и А.Я. Бузуев (1973, 1974) показали, что осолонению верхнего слоя за счёт процессов зимнего ледообразования в среднем на 0,60 % соответствует вымерзание слоя пресной воды толщиной 80 см. Поступление пресной воды в верхний слой, оценённое как в результате прямых измерений стаивания снега, льда и осадков, так и по летнему распреснению воды, составляет 53 см. Превышение зимнего вымерзания над поступлением пресной воды летом (27 см) удивительно близко к величине среднего слоя пресной воды (29 см) на единице по-

верхности Арктического бассейна, соответствующего годовому выносу льда через пролив Фрама по данным К.Огарда и Е.Кармака (1989).

Измерения нарастания многолетнего льда в зимний период одновременно с оценками осолонения верхнего слоя показали, что процесс вымерзания пресной воды связан с нарастанием молодых льдов в разводьях в большей степени, чем с увеличением толщины старых льдов. В конечном итоге увеличение массы льда зимой сопровождается выделением тепла, соответствующего среднему за этот период потоку, равному 12 Вт/м^2 , из которых примерно 7 Вт/м^2 обеспечиваются вымерзанием «местной» пресной воды и 5 Вт/м^2 — вымерзанием пресной воды, поступившей с осадками и речным стоком. Расчетная климатическая оценка суммарного потока тепла на поверхности за такой период составляет $12,7 \text{ Вт/м}^2$ (Хрол, 1992). Оценки суммарного потока тепла с поверхности дрейфующего льда по данным метеорологических измерений зимой (Макштас, 1984) находятся в пределах $11\text{—}12 \text{ Вт/м}^2$ в среднем за четыре зимних месяца. Таким образом, поток тепла из океана в атмосферу над Арктическим бассейном формируется с активным участием процессов образования и таяния льда.

Если оценить составляющие теплового баланса атлантических вод в целом, основываясь на вкладе атлантических вод в поддержание солевого баланса Арктического бассейна и используя метод солевого баланса, примененный Е.Г. Никифоровым и А.О. Шпайхером (1980) для расчета потоков соли в СЛО, и оценки водообмена через пролив Фрама (Тимофеев, 1960; Никифоров, Шпайхер, 1980), то суммарное поступление тепла от атлантических вод составит примерно $1/5$ тепла, выделяющегося при вымерзании избытка пресной воды в верхнем слое. С учетом того, что основная часть тепла от атлантических вод поступает в верхний слой на периферии Арктического бассейна, можно заключить, что полученные оценки не противоречат предположению о малом вкладе атлантических вод в тепловой баланс верхнего слоя непосредственно в Арктическом бассейне.

Комплексные натурные исследования океана, морских льдов, атмосферы и взаимодействия между ними, выполнявшиеся в 1970—1980-е годы в Арктике по программам НЭВ, ПОЛЭКС, «Разрезы», были продолжены 2000-е годы в рамках исследований по национальным и международным проектам, кульминацией которых стало выполнение натурных экспериментов по программе Международного полярного года 2007/08, при разработке планов и реализации которых широко использовался опыт и результаты крупномасштабных исследований 1970—1980-х годов (Итоги МПГ..., 2013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В. (1984). Натурные исследования крупномасштабной изменчивости в океане. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 112 с.
- Алексеев Г.В., Бузуев А.Я. (1973). Боковое таяние льда в разводье // Труды ААНИИ. Т. 307. С.169—178.
- Алексеев Г.В., Бузуев А.Я. (1974). К определению зимнего нарастания льда в разводьях с учетом торошения // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 45. С. 125—127.
- Алексеев Г.В., Николаев Ю.В. (1987). Натурные исследования в Норвежской энергоактивной зоне в 1981—1985 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 63. С. 5—14.
- Алексеев Г.В., Николаев Ю.В., Романцов В.А. (1985). Норвежская энергоактивная зона океана // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 5. С. 45—62.

- Атлас Арктики (1985) / Под ред. А.Ф. Трёшникова. —М.: Изд-во ГУГК СССР. 204 с.
- Атлас океанов (1980). Северный Ледовитый океан / Под ред. В.Г. Горшкова. —М.: Изд-во МО СССР, ВМФ. 190 с.
- Борисенков Е.П., Нагурный А.П.* (1970). Об аналогах энергетических уровней об атмосфере и океане // Труды ААНИИ. Т. 296. С. 92—97.
- Борисенков Е.П., Трёшников А.Ф.* (1970). О роли полярных районов в проблеме глобальных исследований циркуляции атмосферы и океана // Труды ААНИИ. Т. 296. С. 5—21.
- Борисов Б.Г., Корнилов Н.А., Папченко В.С.* (2006). Научно-исследовательский и экспедиционный флот ААНИИ / Под ред. И.Е. Фролова. —СПб.: ААНИИ. 232 с.
- Вертикальная структура и динамика подледного слоя океана (1989) / Под ред. Л.А. Тимохова. —Л.: Гидрометеиздат, 1989. 141 с.
- Взаимодействие океана и атмосферы в Северной полярной области (1991) / Под ред. А.Ф. Трёшникова и Г.В. Алексеева. —Л.: Гидрометеиздат. 176 с.
- Визе В.Ю.* (1937). Современное состояние вопроса о ледовых прогнозах // Проблемы Арктики. №1. С. 67—80.
- Доронин Ю.П.* (1974). Влияние ледяного покрова на теплообмен атмосферы с океаном // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 43—44. С. 52—59.
- Закономерности крупномасштабных процессов в Норвежской энергоактивной зоне и прилегающих районах (1994) / Под ред. Г.В. Алексеева и П.В. Богородского. —СПб.: Гидрометеиздат, 216 с.
- Иванов Б.В., Макшас А.П.* (1987). Особенности энергообмена между океаном и атмосферой в прикомочных зонах дрейфующих морских льдов // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 8. С. 222—227.
- Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований (2013) / Под ред. А.Н. Чилингарова, А.И. Бедрицкого, В.Г. Дмитриева. М. —СПб.: ООО «Паулсен». 220 с.
- Константинов Ю.Б., Грачев К.И.* (2000). Высокоширотные воздушные экспедиции «Север» (1937, 1941—1993 гг.) / Под ред. В.Т. Соколова. —СПб.: Гидрометеиздат. 176 с.
- Кораблев А.А.* (1987). Система фронтальных разделов Норвежской НЭАЗО // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 8. С. 380—386.
- Кораблев А.А., А.В.Пнюшков А.В., Смирнов А.В.* (2007). Создание океанографической базы данных для мониторинга климата в Северо-Европейском бассейне Арктики // Труды ААНИИ. Т. 447. С. 85—108.
- Макшас А.П.* (1984). Тепловой баланс арктических льдов в зимний период. —Л.: Гидрометеиздат. 66 с.
- Марчук Г.И., Скиба Ю.Н.* (1976). Численный расчет сопряженной задачи для моделей термического взаимодействия атмосферы с океаном и континентом // Изв. АН СССР. ФАО. Т. 12. №5. С. 16—24.
- Нагурный А.П., Богородский П.В., Попов А.В., Священников П.Н.* (1985). Интенсивное образование холодных донных вод на поверхности Гренландского моря // Доклады АН СССР. Т. 284, №2. С. 478—480.
- Никифоров Е.Г., Блинов Н.И., Лукин В.В.* (1977). Новые данные о природе промежуточных водных масс Арктического бассейна // Труды ААНИИ. Т. 338. С. 17—31.
- Никифоров Е.Г., Блинов Н.И., Лукин В.В.* (1979). Некоторые результаты экспедиционных исследований по программе «ПОЛЭКС-Север-76» // ПОЛЭКС-Север-76. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат. С.129—146.
- Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О.* (1980). Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. —Л.: Гидрометеиздат. 259 с.

Николаев Ю.В. (1981). Роль крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в формировании аномалий погоды. —Л.: Гидрометеиздат. 51 с.

ПОЛЭКС-Север-76. Ч.1. (1979) / Под ред. Трёшников А.Ф. и др. —Л.: Гидрометеиздат. 251с.

ПОЛЭКС-Север-76. Ч. 2. (1979) / Под ред. Трёшников А.Ф. и др. —Л.: Гидрометеиздат. 193с.

Проблемы Арктики и Антарктики (1976). —Л.: Гидрометеиздат. Вып. 47. 170 с.

Программа исследования атмосферы и океана в целях изучения короткопериодных изменений климата (программа «Разрезы»). (1981) / Под ред. Г.И. Марчука // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 1. 60 с.

Программа натурного полярного эксперимента 1976 года (ПОЛЭКС-Север-76) (1976). —Л.: Репрогр. ААНИИ. 115 с.

Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне (1989) / Под ред. Ю.В.Николаева, Г.В. Алексеева. —Л.: Гидрометеиздат. 128 с.

Тимофеев В.Т. (1944). Водные массы Норвежского и Гренландского морей и их динамика. —М.— Л.: Изд-во Главсевморпути. 264 с.

Тимофеев В.Т. (1960). Водные массы Арктического бассейна. —Л.: Гидрометеиздат. 190 с.

Трёшников А.Ф. (1959). Поверхностные воды в Арктическом бассейне // Проблемы Арктики. № 7. С. 5—14.

Трёшников А.Ф. (1979). Основные задачи и итоги национального натурного эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76»// ПОЛЭКС-Север-76. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат. С. 7—15.

Трёшников А.Ф. (1973). Итоги и перспективы полярного эксперимента (доклад на заседании ГКНТ 30 мая 1973 года). —Л.: Репрогр. ААНИИ. 43 с.

Трёшников А.Ф. (1979). Основные итоги исследований в океанических районах полярных широт (программа «ПОЛЭКС») / Успехи советской океанологии. Материалы Первого съезда советских океанологов. —М.: Наука. С. 146—156.

Трёшников А.Ф., Борисенков Е.П., Никифоров Е.Г., Мустафин Н.В., Чаплыгин Е.И., Шнайхер А.О. (1968). Натурный эксперимент по проблеме взаимодействия океана и атмосферы // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып.28. С. 5—20.

Хрол В.П. (1992). Атлас энергетического баланса Северной полярной области. —СПб: Гидрометеиздат. 72 с.

Aagaard K., Carmack E.C. (1989). The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation // J.Geophys. Res. V. 94. P. 10, 14485—14498.

Environmental Working Group (EWG) (1997). Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean: Oceanography Atlas for the Winter Period. Boulder, National Snow and Ice Data Center, CO.

Environmental Working Group (EWG) (1998). Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean: Oceanography Atlas for the Summer Period. Boulder, National Snow and Ice Data Center, CO.

Environmental Working Group (EWG) (2000). Joint U.S. Russian Arctic Atlas. The Arctic Climatology Project. Arctic Meteorology and Climate Atlas. NSIDC/CIRES.

Hare S.R., Mantua N.J. (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // Progr. Oceanog. V. 47. P. 103—146.

**ПРОЦЕССЫ ТУРБУЛЕНТНОГО ЭНЕРГООБМЕНА НА ГРАНИЦЕ
МОРСКОЙ ЛЕД — АТМОСФЕРА ПО ИСТОРИЧЕСКИМ ДАННЫМ
И ДАННЫМ ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЙ
«СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-35» И «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-39»**

*д-р физ.-мат. наук А.П. МАКШТАС, ст. науч. сотр. В.Ф. ТИМАЧЕВ,
нач. ВАЭ В.Т. СОКОЛОВ, вед. инж. В.Ю. КУСТОВ, вед. инж. И.А. ГОВОРИНА
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, maksh@aari.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Регулярные экспериментальные исследования физических процессов в атмосфере и ледяном покрове Центральной Арктики имеют длительную историю. Начало им положило в 1950 г. открытие дрейфующей станции «Северный полюс-2» (Фролов и др., 2005). Результаты исследований на дрейфующих станциях «Северный полюс», выполненных в 1950—1970-х годах, были использованы при создании под руководством А.Ф. Трёшникова Атласа Арктики (Атлас Арктики, 1985). В 1991 г. комплексные гидрометеорологические исследования в Северном Ледовитом океане 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 — океана в районе моря Бофорта и прилегающей части Арктического бассейна (Uttal et al., 2002). 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. на дрейфующей станции «Северный полюс-32».

Несмотря на длительную историю исследований Арктического бассейна, насчитывающую более 50 лет, до организации дрейфующей станции «Северный полюс-35» в 2007 г. можно отметить лишь два годовых 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. (Назинцев, 1964) и в период эксперимента «SHEBA» в 1997—1998 гг. (Uttal et al., 2002). Преимуществом комплексных наблюдений на дрейфующих станциях СП-35 — СП-40 (Макштас и др., 2012) является согласованность программы наблюдений, выполняемой 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 единого архива данных. В свою очередь, качество данных комплексных наблюдений на СП-4, послуживших прообразом экспериментальных исследований на СП-35 — СП-40, соответствовало уровню развития измерительной техники того времени.

процессов энергообмена, послужили данные специальных метеорологических наблюдений, проведенных на дрейфующих станциях СП-35 и СП-39 в период с октября 2007 г. по июль 2008 г. и с октября 2011 г. по сентябрь 2012 г. Наблюдения были выполнены с помощью модернизированной полуавтоматической метеорологической станции MAWS 110 (Vaisala, Финляндия), представляющей собой комплекс современных метеорологических и актинометрических датчиков (Ковчин и др., 2012). В работе были использованы полученные с дискретностью одна минута и осредненные за каждый час данные измерений атмосферного давления, скорости и направления ветра на высоте 2 и 10 м, температуры и влажности воздуха на высоте 2 и 8 м, коротковолновой и длинноволновой суммарной приходящей и отраженной радиации.

Карта траекторий дрейфа станций «Северный полюс» и SHEBA приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что данные были получены на западной и восточной периферии круговорота Бофорта (СП-39 и SHEBA), в центральной части СЛО (СП-4) и в районе к северу от Карского и Баренцева морей (СП-35).

МЕТОД РАСЧЕТА ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ЯВНОГО И СКРЫТОГО ТЕПЛА

Расчет характеристик турбулентного обмена между подстилающей поверхностью и атмосферой является центральной задачей при исследовании процессов взаимодействия атмосферы и океана. В приложении к арктическим районам именно они в значительной степени определяют формирование и разрушение ледяного покрова, а также успешность гидродинамических моделей прогноза погоды и климата.

Для оценки турбулентных потоков явного и скрытого тепла на основании данных натурных измерений до сих пор часто используются так называемые интегральные коэффициенты обмена, связывающие турбулентные потоки явного (H) и скрытого (LE) тепла с наиболее легко измеряемыми метеорологическими параметрами: скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха, измеренными на некоторой фиксированной высоте, и температурой и влажностью подстилающей поверхности (Макштас, 1984):

$$H = \rho C_p C_H \bar{U}_z (\theta_s - \bar{\theta}_z), \quad LE = \rho L_v C_E U_z (q_s - \bar{q}_z), \quad (1)$$

где C_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; L_v — скрытая теплота парообразования или сублимации; ρ — плотность воздуха; $\bar{U}_z$, $\bar{\theta}_z$, $\bar{q}_z$ — средние значения скорости ветра, потенциальной температуры и влажности воздуха на некоторой высоте (z); C_H , C_E — интегральные коэффициенты обмена явным теплом (число Стэнтона) и влагой (число Дальтона), отнесенные к высоте z ; θ_s и q_s — температура и влажность подстилающей поверхности.

Как показало сравнение результатов расчетов, проведенных по формулам (1), с данными прямых (пульсационных) измерений, они дают существенное завышение или занижение турбулентных потоков тепла при устойчивой ($\theta_s < \bar{\theta}_z$) и неустойчивой ($\theta_s > \bar{\theta}_z$) стратификации приземного слоя атмосферы соответственно. С середины 1950-х годов для учета стратификации приземного слоя атмосферы используется та или иная модификация базирующейся на предположении постоянства потоков и теории подобия параметризации Монина — Обухова (Монин, Обухов, 1954), обеспечивающая достаточно корректное описание процессов турбулентного обмена при неустойчивом и устойчивом состоянии приземного слоя атмосферы.

Уравнения (1), описывающие турбулентный перенос при нейтральной стратификации использованные и в работе Назинцева (1964), в современных параметризациях дополнены функциями, зависящими от параметра устойчивости ζ ($\zeta = z/L$), характеризующего стратификацию атмосферы. В интегральной форме эти уравнения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
\bar{U}(z) &= \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \frac{z}{z_{0m}} - \Psi_M \left(\frac{z}{L}, \frac{z_{0m}}{L} \right) \right], \\
\bar{\theta}(z) &= \bar{\theta}(z_{0h}) + \frac{t_*}{\kappa} \left[\ln \frac{z}{z_{0h}} - \Psi_H \left(\frac{z}{L}, \frac{z_{0h}}{L} \right) \right], \\
\bar{q}(z) &= \bar{q}_{0q} + \frac{q_*}{\kappa} \left[\ln \frac{z}{z_{0q}} - \Psi_q \left(\frac{z}{L}, \frac{z_{0q}}{L} \right) \right],
\end{aligned} \tag{2}$$

где $L = \frac{u_*^2}{\frac{g}{\theta} \kappa t_* \left(1 + 0,61 \bar{\theta} \frac{q_*}{t_*} \right)}$ — масштаб длины Монина — Обухова; κ — постоянная Кармана; u_* — масштаб скорости ветра в приземном слое (динамическая скорость): $\tau_0/\rho = u_*^2$; τ_0 — напряжение трения; t_* — масштаб температуры: $t_* = -H/(\rho C_p u_*)$; q_* — масштаб удельной влажности: $q_* = -LE/(L_v \rho u_*)$; $\Psi \left(\frac{z}{L}, \frac{z_0}{L} \right)$ — функция, описывающая влияние стратификации приземного слоя атмосферы; z_{0m} , z_{0h} , z_{0q} — параметры шероховатости для скорости ветра, потенциальной температуры и влажности воздуха соответственно.

Для условий неустойчивой стратификации обычно используются функции, предложенные в работах Dyer (1974), Hicks (1976), Businger et al. (1971):

$$\Psi_M = 2 \ln \frac{1+X}{2} + \ln \frac{1+X^2}{2} - 2 \arctg(X) + \pi/2, \quad \Psi_H = \Psi_q = 2 \ln \frac{1+\Psi}{2}, \tag{3}$$

где $X = (1-16\zeta)^{1/4}$, $Y = (1-16\zeta)^{1/2}$.

Для условий устойчивой стратификации явный вид функций Ψ был предложен в работах Зилитинкевича (1970), Businger et al. (1971), Dyer (1974), Högström (1996), Holtslag, de Bruin (1988), Beljaars, Holstag (1991), Cheng, Brutsaert (2005). На основе данных эксперимента SHEBA были разработаны следующие функции устойчивости (Grachev et al., 2007):

$$\begin{aligned}
\Psi_{m \text{ SHEBA}}(\zeta) &= \int_0^\zeta \frac{1 - \phi_{m \text{ SHEBA}}(\xi)}{\xi} d\xi = \\
&= -\frac{3a_m}{b_m}(x-1) + \frac{a_m B_m}{2b_m} \left[2 \ln \frac{x+B_m}{\sqrt{3}B_m} - \ln \frac{x^2 - xB_m + B_m^2}{1-B_m + B_m^2} + \right. \\
&\quad \left. + 2\sqrt{3} \left(\arctg \frac{2x-B_m}{\sqrt{3}B_m} - \arctg \frac{2-B_m}{\sqrt{3}B_m} \right) \right],
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
\Psi_{h \text{ SHEBA}}(\zeta) &= \int_0^\zeta \frac{1 - \phi_{h \text{ SHEBA}}(\xi)}{\xi} d\xi = \\
&= -\frac{b_h}{2} \ln(1 + c_h \zeta + \zeta^2) + \left(-\frac{a_h}{B_h} + \frac{b_h c_h}{2B_h} \right) \left(\ln \frac{2\zeta + c_h - B_h}{2\zeta + c_h + B_h} - \ln \frac{c_h - B_h}{c_h + B_h} \right),
\end{aligned} \tag{5}$$

где $x = (1 + \zeta)^{1/3}$, $B_m = ((1 - b_m)/b_m)^{1/3} > 0$, $B_h = (c_h^2 - 4) = 5^{1/2}$, $a_m = 5$, $b_m = a_m/6,5$, $a_h = 5$, $c_h = 3$, $\phi(\xi)$ — функция устойчивости, характеризующая стратификацию атмосферы.

При наличии данных о скорости ветра, температуре и влажности воздуха, по крайней мере, на двух уровнях в приземном (приледном) слое атмосферы подстановка формул (3) — (5) в формулу (2) дает замкнутую систему уравнений, решение которой с использованием итерационной процедуры позволяет рассчитать искомые турбулентные потоки. При этом отпадает необходимость использовать параметры шероховатости z_{0m} , z_{0h} , z_{0q} и температуры подстилающей поверхности. Однако использование такой схемы расчета, как будет показано ниже, приводит к большим погрешностям в оценках потоков тепла. Это обусловлено существенными относительными погрешностями разностей значений скорости ветра, температуры и влажности воздуха, измеренных с определенной погрешностью на разных высотах и являющихся малыми разностями больших величин. Использование в качестве данных для нижнего уровня характеристик подстилающей поверхности ($u = 0$, θ_s , q_s) позволяет вследствие больших значений соответствующих разностей минимизировать относительные ошибки, но обуславливает необходимость дополнительного описания параметров шероховатости.

Следует отметить, что подстилающая поверхность в полярных районах подвержена значительным изменениям. Зимой они происходят в результате метелевого переноса и динамического взаимодействия ледяных полей. Летом увеличение баланса коротковолновой радиации приводит к изменению фазового состояния снежной поверхности, а затем и к разрушению ледяного покрова. Таким образом, при решении системы уравнений (2) мы не можем использовать какое-либо одно (фиксированное) значение параметра шероховатости.

В работе Andreas et al. (2005) по аналогии с формулой Чарнока для водной поверхности (Charnock, 1955) на основе профильных и прямых измерений турбулентных потоков, выполненных на российско-американской дрейфующей станции «Уэдделл-1», была получена зависимость параметра шероховатости z_{0m} от динамической скорости для морского льда, покрытого снегом:

$$z_{0m} = \frac{0,135v}{u_*} + 0,035 \frac{u_*^2}{g} \left\{ F \exp \left[- \left(\frac{u_* - 0,18}{0,10} \right)^2 \right] + 1 \right\}, \quad (6)$$

где v — кинематический коэффициент вязкости для воздуха, рассчитываемый по формуле $v = [0,9065(t + 273,15) - 112,7] \cdot 10^{-7}$, $F = 5$ — эмпирический коэффициент.

Для расчета параметров шероховатости для температуры и влажности используется теоретическая модель, предложенная в работе Andreas (1987). В ее основе лежит гипотеза, которая заключается в том, что отношение параметров шероховатости для скалярных величин к параметру шероховатости для скорости z_0 функционально зависит от числа Рейнольдса $Re_* = u_* z_0 / \nu$. В упомянутой выше работе на основе анализа эмпирических данных указанная функциональная зависимость представлена в форме полинома:

$$\ln(z_{0h,q}/z_{0m}) = b_0 + b_1(\ln Re_*) + b_2(\ln Re_*)^2, \quad (7)$$

где b_0 , b_1 , b_2 — эмпирические коэффициенты, зависящие от Re_* .

В табл. 1 приведены значения коэффициентов b формулы (7), заимствованные из работы Andreas, 1987.

Значения эмпирических коэффициентов формулы (7) от Re_*

Коэффициент	$Re_* \leq 0,135$	$0,135 < Re_* < 2,5$	$2,5 \leq Re_* \leq 1000$
b_0	1,250	0,149	0,317
b_1	0	-0,550	-0,565
b_2	0	0	-0,183

Дополнительной трудностью использования температуры и влажности подстилающей поверхности в качестве параметров второго уровня для расчета турбулентных потоков по системе уравнений (2) является непосредственно определение значений t_s , q_s . Если последняя величина с достаточно большой степенью точности определяется по величине t_s , поскольку воздух непосредственно у поверхности снежно-ледяного покрова находится в состоянии насыщения, то для аккуратной оценки t_s использование контактных термометров, как показано, например, в работе Макштаса (1984), некорректно. Для расчета t_s были использованы данные о потоках приходящей (R_{dw}) и излученной (R_{up}) поверхностью длинноволновой радиации, измеренных с помощью пиргеометров CNR-1 на дрейфующих станциях СП-35 и SHEBA и пиргеометров CNR-4 на СП-39. Температура подстилающей поверхности рассчитывалась из уравнения баланса длинноволновой радиации

$$\varepsilon \sigma T_s^4 = R_{up} - (1 - \varepsilon) R_{dw}, \quad (8),$$

где $\varepsilon = 0,98$ — излучательная способность снежно-ледяного покрова.

Таким образом, турбулентные потоки явного и скрытого тепла рассчитывались с помощью системы уравнений (2), решаемой методом итераций с использованием параметризаций (3) — (7) по данным измерений температуры и влажности воздуха на высоте 2 м (для станции SHEBA 10 м), скорости ветра на высоте 10 м и потоков приходящей и излученной длинноволновой радиации. Валидация разработанного метода расчета выполнена по данным эксперимента на дрейфующей станции SHEBA (eandreas@nwra.com), на которой, помимо указанных выше характеристик приледного слоя атмосферы, потоки тепла оценивались по данным пульсационных измерений на высоте 3 и 9 м.

На рис. 2 приведены результаты сопоставления значений турбулентного потока явного тепла H , рассчитанных по данным пульсационных измерений на высоте 3 и 9 м (прямой метод), и значений потоков H , рассчитанных из системы уравнений (2), с результатами расчетов по данным пульсационных измерений на высоте 3 м. Как видно из рис. 2 а, лежащее в основе теории Монина – Обухова предположение о постоянстве турбулентных потоков в приземном слое атмосферы экспериментально подтверждается, по крайней мере, до высоты 9 м. Это является важным свидетельством возможности использования этой теории для описания характеристик приледного слоя атмосферы в полярных районах.

Сопоставление значений H , рассчитанных по данным измерений параметров приледного слоя на двух уровнях, с данными пульсационных измерений (рис. 2 б) демонстрирует чрезвычайно большой разброс рассчитанных по системе уравнений (2) значений H относительно полученных прямым методом. В то же время, использование в качестве второго уровня подстилающей поверхности существенно уменьшает указанный разброс значений (рис. 2 в, г). При этом использование формулы (7) для учета различия в параметрах z_{om} и z_{or} (рис. 2 г) лишь незначительно уменьшает разброс значений по сравнению с использованием предположения $z_{om} = z_{or}$.

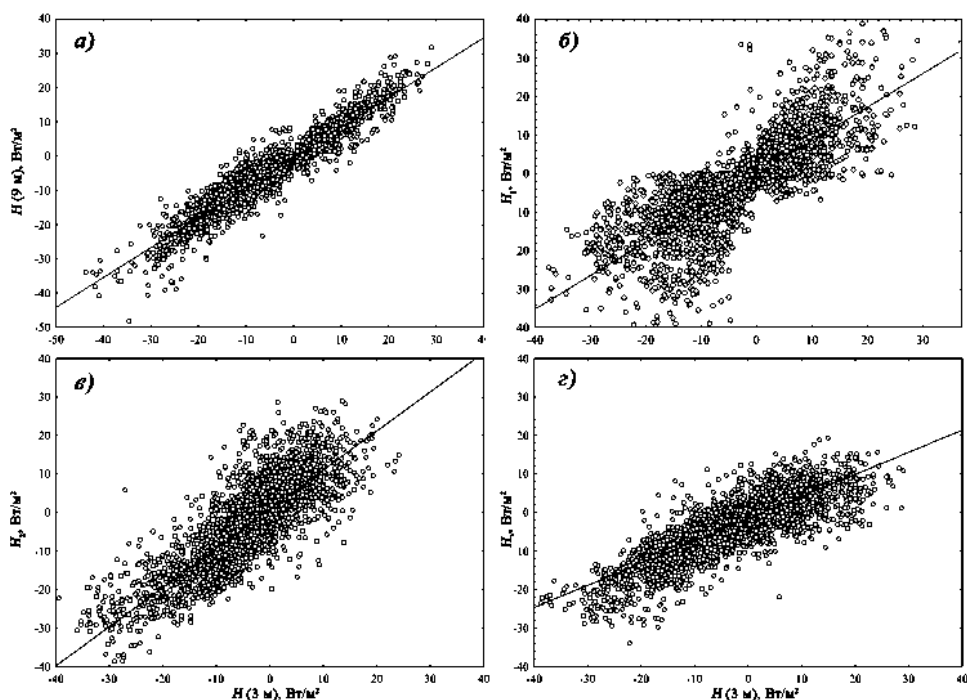


Рис. 2. Валидация алгоритма расчета турбулентного потока явного тепла по данным станции SHEBA.

a — по данным пульсационных наблюдений на высоте 3 и 9 м; *б* — по данным пульсационных наблюдений на высоте 3 м и алгоритму расчета по данным на двух уровнях; *в* — то же, но с использованием z_{0m} ; *з* — то же, но с использованием z_{0m} и z_{0r} .

Приведенные в табл. 2 и 3 статистические характеристики, рассчитанные по всему ряду имеющихся в архиве andreas@nwra.com данных наблюдений, подтверждают вышесказанное. На основании таблиц можно сделать вывод, что наиболее адекватно соответствуют данным пульсационных наблюдений результаты расчетов по представленному выше варианту метода расчета турбулентных потоков с использованием одинакового параметра шероховатости для скорости ветра, температуры и влажности воздуха, т.е. $z_{0m} = z_{0r}$. Именно этот вариант и был использован ниже для

Таблица 2

Оценки турбулентного потока явного тепла для всего ряда наблюдений (Вт/м²)

Поток	Длина ряда	Среднее	Макс.	Мин.	СКО
H_1	3249	-3,0	73,1	-88,2	12,1
H_2	4411	-3,0	24,1	-39,4	6,9
H_3	4411	-2,8	19,3	-34,0	6,9
H_4	4411	-2,2	29,0	-43,7	9,9
H_5	3249	-3,2	40,6	-54,0	9,7

Примечание. H_1 — по данным измерений на двух уровнях в атмосфере, H_2 — с использованием $z_{0m} = z_{0r}$, H_3 — с использованием различных параметризаций для z_{0m} и z_{0r} , H_4 и H_5 — по данным пульсационных наблюдений на высоте 3 и 9 м соответственно.

Корреляция потоков тепла, рассчитанных разными методами

Поток	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
H_1	1,00	0,62	0,64	0,76	0,72
H_2	0,62	1,00	1,00	0,82	0,85
H_3	0,64	1,00	1,00	0,83	0,85
H_4	0,76	0,88	0,83	1,00	0,95
H_5	0,72	0,85	0,85	0,95	1,00

оценки потоков H и LE по данным наблюдений на дрейфующих станциях SHEBA, «Северный полюс-35» и «Северный полюс-39».

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО ЭНЕРГООБМЕНА
МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ И ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ
СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА**

Как было сказано во введении, для анализа пространственно-временной изменчивости характеристик турбулентного энергообмена в 1950–1990-х годах были использованы следующие данные: результаты расчетов указанных характеристик, полученные на основании результатов измерений на СП-4; приведенные в работе Назинцева (1964); результаты численных экспериментов с наиболее полной термодинамической моделью морского льда, в качестве внешнего форсинга для которой были использованы также данные стандартных метеорологических и ледовых наблюдений, проведенных на СП-4 (Jordan et al., 1999); результаты расчетов средних для всего СЛЮ характеристик энергообмена, выполненных с помощью относительно простой термодинамической модели морского льда, форсингом для которой послужили данные стандартных метеорологических наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс», работавших в период с 1957 по 1990 г. (Lindsay, Makshtas, 2003).

Для оценки изменений характеристик турбулентного энергообмена в конце прошлого и первом десятилетии XXI века с помощью описанного выше метода был выполнен расчет потоков H и LE по данным ежечасных метеорологических наблюдений. Для этого были использованы данные дрейфующих станций SHEBA, «Северный полюс-35» и «Северный полюс-39». Среднемесячные значения рассчитанных и заимствованных из вышеупомянутых работ турбулентных потоков явного и скрытого тепла приведены в табл. 4 и на рис. 3.

Первое, что можно отметить, — это существенное расхождение между оценками потоков, рассчитанных по данным дрейфующей станции СП-4 в работах Назинцева (1964) и Jourdan et al. (1999). Анализ годового хода H , выполненный в работе Jourdan et al. (1999), позволяет предположить, что различия в годовом ходе обусловлены отсутствием учета роли стратификации приледного слоя атмосферы в работе Назинцева (1964). Так, например, из работы Макштаса и др. (2012) следует, что учет стратификации приводит как к подавлению турбулентного обмена и соответственно уменьшению потоков тепла при устойчивой стратификации, так и к их увеличению при неустойчивой. В то же время, значения турбулентных потоков в июне по данным работы Jourdan et al. (1999) (см. кривые 3 на рис. 3) представляются завышенными. Вероятно, это связано с недостаточно адекватным описанием моделью переходного от зимы к лету периода, когда небольшие ошибки в значениях альбедо могут радикально изменить воспроизведение моделью состояния верхней поверхности снежно-ледяного покрова.

Среднемесячные значения турбулентных потоков тепла (Вт/м^2) по данным наблюдений на дрейфующих станциях SHEBA, «Северный полюс-35», «Северный полюс-39» и по историческим данным

Месяц	Источник											
	Назинцев, 1964		Lindsey, Makshtas, 2002		Jordan et al., 1999		SHEBA		СП-35		СП-39	
	<i>H</i>	<i>LE</i>	<i>H</i>	<i>LE</i>	<i>H</i>	<i>LE</i>	<i>H</i>	<i>LE</i>	<i>H</i>	<i>LE</i>	<i>H</i>	<i>LE</i>
I	-10,5	-1,1	-9,9	-1,3	-11,5	1,3	-6,4	-0,4	-6,7	1,3	-3,1	1,7
II	-10,5	-0,9	-8,4	-1,1	-11,1	0,7	-8,4	-0,4	-14,5	0,3	-4,0	1,0
III	-7,3	-0,6	-6,6	-1,1	-8,3	0,4	-4,1	-0,3	-9,3	0,2	-5,5	1,0
IV	-4,0	-0,5	-0,1	0,1	—	—	-4,0	0,0	-16,5	-1,0	-2,4	1,6
V	9,4	3,0	5,8	5,9	10,6	8,8	-1,2	3,5	-4,7	1,4	3,9	6,4
VI	3,6	5,2	1,6	10,3	12,4	15,8	-2,0	3,2	-8,7	-1,7	3,2	7,3
VII	4,4	4,1	-2,2	6,5	1,9	8,2	-2,5	0,3	-6,2	-3,4	0,4	3,0
VIII	1,2	1,2	-1,2	6,7	3,9	8,5	1,2	2,3	-7,0	-2,4	-0,1	3,9
IX	1,9	0,0	-0,5	3,9	-0,4	2,3	-1,2	-0,5	-7,7	-1,3	0,4	4,0
X	-0,9	0,0	-2,0	0,1	-2,9	-0,4	-3,2	-0,5	-12,2	-1,6	-1,3	2,4
XI	-4,5	-0,5	-5,6	-1,0	-10,3	3,4	-5,1	-0,5	-13,8	0,0	-2,6	1,9
XII	-8,0	-0,6	-7	-1,1	-8,9	-0,9	-8,3	-0,5	-9,8	0,7	-1,7	1,5

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, полученные линейной интерполяцией между данными для предыдущего и последующего месяцев.

Из табл. 2 и рис. 3 (см. цвет. вклейку) видно неплохое соответствие результатов расчетов потоков *H*, приведенных в работе Lindsey, Makshtas (2002), в которой было выполнено осреднение потоков, рассчитанных по данным стандартных метеорологических измерений и покрывающих практически всю акваторию Арктического бассейна, в предположении фиксированной толщины льда, равной 3 м, с данными СП-39 в летний период. Однако следует отметить, что толщина льда в первую декаду XXI века в районе дрейфа станций СП-39, как и в основной части Арктического бассейна, существенно уменьшилась. Это, вероятно, и обусловило, вследствие увеличения потока тепла через ледяной покров, существенное уменьшение направленного к ледяному покрову потока *H* по данным СП-39.

Большое различие представленных на рис.3 б значений потока скрытого тепла *LE* в летний период, особенно наглядное при сравнении кривых 1, 2, и 3, не позволяет сделать сколь-либо однозначных выводов о его долгопериодной изменчивости. Можно лишь предположить (см. кривые 4, 5 и 6), что его значение в некоторой мере определяется степенью близости района наблюдений к окраинным морям Северного Ледовитого океана (см. рис. 1).

Наиболее интересной особенностью пространственно-временной изменчивости характеристик турбулентного энергообмена является годовой ход турбулентных потоков, рассчитанных по данным наблюдений на дрейфующей станции СП-35, дрейф которой происходил на северной периферии Карского и Баренцева морей. Из рис. 3 видно, что в течение всего годового цикла как поток *H*, так и поток *LE* были направлены от атмосферы к ледяному покрову и в некоторые месяцы были максимальными по абсолютному значению.

Для анализа возможных причин различий в значении и направлении потоков H и LE на СП-35 относительно потоков, рассчитанных по данным других дрейфующих станций, на рис. 4 представлен временной ход среднечасовых значений турбулентных потоков тепла в апреле совместно со среднечасовыми значениями основных характеристик приледного слоя атмосферы, определяющих интенсивность турбулентного режима. Выбор данных за апрель обусловлен тем обстоятельством, что, как следует из рис. 3, именно для этого месяца среднемесячные значения турбулентных потоков, рассчитанные по данным всех других станций, были наиболее близки между собой.

Из рисунка видно, что максимальные по абсолютному значению отрицательные турбулентные потоки тепла имели место в периоды максимальных температуры воздуха и скорости ветра, превышающих аналогичные параметры приледного слоя атмосферы на СП-39 на $10\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $6\text{--}8\text{ м/с}$. Продолжительность и периодичность резких изменений этих метеорологических параметров позволяет предположить, что они были обусловлены вторжением интенсивных баренцевоморских циклонов. Именно эти вторжения и известная инерционность снежно-ледяного покрова к изменению условий на его внешней границе, вероятно, и обусловили экстремальные значения характеристик турбулентного обмена.

Безусловно, это лишь предварительное заключение. Для его подтверждения необходимо проведение более тщательного анализа всех имеющихся данных наблюдений, в том числе и методами математического моделирования системы пограничный слой атмосферы — снежно-ледяной покров. Тем не менее выявленное усиление процессов турбулентного энергообмена при прохождении интенсивных циклонов необходимо иметь в виду, особенно при анализе климатических изменений

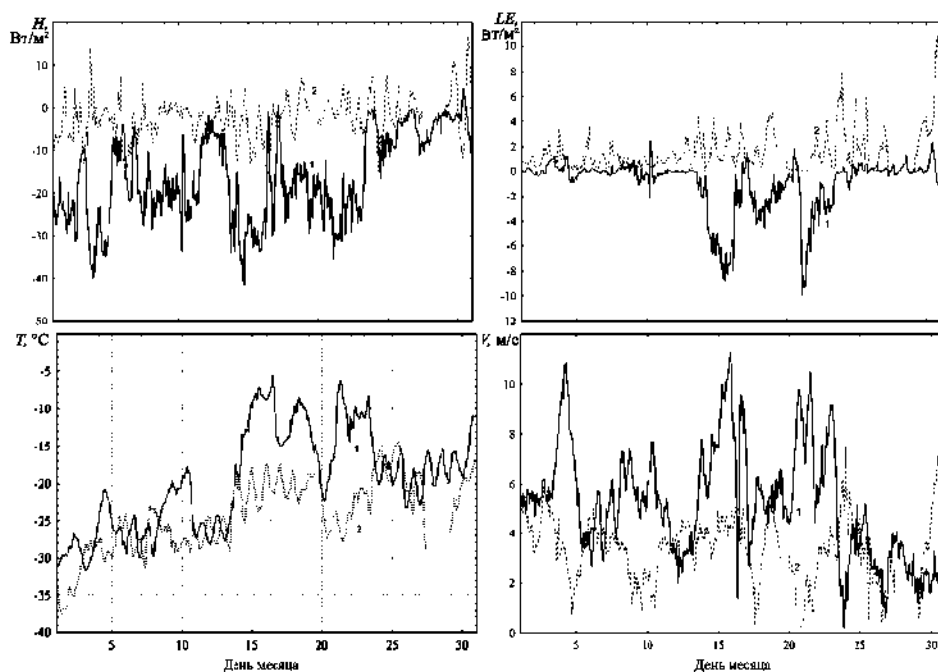


Рис. 4. Турбулентные потоки явного (а) и скрытого (б) тепла, температуры воздуха (в) и скорости ветра (г) в апреле по данным измерений на дрейфующих станциях СП-35 (1) и СП-39 (2).

с использованием среднемесячных данных и их экстраполяции на обширные районы Северного Ледовитого океана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанного с использованием современных параметризаций и валидированного по данным прямых (пульсационных) наблюдений метода расчета получены оценки турбулентных потоков тепла в районах дрейфа станций СП-35 и СП-39. Сопоставление с данными наблюдений на дрейфующей станции СП-4 и американской дрейфующей станции SHEBA позволили сделать предварительные заключения о пространственно-временной изменчивости интенсивности турбулентного обмена в Северном Ледовитом океане. Наибольший интерес представляют выявленные особенности характеристик энергообмена по данным дрейфующей станции СП-35, дрейф которой проходил на северной периферии Карского и Баренцева морей, что обусловило радикальное отличие среднемесячных значений турбулентных потоков в апреле — октябре от зарегистрированных или рассчитанных для центральной части Северного Ледовитого океана и района круговорота Бофорта.

Полученные в ходе работы результаты носят предварительный характер. В дальнейшем предполагается провести анализ всех доступных данных дрейфующих станций как с точки зрения получения с помощью описанного в настоящей работе метода надежных оценок пространственно-временной изменчивости процессов энергообмена в системе атмосфера — морской ледяной покров, так и для улучшения и детальной верификации существующих математических моделей этой системы.

Авторы выражают глубокую благодарность всем участникам дрейфа станций СП-35 и СП-39, чьими усилиями были получены уникальные массивы натурных данных, и американскому ученому Эду Андреасу, предоставившему авторский архив данных дрейфующей станции SHEBA. Работа выполнена в рамках темы ЦНТП Росгидромета 1.5.3.4 при частичной поддержке Российско-германской лаборатории морских полярных исследований им. О.Ю. Шмидта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Арктики (1985). Под ред. А.Ф. Трешникова. —М.: ГУГК, 204 с.
- Зилитинкевич С.С. (1970). Динамика пограничного слоя атмосферы. —Л.: Гидрометеиздат. 272 с.
- Ковчин И.С., Соколов В.Т., Макиetas А.П., Зиновьев Н.С. (2012). Метеоактинометрический комплекс для градиентных измерений на дрейфующем льду // Российские полярные исследования, №1 (7). С. 25—27.
- Макиetas А.П. (1984). Тепловой баланс арктических льдов в зимний период .Л.: Гидрометеиздат. 67 с.
- Макиetas А.П., В.Т. Соколов, В.Ю. Кустов (2012). Метеорологические исследования на российских дрейфующих станциях «Северный полюс» // Российские полярные исследования, №3 (9). С.15—17.
- Макиetas А.П., Б.В. Иванов, В.Ф. Тимачев (2012). Сравнение параметризаций турбулентного энерго-массообмена в устойчиво-стратифицированном приземном слое атмосферы // Проблемы Арктики и Антарктики, №3 (93). С. 5—18.
- Монин А.С., Обухов А.М. (1954). Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды Геофизического института АН СССР, 1954. №24 (151). С. 163—187.
- Назинцев Ю.Л. (1964). Тепловой баланс поверхности многолетнего ледяного покрова в Центральной Арктике // Труды ААНИИ. Т. 267. С. 110—126.

- Фролов И.Е. и др. (2005). Научные исследования в Арктике. Т. 1. СПб.: Наука. 267 с.
- Andreas E.L. (1987). A theory for the scalar roughness and the scalar transfer coefficients over snow and sea ice // *Bound.-Layer Meteor.* V. 38. P. 59—84.
- Andreas E.L., Jordan R.E., Makshtas A.P. (2005). Parameterizing turbulent exchange over sea ice: The Ice Station Weddell results // *Bound.-Layer Meteor.* V. 114. P. 439—460.
- Beljaars A.C.M., Holstag A.A.M. (1991). Flux parameterization over land surfaces for atmospheric models // *J. Appl. Meteor.* V. 30. P. 327—341.
- Businger J.A., Wyngaard J.C., Izama I., Bradley E.F. (1971). Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer // *J. Atmospheric Sci.* V. 28. P. 181—189.
- Charnock H. (1955). Wind stress on water surface // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* V. 81. P. 639—640.
- Cheng Y.G., Brutsaert W. (2005). Flux-profile relationships for wind speed and temperature in the stable atmospheric boundary layer // *Bound.-Layer Meteor.* V. 114. P. 519—538.
- Dyer A.J. (1974). A review of flux-profile relationships // *Bound.-Layer Meteor.* V. 7. P. 363—372.
- Jordan R.E., Andreas E.L., Makshtas A.P. (1999). Heat budget of snow-covered sea ice at North Pole 4 // *J. Geophys. Res.* V. 104. P. 7785—7806.
- Grachev A.A., Andreas E.L., Fairall C.W., Guest P.S., Persson P.O. (2007). SHEBA flux-profile relationships in the stable atmospheric boundary layer // *Bound.-Layer Meteor.* V. 124. P. 315—333.
- Hicks B.B. (1976). Wind profile relationships from the “Wangara” experiment // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* V. 102. P. 535—551.
- Högström U.L.F. (1996). Review of some of the characteristics of the atmospheric surface layer // *Bound.-Layer Meteor.* V. 78. P. 215—246.
- Holtslag A.A.M., de Bruin H.A.R. (1988). Applied modelling of the nighttime surface energy balance over land // *J. of Appl. Meteor.* V. 27. P. 689—704.
- Lindsay R.W., Makshtas A.P. (2003). Air-sea interaction in the presence of the Arctic pack ice / In: Arctic environment variability in the context of global change. Ch. 4 / Eds. L.P. Bobylev, K.Ya. Kondratyev, O.M. Johannessen. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK. P. 203—236.
- Uttal T. and 28 other authors (2002). Surface heat budget of the Arctic Ocean // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* P. 255—275.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА ПО НАУЧНЫМ ПРОГРАММАМ ААНИИ: ОТ ПРОГРАММЫ «ПОЛЭКС-ЮГ» ДО ФЦП «МИРОВОЙ ОКЕАН»

*ст. научн. сотр. Н.Н. АНТИПОВ, канд. физ.-мат. наук А.И. ДАНИЛОВ,
канд. физ.-мат. наук А.В. КЛЕПИКОВ*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: klep@aari.ru

Выдающаяся роль А.Ф. Трёшников в организации советских исследований Антарктики хорошо известна. Достаточно вспомнить о том, что в 1956—1958 гг. он возглавлял Вторую комплексную антарктическую экспедицию (КАЭ). Десятки раз на время зимовки на станции Мирный на вездеходах, тракторах, самолетах он проникал в глубь Антарктиды, открыл станции Комсомольская и Восток. Став в 1961 г. директором Арктического и антарктического научно-исследовательского института, А.Ф. Трёшников продолжал лично заниматься исследованиями Антарктики. В 1963—1964 гг. он возглавил перелет самолетов Ил-18 из Москвы в Антарктиду, где участвовал в создании станции Молодежная.

В 1967—1968 гг. А.Ф. Трёшников возглавлял 13-ю САЭ на д/э «Обь», совершившем под его руководством кругосветное плавание в высоких широтах. На острове Кинг-Джордж (Ватерлоо), расположенном в группе Южных Шетландских островов, была открыта антарктическая научная станция Беллинсгаузен. В мае 1973 г. А.Ф. Трёшников в четвертый раз морем отправился в Антарктику, где возглавил работы по выводу из ледового плена д/э «Обь», зажатого льдами в прибрежной зоне близ Антарктиды.

Вместе с тем, велика роль А.Ф. Трёшников в организации научных исследований в Антарктике, и прежде всего в исследованиях Южного океана.

Систематические экспедиционные исследования Южного океана были начаты нашей страной в 1956 г. в рамках Первой комплексной антарктической экспедиции, созданной для проведения работ в Антарктике по программе Международного геофизического года (МГГ). В период подготовки и проведения МГГ (летне-осенние сезоны 1956—1958 гг.) был выполнен большой объем океанографических наблюдений (около 500 глубоководных гидрологических станций). С окончанием МГГ объем океанографических наблюдений, проводившихся в рамках Советской антарктической экспедиции, значительно сократился, однако гидрологические и ледовые наблюдения с целью дальнейшего накопления натурных данных проводились при каждой возможности.

Океанографические наблюдения, выполненные на судах Советской антарктической экспедиции в период 1956—1963 гг., а также полученные в разные годы материалы наблюдений зарубежных экспедиций стали основой для подготовки обширного раздела «Воды и льды Южного океана» в Атласе Антарктики, первый том которого был опубликован в 1966 г., а второй — в 1969 г. (Атлас Антарктики, 1966, 1969). Руководство подготовкой к печати Атласа Антарктики и частичная разработка различных графических материалов осуществлялись сотрудниками антарктическо-

го отдела института, который возглавлял А.Ф. Трёшников. За грандиозный труд по подготовке этого уникального научного издания он вместе с другими авторами был удостоен Государственной премии СССР.

Атлас Антарктики представляет собой первое наиболее крупное и значимое обобщение материалов многолетних исследований природы Антарктики. В нем нашли отражение значительно изменившиеся на базе новой информации наши представления о природных явлениях Южного океана. В частности, были уточнены основные особенности пространственного распределения гидрологических элементов в океане, определены области распространения основных водных масс. Выделены новые окраинные моря Антарктики: Лазарева, Содружества, Рисер-Ларсена, Космонавтов, Моусона и Сомова. Построена более полная и совершенная схема циркуляции вод, а в циркуляции до этого почти не изученных антарктических вод была обнаружена серия окружающих континент стационарных циклонических круговоротов, наиболее обширными из которых являются круговороты Уэдделла и Росса. В ледовом поясе, окружающем Антарктиду, были выделены три наиболее крупных ледяных массива: Атлантический, Тихоокеанский и Балленский.

Экспедиционные исследования Южного океана заметно активизировались в конце 1960-х годов, когда был создан научно-исследовательский флот руководимого А.Ф.Трёшниковым Арктического и антарктического научно-исследовательского института. Начиная с первых рейсов, научно-исследовательские суда «Профессор Визе» и «Профессор Зубов» проводили обширные наблюдения за океаном, атмосферой и ледовым покровом в соответствии с научными программами, которые составлялись с учетом маршрутов судов по обеспечению антарктических станций и на основе представлений о гидрологическом режиме соответствующих районов Южного океана. Основная цель программы заключалась в увеличении объема данных наблюдений и расширении представлений о режиме вод и льдов этих регионов.

Заметно возросшие возможности судов по проведению широкого спектра наблюдений за океаном, атмосферой и ледовым покровом и осмысление накопленных данных привели к осознанию необходимости комплексного исследования природной среды антарктической области. В связи с этим в 1970-е годы начался качественно новый этап изучения Южного океана, и связан он с разработанной под руководством А.Ф. Трёшникова программой исследований полярных областей Земли.

Еще в 1968 г. была создана программа проведения Натурного эксперимента по проблеме взаимодействия океана и атмосферы (НЭВ) (Трёшников и др., 1968), эта программа была включена в Программу исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП) в виде подпрограммы под названием «Полярный эксперимент» (ПОЛЭКС). В 1971 г. на конференции стран — участниц ПИГАП программа ПОЛЭКС была принята и стала международной.

В качестве главной задачи программы, в рамках которой решено было планировать и проводить наблюдения в полярных областях Земли, была поставлена задача количественной оценки роли атмосферы и океана в формировании их энергетического баланса. Кроме того, программа «ПОЛЭКС» предусматривала исследование проблем, связанных с крупномасштабным взаимодействием атмосферы и океана в полярных областях Земли, и изучение механизмов, которые формируют крупномасштабные долгопериодные изменения гидрометеорологических процессов в Арктике и Антарктике.

Осуществление теоретических и экспериментальных работ по программе ПОЛЭКС началось в 1971—1972 гг. Целью работ были изучение энергетики атмосферных процессов, разработка теоретических основ для гидродинамического моделирования атмосферной циркуляции и проведение научно-методических работ с научно-исследовательских судов на специальных полигонах. В этот период исследования проводились на полигонах Северной Атлантики, где изучалась статистическая пространственно-временная структура основных гидрофизических полей, мезо- и макроструктура гидрофизических полей, а также механизмы взаимодействия атмосферы и океана с помощью специальной аппаратуры, предназначенной для определения составляющих теплового баланса.

Одновременно стала очевидной необходимость получения информации о крупномасштабных процессах, протекающих на акватории океана. Поэтому на первый план выдвинулись задачи крупномасштабных долговременных натурных экспериментов, осуществление которых началось в 1974 г. в Северной Атлантике и северной части Тихого океана. В экспедиционных исследованиях, проводимых на научно-исследовательских судах, основной задачей стало изучение пространственно-временной структуры центров действия океана и очагов взаимодействия атмосферы и океана, локализованных в этих районах. Важным шагом в развитии этих исследований стало запланированное на 1975 г. начало реализации натурального эксперимента по изучению структуры и динамики Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), который стал составной частью программы «ПОЛЭКС-Юг».

Применительно к Южному океану задачи программы были сформулированы следующим образом (Трёшников, 1973; Трёшников и др., 1973а, 1973б):

- 1) исследования структуры и динамики Антарктического циркумполярного течения как звена общей циркуляции Мирового океана;
- 2) изучение механизмов формирования антарктической донной воды (АДВ) и ее роли в глобальной циркуляции океана;
- 3) изучение массо- и энергообмена между океаном и атмосферой при их взаимодействии в Южном океане;
- 4) изучение роли криосферы и температуры морской поверхности в циркуляции атмосферы над Южным полушарием;
- 5) изучение закономерностей зонального и меридионального энергообмена в атмосфере Южного полушария;
- 6) исследование физических механизмов, ответственных за изменения климата (аэрозоль, CO_2 , O_3 , космогеофизические факторы).

Основное содержание программы составила совокупность целенаправленных натурных экспериментов для комплексного изучения океанических и атмосферных процессов с целью решения проблем динамики и термики вод Южного океана. Основная цель программы ПОЛЭКС — 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 Арктике и Антарктике. Отсюда понятна важность изучения циркуляции Южного океана и ее влияния на изменения погодных и климатических условий в глобальном масштабе.

Постановка специальных исследований в Южном океане была вызвана, прежде всего, необходимостью решения фундаментальных проблем циркуляции океана и

атмосферы с целью разработки методов долгосрочного прогноза погоды и колебаний климата, изучения экологических систем в океане и его биологической продуктивности для создания научных основ промысла и воспроизводства биологических ресурсов. Для решения этих проблем на тот момент было явно недостаточно знаний о характере крупномасштабных процессов в области Южного океана. Существовали достаточно противоречивые представления о пространственной структуре АЦТ, не были ясны закономерности крупномасштабного взаимодействия между океаном и атмосферой, отсутствовали достаточно надежные прямые и косвенные измерения потоков тепла и влаги из океана в атмосферу и т.д. В частности, предполагалось существование мощного противотечения под АЦТ (Трёшников, Баранов, Корнилов, 1974).

Начало реализации программы было положено 15-м рейсом НИС «Профессор Зубов», который открыл качественно новый этап в исследованиях Южного океана. Это был первый шаг в осуществлении одного из основных натурных экспериментов программы «ПОЛЭКС-Юг», названного «Динамика Антарктического циркумполярного течения как звена общей циркуляции Мирового океана». Осуществление этого эксперимента началось с пролива Дрейка (Трёшников, Саруханян, Смирнов, 1975), который является одним из наиболее интересных районов с точки зрения динамики АЦТ. Исследования пролива Дрейка начались в 1974—1975 гг. советскими и американскими учеными в рамках национальных программ.

Одной из основных задач первого натурального эксперимента по программе «ПОЛЭКС-Юг» было исследование структуры АЦТ, что было обусловлено сложившимся к тому времени различием взглядов на структуру АЦТ по вертикали (Трёшников, Баранов, Корнилов, 1974). Для решения этой задачи было предусмотрена установка АБС (автономных буйковых станций) с измерителями течений. Были поставлены две станции, общая продолжительность их работы составила 50 суток. Измерители были расположены на глубинах 50, 500, 1000, 2000, 3000, 3500 м. Была выполнена океанологическая съемка района размером 190×240 миль, содержащая 72 гидрологические станции. Проводились ежедневное четырехразовое аэрологическое зондирование до высоты 30 км, регулярные метеонаблюдения, обработка и анализ спутниковой информации о состоянии облачности и ледяного покрова.

В результате анализа полученных данных были описаны пространственная структура АЦТ на акватории пролива и характер внутримесячной изменчивости течений. Одним из основных результатов стало обнаружение в проливе Дрейка под основным потоком АЦТ глубинного противотечения, подтвердившее выводы, сделанные в указанной выше работе. Было установлено, что придонные воды, начиная с глубины 2000—2500 м, занимают всю площадь пролива, перемещаясь с востока и юго-востока. Однако был поставлен под сомнение вывод работы об эквивалентности расходов АЦТ и его противотечения (Трёшников, Саруханян, Меньшов, 1976). Стало очевидной необходимость дальнейших экспериментов.

Продолжить реализацию этого эксперимента было решено в рамках совместной российско-американской программы в соответствии с Протоколом совместной советско-американской Объединенной комиссии по сотрудничеству в области исследования Мирового океана. На прошедшей в мае 1975 г. в Москве Второй сессии Объединенной комиссии была достигнута договоренность о дальнейшем развертывании натурных экспериментов на базе международного сотрудничества для углубленного изучения выявленных в первых экспериментах особенностей пространственно-временной

изменчивости атмосферных и океанических процессов при их взаимодействии в Южном океане. Конкретная программа совместных советско-американских экспедиционных исследований в проливе Дрейка в январе — феврале 1976 г. была обсуждена на Международном совещании по изучению Южного океана (США, г.Корваллис, сентябрь 1975 г.). Международная программа совместных советско-американских экспедиционных исследований получила название International Southern Ocean Studies (ISOS). Программа «ПОЛЭКС-Юг» был фактически нашим вкладом в ISOS.

Эти совместные исследования в проливе Дрейка стали отправным пунктом в большой международной программе натурных исследований крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Южной полярной области. Советские предложения к этой программе предусматривали проведение комплексной международной экспедиции силами 10—15 судов на акватории Южного океана, постановку заякоренных измерителей течений и температуры воды на разрезе в проливе Дрейка, а также на разрезах Южная Африка — Антарктида, Австралия — Антарктида и проведение океанографических работ в морях Дейвиса и Уэдделла.

Задачи для работ в проливе Дрейка были сформулированы следующим образом (Смирнов, 1978):

- 1) изучение энергообмена между атмосферой и океаном в районе пролива Дрейка;
- 2) исследование связи динамики АЦТ с изменениями энергетических характеристик атмосферы;
- 3) изучение пространственно-временной структуры АЦТ и выявление основных причин, управляющих его динамикой;
- 4) изучение взаимосвязи динамики АЦТ с полярной фронтальной зоной (ПФЗ).
- 5) количественная оценка водо- и теплообмена в исследуемом районе и их колебаний во времени;
- 6) изучение взаимодействия АЦТ с динамикой водных масс в районах, прилегающих к проливу Дрейка.

Работы в проливе Дрейка в рамках экспедиции «Полэкс-Юг-76» выполнялись советскими учеными на НИС «Профессор Визе» и американскими учеными на судне «Томас Томпсон».

За экспедицию было выполнено 80 гидрологических станций, из которых 59 в виде шести разрезов в проливе Дрейка. Выполнялся широкий комплекс метеорологических, аэрологических, ледовых наблюдений.

В результате проведенных двух экспериментов была исследована пространственно-временная структура АЦТ и антарктический полярный фронт (АПФ). В частности, было установлено наличие трех основных струй АЦТ, выявлено сильное меандрирование струй, формирование вихрей с обеих сторон от АПФ, что связано со значительными градиентами скорости течения и плотности воды, а также со сложным рельефом дна. Как было установлено, именно меандры и вихри формируют в отдельных районах потоки обратного направления, ранее принимавшиеся за противотечение. Правда, в нижнем слое на глубине 3000—3500 м действительно наблюдалось слабое течение западного направления.

Поскольку вопрос о существовании противотечения был достаточно актуален и принципиален, на основе выполненных наблюдений были высказаны следующие соображения (Трёшников и др., 1978).

Наблюдаемые противотечения, скорее всего, представляют собой локальные явления, имеющие перемежающийся характер, возбуждаемые особенностями рельефа либо стоком холодных придонных вод, скапливающихся у западных границ океанов или у западных склонов меридиональных подводных хребтов.

Противотечения первого типа развиваются в виде струй западных потоков от поверхности до дна и переносят водные массы, не отличающиеся по своим свойствам от вод основного потока АЦТ. Наличие крупных меандров, связанных с подводными возвышенностями, приводит к регистрации противотечений на разрезах, секущих поток.

Противотечения второго типа развиваются как придонные течения со сравнительно малыми скоростями, которые переносят водные массы, отличающиеся по свойствам от вышележащих вод. Примером такого противотечения является противотечение в проливе Дрейка, переносящее на запад придонные воды моря Уэдделла.

По результатам первых двух экспериментов были сформулированы и планы на будущее (Трёшников, Саруханян, Смирнов, 1978), которые включали в себя следующие пункты:

- 1) исследование пространственной и временной изменчивости АЦТ и АПФ с постановкой АБС в районах Африка — Антарктида, Австралия — Антарктида; необходимы полигонные исследования в районе АПФ для изучения образования и динамики крупномасштабных меандров и вихрей во фронтальной области, а также для оценки вклада синоптической изменчивости динамики вод в формирование общего расхода АЦТ;

- 2) изучение меридиональной циркуляции в Южном океане (получение количественных оценок);

- 3) исследование механизма образования АДВ;

- 4) определение потоков тепла из океана в атмосферу.

Задачами следующего натурного эксперимента — «ПОЛЭКС-Юг-77» — являлось исследование структуры и динамики водных и воздушных масс, а также пространственно-временной структуры АЦТ и гидрологических фронтальных разделов на акватории между Австралией и Антарктидой. Планы совместных советско-американских экспедиционных исследований в Южном океане летом 1977 г. были обсуждены и согласованы на советско-американском совещании по обсуждению результатов совместных работ в Южном океане в 1975—1976 гг. и разработке программы дальнейших исследований (Ленинград, июль 1976 г.) и на научной сессии ISOS (Боулдер, США, август 1976 г.). В австралийском секторе Южного океана работало НИС «Профессор Зубов». Одновременно в проливе Дрейка на судне «Мелвилл» (США) выполнялись инструментальные наблюдения за течениями и колебаниями уровня моря.

На акватории между Австралией и Антарктидой в феврале 1977 г. были проведены инструментальные наблюдения за течениями с помощью трех притапливаемых буйковых станций (ПБС). Также были выполнены 21 глубоководная гидрологическая станция с определением гидрологических и гидрохимических параметров морской воды и 186 зондирований обрывными зондами на трех разрезах вдоль 132° в.д. и в районе двух мезомасштабных съемок. Были выполнены учащенные аэрометеорологические наблюдения. Основные научные результаты изложены в работе Савченко, Меньшова (1979).

Южным летом 1977/78 г. в районе моря Скоша и пролива Дрейка был проведен эксперимент «ПОЛЭКС-Юг-78», в ходе которого была выполнена гидрологическая съемка моря Скоша, поставлены три буйковые станции с измерителями течений на

различных горизонтах в районе прохода через Южно-Антильский хребет, произведена детальная съемка полярной фронтальной зоны.

Как видно, важнейшей составляющей океанографических наблюдений в рамках программы «ПОЛЭКС-Юг» была организация прямых инструментальных наблюдений за течениями. Наряду с гидрологическими наблюдениями это создало возможность достоверного описания структуры и изменчивости Антарктического циркумполярного течения. По результатам трех экспериментов в районе пролива Дрейка и моря Скоша удалось получить достаточно достоверную картину структуры и изменчивости АЦТ в этом районе (Саруханян, Смирнов, 1981).

Совместное рассмотрение результатов инструментальных наблюдений за течениями в проливе Дрейка и в районе прохода через Южно-Антильский хребет, а также данных расчетов геострофических течений, выполненных для всего района от поверхности 2500 децибар, показало, что в общем потоке вод, входящих в пролив Дрейка, выделяются три основные струи: северная — течение мыса Горн, центральная — стрежень АЦТ, южная — течение из моря Беллинсгаузена. Центральная и южная струи наиболее устойчивы, причем наибольшие скорости течений, составляющие по осредненным данным 35—40 см/с, наблюдались в центральной струе. Северная струя наиболее динамична и, судя по годовым сериям наблюдений, представляет собой некоторый ансамбль вихрей синоптического масштаба. Течения в проливе сохраняли преобладающее северо-восточное направление вплоть до горизонта 3000 м, причем скорость течений убывала до средних значений 5—10 см/с. Ниже горизонта 3000 м в проливе Дрейка наблюдалось слабое западное течение со средней скоростью 2—5 см/с, связанное с переносом донных вод из моря Уэдделла.

Многоструйность АЦТ сохранялась и в море Скоша. Проникновение АЦТ до больших глубин — практически до дна — сохранялось на всем протяжении от пролива Дрейка до выхода из моря Скоша. Так, средний поток АЦТ, выходящий через проход в Южно-Антильском хребте, характеризуется, по инструментальным данным, устойчивым направлением на север от поверхности до дна и однородным распределением скорости по вертикали, которая составляет (по осредненным данным) от 40 см/с в поверхностных слоях до 20 см/с вблизи дна. Оценки переноса вод через пролив Дрейка и водного баланса западной и центральной частей моря Скоша с учетом результатов инструментальных наблюдений показали, что расход воды, поступающей в море Скоша через пролив Дрейка, составляет около 105—125 свердрупов ($1 \text{ Св} = 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$), а через южную границу — около 20 Св. Основная часть вод, поступающих с запада, выносится через северную границу, и лишь 8—10 % этих вод уходит в восточную часть моря, в водном балансе которого преобладают воды из моря Уэдделла.

В спектрах колебаний скорости течений, по данным длительных наблюдений, основная энергия приходится на низкочастотную часть в диапазоне периодов от четырех-пяти до 60 суток. При этом колебания с периодами около пяти-шести суток связаны с баротропными возмущениями, возникающими под воздействием крупномасштабных барических образований и проникающими до больших глубин. Весьма существенный вклад в изменчивость синоптического масштаба вносят колебания с периодом около 14 суток, которые генерируются долгопериодным лунным приливом, и колебания с периодом около 30 суток, природа которых пока неясна. В области мезомасштабной изменчивости основная энергия приходится на долю приливных и инерционных колебаний, которые наиболее отчетливо выражены в проливе Дрейка.

Определение границ ПФЗ и изучение ее структуры проводилось на основании результатов подробных съемок, выполненных с расстоянием между станциями в зоне фронта 10—20 миль. Совместный анализ советских и американских данных по вертикальному распределению температуры и солёности в вернем 1000-метровом слое океана позволил установить границы ПФЗ и их межгодовую изменчивость. Оказалось, что положение границ ПФЗ в некоторых районах изменяется до 70—80 миль, однако общая структура и среднее положение зоны остаются постоянными. Ширина зоны в рассматриваемой области, в общем, невелика (30—40 миль) и только в отдельных районах вследствие процессов меандрирования и вихреобразования ПФЗ расширяется до 150—200 миль.

Впервые были исследованы и описаны особенности структуры ПФЗ. По мере приближения к фронтальной зоне с юга слой температурного минимума антарктических вод заметно заглубляется и расширяется. В самой зоне градиенты температуры и солёности наиболее хорошо выражены в слое 50—150 м, т.е. ниже поверхностного перемешанного слоя. Характерной особенностью фронтальной зоны является также изменение знака градиента солёности, начиная с горизонта 200 м. Судя по распределению температуры и солёности, в зоне фронта происходит смещение и опускание антарктических и субантарктических вод до глубины 500 м и более, что свидетельствует об образовании новой водной массы — антарктических промежуточных вод.

Процессы вихреобразования и меандрирования значительно усложняют описанную структуру ПФЗ. Градиенты температуры и солёности с глубиной неоднократно меняют знак.

Применение компонентного анализа позволило установить границы распространения водных масс в восточной части моря Беллинсгаузена, проливе Дрейка и море Скоша. Были выделены основные характерные водные массы Южного океана: поверхностная субантарктическая, поверхностная антарктическая (с зимней подповерхностной модификацией), циркумполярная глубинная и донная антарктическая. Обнаружены признаки существования антарктических промежуточных вод. Анализ средних характеристик водных масс показал изменение их свойств при движении с запада на восток, что связано с заметным влиянием антарктических вод моря Уэдделла на гидрологический режим моря Скоша, особенно в его восточной части.

Таким образом, в результате проведения натурных исследований в рамках советско-американского сотрудничества в проливе Дрейка и море Скоша удалось установить ряд принципиально новых особенностей пространственной структуры циркуляции вод в указанном районе, временной изменчивости течений, структуры и динамики полярной фронтальной зоны, распределения водных масс и процессов взаимодействия между атмосферой и океаном. Заметим, что большинство сделанных выводов актуальны и на сегодняшний день.

Вместе с тем, анализ полученных данных стал базой для планирования последующих натурных экспериментов. Развитие исследований по программе «ПОЛЭКС-Юг» предусматривало осуществление крупномасштабных натурных экспериментов с привлечением большого числа судов и в других регионах Южного океана.

Наиболее крупный натурный эксперимент был проведен в январе — марте 1979 г., когда силами двух судов — «Профессор Визе» и «Профессор Зубов» — была выполнена крупномасштабная съемка на акватории между Африкой и Антарктидой. Наблюдениями был охвачен район океана, ограниченный меридианами 10 и 30° в.д., и параллелями

35 — 57° ю.ш. Станции съемки располагались через 1° по широте и 2,5° по долготе. На меридиане 20° в.д. были поставлены четыре буйковые станции с горизонтами размещения самописцев течений 150, 500, 1000, 2000, 3000 м. Нижний горизонт находился в 200 м от дна. Продолжительность наблюдений составила 52—55 суток.

В 1982—1983 гг. была проведена экспедиция в районе Аргентинской котловины и Фолклендского плато. НИС «Профессор Зубов» выполнил четыре разреза (по меридианам 38, 43, 48 и 53° з.д.), на которых было выполнено 64 глубоководных гидрологических станций. В зоне АЦТ на меридиане 38° з.д. были выставлены четыре буйковые станции с самописцами течений на горизонтах 150, 500, 1000, 2000, 3000 и 4000 м.

В январе — марте 1981 г. в рамках программы «ПОЛЭКС-Юг-81» был проведен первый межведомственный натурный эксперимент. Океанографическая съемка в секторе 140—175° в.д. была выполнена силами шести судов и состояла из 190 глубоководных гидрологических станций. В эксперименте принимали участие суда ААНИИ «Профессор Визе» и «Профессор Зубов», суда Дальневосточного научно-исследовательского института «Прилив» и «Волна», суда Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии «Мыс Юноны» и «Мыс Тихий».

В районе ПФЗ проводилось учащенное зондирование верхнего 1000-метрового слоя. Вдоль меридиана 152°30' на широте 50°30', 53°30', 56°30', 58°30' и 61°30' ю.ш. были поставлены буйковые станции с измерителями течений на горизонтах 150, 500, 1000, 2000 м и у дна. В результате было получено 22 ряда данных инструментальных наблюдений за течениями продолжительностью от 15 до 45 суток. Данные наблюдений стали основой для изучения циркуляции водных масс, фронтов и энергетики океана и атмосферы в данном регионе (Романцов, 1986).

Крупная съемка малоизученной области Южного океана — западной части тихоокеанского сектора — была выполнена НИС «Профессор Визе» и НИС «Профессор Зубов» в декабре 1985 г. — феврале 1986 г. Съемка состояла из девяти меридиональных разрезов, располагавшихся в секторе 167°30' в.д. — 132°30' з.д. Всего съемка содержала 214 глубоководных гидрологических станций.

Таким образом, 1986 г. можно считать завершающим в выполнении программы «ПОЛЭКС-Юг», поскольку это был последний крупномасштабный эксперимент по изучению основного звена циркуляционной системы Южного океана — Антарктического циркумполярного течения. Схема полигонов натурных экспериментов, выполненных в рамках программы «ПОЛЭКС-Юг», показана на рис. 1.

На рисунке показана донная топография и положение АЦТ, границы которого определены путем расчетов динамическим методом по современной базе данных океанографических наблюдений. Выделены границы полигонов отдельных натурных экспериментов.

В результате натурных исследований, проведенных в период реализации программы «ПОЛЭКС-Юг», удалось многое узнать и уточнить в понимании физических процессов и динамики вод Южного океана. Важным достижением стало экспериментальное подтверждение того факта, что АЦТ как однонаправленное течение распространяется до дна, и, хотя скорость течения, как правило, уменьшается с глубиной, в отдельных районах и у дна наблюдаются потоки со скоростью 70—80 см/с.

В целом, АЦТ представляет собой мощный зональный поток вод шириной 1500—2400 км, в котором выделяются отдельные струи с повышенными скоростями (до 50—100 см/с). Установлено, что струи АЦТ характеризуются сильным меандрированием, связанным с эффектами бароклинности и влиянием донной топографии.

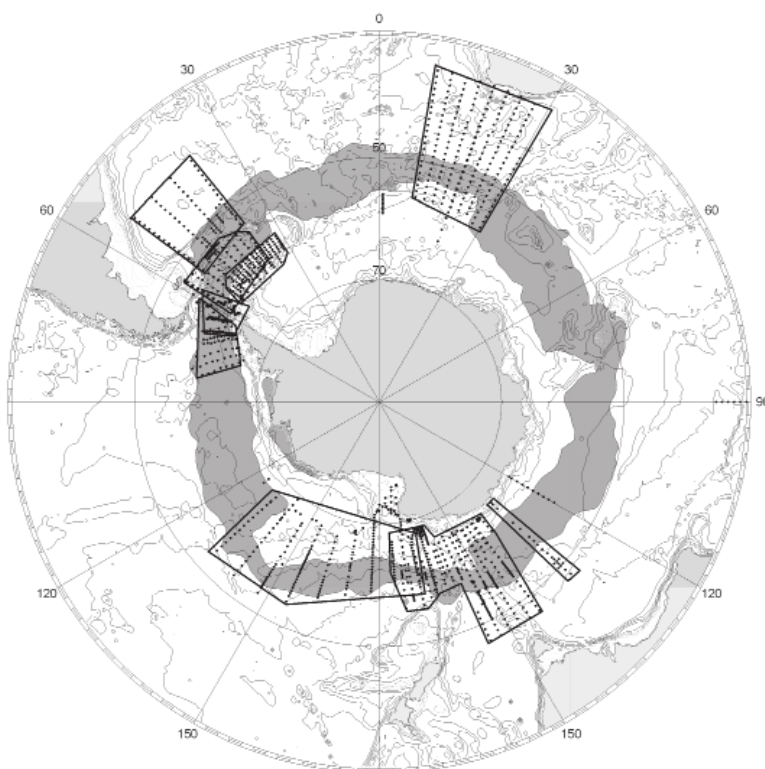


Рис. 1. Положение полигонов экспедиций, проведенных в рамках проекта «ПОЛЭКС-Юг».

Были получены оценки переноса вод в системе АЦТ и водообмена с прилегающими океанами. По данным инструментальных наблюдений исследован спектр временной изменчивости течений, начиная с мезомасштабной и заканчивая сезонной.

Исследована структура полярной фронтальной зоны и антарктического полярного фронта (АПФ). Установлено положение ПФЗ и ее временная изменчивость, связанная в основном с меандрированием АЦТ. Выявлены основные признаки АПФ как южной границы ПФЗ: резкое разграничение между холодными антарктическими и более теплыми субантарктическими водами, утолщение холодного подповерхностного слоя антарктических вод перед АПФ, создающее значительные градиенты плотности в этой зоне. Полигонные наблюдения позволили подтвердить и описать возникновение вихревых структур типа «рингов» в области ПФЗ, образующихся в результате меандрирования потока, а также определить их параметры.

Важным результатом явилось определение характеристик, границ, особенностей распространения и трансформации водных масс, переносимых АЦТ. В частности, была установлена кардинальная роль прибрежных районов Антарктики в формировании и трансформации всех типов водных масс Южного океана. В том числе и с этим фактом связано то, что сначала параллельно с исследованием АЦТ, а позже и в основном экспедиционные исследования ученых как ААНИИ, так других ведущих научных центров всего мира, проводившиеся по национальным и международным программам, были перенесены к югу от АЦТ.

К началу 1980-х годов уже имелось достаточно подробное представление о режиме океана и атмосферы этой части Южного океана. Эта область площадью 35×10^6 км², называемая также антарктической зоной Южного океана, играет важную роль в глобальной климатической системе планеты. В антарктической зоне формируются наиболее холодные и плотные донные и глубинные воды Мирового океана, оказывающие существенное влияние на глобальную структуру и интенсивность меридиональной циркуляции вод Мирового океана. Занимающая самый нижний слой океана антарктическая донная вода (АДВ) растекается по дну на север вплоть до умеренных широт Северного полушария. Скорость образования АДВ определяет изменчивость меридиональной циркуляции Мирового океана на временных масштабах 100—1000 лет (Антипов, Данилов, Клепиков, 1998).

Крупномасштабная динамика вод антарктической зоны Южного океана характеризуется системой замкнутых циклонических циркуляций, наиболее крупными из которых являются круговороты Уэдделла и Росса. Круговорот Уэдделла расположен южнее АПФ и вытянут от Антарктического полуострова приблизительно до меридиана 30° в.д. Он ограничен с юга и запада Антарктидой, а его северная и восточная границы открыты для обмена с соседними районами Южного океана.

Горизонтальная циркуляция водных и воздушных масс и вертикальные потоки тепла в гидросфере и атмосфере в антарктической зоне оказывают влияние не только на глубинные слои океана и эволюцию ледяного покрова, но и на функционирование экосистем и устойчивость ледяного щита Антарктического материка. Все это тесно связано с формированием пресноводного баланса, баланса углекислого газа, колебаниями уровня океана и изменениями климата не только Южного полушария, но и всей планеты.

Начало интенсивным международным исследованиям антарктической зоны было положено в начале 1980-х годов, когда был проведен советско-американский натурный эксперимент «Уэдделл-ПОЛЭКС-81».

Главной предпосылкой для его организации послужили результаты анализа спутниковых данных о распределении льдов в Атлантическом массиве. Согласно этим данным, в 1974—1976 гг. в зимний период в районе поднятия Мод существовала окруженная сплоченными дрейфующими льдами обширная зона чистой воды площадью более 100 тыс. км², получившая название полыньи Уэдделла. С учетом уникальности этого гидрофизического объекта и в соответствии с межправительственным соглашением о сотрудничестве СССР и США в области исследований Мирового океана в указанный район в октябре 1981 г. была направлена советско-американская экспедиция на НЭС «Михаил Сомов». Основными задачами экспедиции являлись: исследование океанических процессов в условиях полыньи Уэдделла для выявления основных механизмов, ответственных за формирование и существование полыньи; исследование процессов взаимодействия атмосферы и океана в районе поднятия Мод как во льдах различной сплоченности, так и при свободной от льда поверхности. Плавание и экспедиционные работы осуществлялись в сложных ледовых условиях; продолжительность ежедневных вынужденных остановок судна вследствие сильных приливных сжатий достигала порой 10—12 часов.

В период экспедиции был выполнен обширный комплекс океанографических, метеорологических, ледовых и гидробиологических наблюдений. Океанографические станции (в том числе трехсуточные), гидробиологические станции, регулярные

аэрологические зондирования и метеонаблюдения, градиентные наблюдения в приводном слое атмосферы проводились с борта судна. Во время выполнения станций и вынужденных стоянок проводились высадки на лед для ледоисследовательских работ и градиентных наблюдений.

Хотя спутниковые данные показали отсутствие полыньи в 1981 г., а собственно района, где она наблюдалась, достичь не удалось, собранные в период этого натурального эксперимента данные носят уникальный характер. Впервые достаточно подробно была описана стратификация Южного океана под льдом, продемонстрирована возможность существования больших потоков тепла через слабый пикноклин в зимнее время, обнаружены и исследованы теплые вихревые образования синоптического масштаба, исследованы физические, химические и биологические свойства льда и т.д. В результате эксперимента была сформулирована физически обоснованная схема формирования полыньи Уэдделла, впервые описаны состояние и особенности структуры океана, ледяного покрова и приземного слоя атмосферы данного района в зимний период, установлена важная климатообразующая роль района полыньи Уэдделла и круговорота в целом, сформулированы цели и задачи дальнейших исследований круговорота Уэдделла как самостоятельной гидрофизической системы (Багрянцев, Саруханян, 1986).

В соответствии с этими целями и задачами в последующие годы в круговороте Уэдделла было осуществлено еще несколько экспедиций. Его северная и восточная границы, а также район поднятия Мод исследовались в экспедиции на НИС «Профессор Визе» летом 1984 и 1988 гг., на НИС «Профессор Зубов» летом 1988 г. (Антипов и др., 1990; Гурецкий, Данилов, 1990). В том же 1988 г. первые океанографические станции в Южном океане были сделаны с борта нового флагмана флота ААНИИ — НЭС «Академик Федоров». Ледовые качества этого судна открыли широкие возможности для исследования антарктической зоны, которые и были эффективно использованы.

Практически в то же время была сформулирована долгосрочная программа «Международные исследования антарктической зоны Южного океана» (International Program of Investigation of the Antarctic Zone of the Southern Ocean, IAnZone), главная задача которой состояла в исследовании условий формирования антарктического морского ледяного покрова. Первым шагом в реализации этой программы стала международная зимняя экспедиция в район круговорота Уэдделла в 1989 г. Она была организована ААНИИ совместно с Институтом полярных и морских исследований Альфреда Вегенера (ФРГ) на научно-исследовательских судах «Академик Федоров» и «Поларштерн».

Основными задачами экспедиции были: определение крупномасштабной термохалинной структуры круговорота Уэдделла; определение роли циркумполярной глубинной воды в формировании зимней стратификации верхнего слоя океана при наличии ледяного покрова; изучение мезомасштабной структуры области теплых вод к западу от поднятия Мод в период максимального развития ледяного покрова; оценка вертикальных потоков импульса, тепла и соли в системе океан — лед — атмосфера.

Экспедиция проводила работы в круговороте Уэдделла в сентябре — ноябре 1989 г. в период максимального развития ледяного покрова. За время работ было выполнено 127 судовых и 18 вертолетных гидрологических станций на нескольких пересекающих круговорот разрезах и на полигоне к западу от поднятия Мод.

Выполнение научной программы экспедиции позволило получить наиболее полный к тому моменту массив данных по различным дисциплинам, описывающий зимние условия в Южном океане в период максимального развития ледяного покрова.

В частности, подтверждена тесная связь между состоянием слоя глубинной воды и характеристиками ледяного покрова (в среднем при более теплом слое глубинной воды лед тоньше), доказана особая роль поднятия Мод в создании характерной динамики района, экспериментально подтвержден механизм образования полыньи Уэдделла, обнаружен ряд новых аспектов биологической активности антарктических вод в зимних условиях (Антипов и др., 1994).

К концу 1980-х годов в круговороте Уэдделла оставалась неисследованной (из-за сложных ледовых условий) крайняя западная, прилегающая к Антарктическому полуострову акватория. Вместе с тем, сформировавшиеся к этому времени представления о структуре и циркуляции вод круговорота Уэдделла и роли гидрофизических процессов в этом регионе в общей климатической системе сделали проведение экспедиционных исследований в этом регионе весьма актуальным.

Для проведения экспедиционных работ в этом районе была подготовлена и осуществлена совместная российско-американская экспедиция «Дрейфующая станция «Уэдделл-1»». Ключевым моментом в этом комплексном натурном эксперименте была организация дрейфующей станции, поскольку в мировой практике использование морского антарктического льда для этих целей не имело прецедента.

Задачей экспедиции было получение данных о состоянии системы глубокий океан — верхний слой океана — дрейфующий лед — пограничный слой атмосферы для района, где формируются наиболее холодные модификации водных масс Мирового океана. Эти данные необходимы для определения количественных параметров вертикального обмена в указанной системе и связи их с горизонтальными переносами, что в конечном итоге даст возможность оценить влияние процессов на шельфе и склоне Антарктического полуострова на планетарные климатические процессы.

Ключевую роль в реализации планов экспедиции сыграло НЭС «Академик Федоров», осуществившее организацию дрейфующей станции и совместно с американским судном «Натаниель Палмер» обеспечившее ее эвакуацию.

В результате проведенной ледовой разведки была выбрана льдина для дрейфующей станции «Уэдделл-1» в точке с координатами 71°36,8' ю.ш., 49°45,4' з.д. В режиме автономного дрейфа станция «Уэдделл-1» проработала с 12 февраля по 4 июня 1992 г. и закончила работу в точке 65°38' ю.ш., 52°25' з.д.

За период с февраля по июнь 1992 г. было выполнено более 250 гидрологических станций. Наблюдения велись с дрейфующего ледяного поля, с вертолета на зональных разрезах, пересекающих шельф и материковый склон, и с борта научно-исследовательских судов «Академик Федоров» и «Натаниель Палмер». Одновременно был выполнен большой комплекс исследований ледяного покрова и приледного слоя атмосферы. За период с 11 февраля по 9 июня дрейфующая станция «Уэдделл-1» прошла вдоль меридиана с юга на север около 400 миль со средней скоростью около 3 миль в сутки.

В результате была получена уникальная информация о крупномасштабной структуре и циркуляции вод западного звена круговорота Уэдделла, пространственных и временных особенностях изменчивости тонкой структуры подледного слоя океана, особенностях процессов взаимодействия в системе океан — лед — атмосфера, особенностях строения и структуры морского льда, деформационных процессах в ледяном покрове и т. д. Значение этих работ огромно хотя бы уже потому, что они велись по специально разработанным программам, направленным на решение проблем не только гидрологии Южного океана, но и гидрологии Мирового океана в целом.

Впервые были определены особенности циркуляции и структуры водных масс западной части круговорота Уэдделла. Установлено, что направленное на север течение на западе моря Уэдделла является звеном единой циркуляционной системы — круговорота Уэдделла. Оно является существенно баротропным западно-интенсифицированным течением, ширина которого оценивается в 400 км. Внешняя составляющая этого потока приурочена к области материкового склона и находится под сильным влиянием топографии, среднесуточные скорости в приповерхностном слое превышают 10 см/с, а ее расход возрастает в северном направлении от 12 до 28 Св. Этот компонент течения очень важен, так как поставляет тепло и соль с восточной периферии круговорота Уэдделла. Внутренний компонент западного пограничного течения переносит рециркулирующие внутри круговорота водные массы. При этом средняя за период дрейфа скорость в приповерхностном слое составила 1 см/с. Оценка общего расхода западного пограничного течения составляет 40 Св (Антипов, Данилов, Клепиков, 1998).

Наряду с круговоротом Уэдделла в рамках программы «ПОЛЭКС-Юг» проводилось и изучение круговорота Росса. Его исследования были начаты в 1986 г. на НИС «Профессор Визе» и НИС «Профессор Зубов» (данные этой экспедиции описаны выше). Работы проводились на меридиональных разрезах в секторе 170° в.д. — 130° з.д. Исследованиями не была охвачена южная часть круговорота, покрытая дрейфующими льдами. В 1988 г. с учетом выполненных в предыдущей экспедиции работ была обследована юго-западная часть круговорота Росса на судах «Профессор Зубов» и «Академик Федоров».

В результате анализа полученных данных установлена крупномасштабная структура круговорота. По данным синоптической съемки определен расход восточного звена круговорота Росса, оценка которого на широте 67° ю.ш. в слое 0—1000 м составила 1,5 Св.

Данные подтвердили формирование донных вод в области бровки шельфа в центральной части открытой границы моря Росса. Были определены положение и характеристики потока высокосолёных донных вод в области материкового склона западнее моря Росса.

Показана роль области шельфа на западной периферии круговорота как мощного источника охлаждения глубинных вод круговорота Росса. Установлено участие в процессах охлаждения глубинных и поверхностных вод этого района переохлажденной воды шельфовых ледников. Определено влияние локального апвеллинга в области фронта антарктического склона на структуру и характеристики поверхностных и подповерхностных вод (Антипов, Клепиков, 2007).

Экспедиционные исследования окраинных морей Антарктики проводились за эти годы только в районах морей Космонавтов и Дейвиса. В проведении экспедиционных исследований по программам, разработанным в ААНИИ, принимали участие и суда других ведомств, в частности суда гидрографической службы ВМФ. Крупномасштабные съемки в этих районах проводились в 1978 г. с борта НЭС «Михаил Сомов» и в 1990 г. с борта НИС «Профессор Зубов».

С 1993 по 1996 г. в экспедиционных исследованиях Южного океана судами флота ААНИИ (а в этот период уже только НЭС «Академик Федоров» мог выполнять такие исследования) был перерыв. Возобновлены работы были в 1997 г., а с 1999 по 2013 г. проводились по подпрограмме «Изучение и исследование Антарктики» Федераль-

ной целевой программы «Мировой океан». На первых двух этапах (1999—2007 гг.) океанографические работы проводились по проекту НИОКР «Определить климато-образующую роль Южного океана» раздела «Современный климат» данной подпрограммы. На третьем этапе подпрограммы (2008—2013 гг.) исследования велись по ключевому мероприятию 1 «Определение изменений в окружающей среде Антарктики в условиях меняющегося климата». Финансовая поддержка со стороны подпрограммы позволила сохранить сложившийся годами коллектив специалистов, способствовала привлечению ученых из других институтов, в частности Гидрометцентра России и Всероссийского НИИ рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

Основным районом океанографических исследований стал залив Прюдс, что связано как с его расположением на маршруте переходов судна для обеспечения антарктических станций, так и с объективно существующим интересом к режиму этого района. Предполагалась важная роль этого района в процессах вентиляции глубинных и формировании антарктических донных вод. Программы океанографических наблюдений, разработанные специалистами ААНИИ, были направлены на исследование этой проблемы. В соответствии с этими программами выполнены океанографические станции как на юго-западе залива, вблизи фронта шельфового ледника Эймери, так и на открытой границе залива, через шельф и материковый склон.

В результате проведенных исследований были установлены характеристики и ареал распространения переохлажденных (вследствие взаимодействия с нижней поверхностью шельфового ледника Эймери) шельфовых вод. Разрезы, впервые выполненные через материковый склон в этом районе с высоким пространственным разрешением (расстояние между станциями 3—4 мили), позволили получить уникальную информацию о структуре вод в области антарктического склонового фронта, установить параметры фронта, определить характеристики водных масс. Была исследована структура антарктического склонового фронта на различных участках материкового склона, получены данные о сезонной изменчивости его параметров. Впервые получено подтверждение данными наблюдений факта формирования в этом регионе антарктических донных вод, определены их характеристики, локализован район формирования.

Новым важным этапом исследований Южного океана стал Международный полярный год 2007/08. Сегодня очевидно, что Южный океан играет одну из ключевых ролей в глобальном тепловом и пресноводном балансе. Трансформация водных масс в Южном океане связывает глубинные и поверхностные ветви глобальной термохалинной циркуляции. Перенос теплых и соленых ЦГВ в восточных звеньях субполярных циклонических круговоротов к побережью Антарктиды создает условия для развития конвективных процессов в антарктической зоне Южного океана (Антипов, Клепиков, 2003). Это приводит к образованию аномалий в морском ледяном покрове (попыней) из-за «подогрева» снизу, вызывает таяние оснований шельфовых ледников, способствует образованию донных вод путем смешения глубинных вод с водой шельфовых ледников.

Занимающая самый нижний слой океана антарктическая донная вода выносятся на север в западных звеньях циклонических круговоротов и растекается по дну вплоть до умеренных широт Северного полушария, оказывая существенное влияние на глобальную структуру и интенсивность меридиональной циркуляции вод Мирового океана. Наконец, в Южном океане происходят самые большие сезонные изменения

площади морского льда, которая является важным климатическим параметром. Южный океан, выполняя роль ключевого связующего звена, соединяет климатические сигналы от остальной части Мирового океана и добавляет климатический сигнал Антарктики (Клепиков и др., 2011).

Понимание океанографических процессов в Южном океане и их взаимосвязей с остальной частью климатической системы является одним из оснований для прогнозирования будущих изменений. Это требует осуществления мониторинга за океанографическими параметрами Южного океана. В качестве основы такой системы мониторинга в период МПГ 2007/08 были запланированы и реализованы проекты «Взаимодействие вод антарктического склона и шельфа в синоптическом масштабе» (Synoptic Antarctic Shelf Slope Interaction Study, SASSI) и «Климат Антарктики и Южного океана» (Climate of the Antarctic and Southern Ocean, CASO).

Главные задачи проекта CASO — получить «моментальный снимок» процессов в Южном океане, оценить роль Южного океана в формировании прошлого, настоящего и будущего климата, включая взаимосвязи между зональной и меридиональной циркуляцией, трансформации водных масс, взаимодействие между океаном и криосферой и, наконец, получить обоснование концепции создания экономически эффективной системы наблюдений для Южной полярной области (Клепиков и др., 2011).

Проект SASSI нацелен на исследование районов шельфа и склона вокруг Антарктики, являющихся основными районами формирования донных вод. В рамках этого проекта, в котором участвовало 13 стран, производились измерения температуры, солёности и скорости течений на континентальном шельфе и склоне Антарктики на коротких разрезах с высоким пространственным разрешением поперек шельфа и склона. Понимание и количественное описание процессов в этой узкой области важны для разработки более совершенных глобальных климатических моделей (Клепиков и др., 2011).

По проектам CASO и SASSI за полевой период 2007—2009 гг. ААНИИ провел четыре экспедиции в каждом из четырех сезонов, учитывая работы в январе 2010 г., формально выходящие за рамки МПГ. По проекту SASSI работы были проведены также и в январе 2011 г. в рамках так называемого наследия МПГ. Работы по этим проектам стали продолжением исследований, проводившихся учеными ААНИИ в рамках национальных и международных программ в годы, предшествующие МПГ (Антипов, Данилов, Клепиков, 1998; Антипов, Клепиков, 2003; Антипов, Клепиков, 2007).

Океанографические исследования ААНИИ в Южном океане по проектам МПГ начались в январе 2007 г. в рамках 52-й РАЭ и завершились в 2010 г. в период работ 55-й РАЭ. Исследования проводились с борта научно-экспедиционного судна «Академик Федоров».

В соответствии с задачами проекта SASSI с борта НЭС «Академик Федоров» были выполнены разрезы через шельф и материковый склон в морях Содружества, Рисер-Ларсена, Амундсена и Беллинсгаузена. Всего с учетом работ в 2010 и 2011 гг. выполнена 91 станция, на 46 из них проводился отбор проб для определения содержания растворенного кислорода, кремния, фосфатов, нитратов, нитритов и аммиака. В январе 2007 г. выполнены три меридиональных океанографических разреза в восточной части моря Содружества, включая залив Прюдс (вдоль меридианов 62, 64 и 70° в.д., всего 29 зондирований от поверхности до дна океана), в феврале 2007 г. — разрез в море Рисер-Ларсена вдоль меридианов 15° в.д., 13 зондирований), в феврале

2008 г. — разрез в море Амундсена (15 зондирований), в феврале 2010 г. — разрез в море Беллинсгаузена (16 зондирований), в январе 2011 г. — повторное выполнение разреза по 70° в.д. в восточной части моря Содружества (18 зондирований). Все перечисленные разрезы отличаются высоким пространственным разрешением, особенно в области материкового склона. Расстояние между станциями на склоне уменьшалось до 2 км, что дало возможность получить подробную картину структуры вод этого района.

Результаты работ ААНИИ по проекту SASSI представлены в работах Антипова, Клепикова (2007), Антипова и др. (2009), Антипова, Клепикова (2011a), Казко, Антипова, Клепикова (2012), Головина, Антипова, Клепикова (2013). Проведенные исследования показали принципиальные различия в структуре и характеристиках вод шельфа и материкового склона между восточной (моря Рисер-Ларсена и Содружества) и западной (моря Амундсена и Беллинсгаузена) Антарктидой. Для морей восточной Антарктиды характерно присутствие антарктической шельфовой воды, формирующейся за счет конвективных процессов при ледообразовании и играющей важную роль в процессах вентиляции глубинных и формировании антарктических донных вод в районе антарктического склонового фронта, приуроченного к верхней части материкового склона. Эти процессы ярко выражены в области материкового склона моря Содружества, где обнаружены признаки формирования донных вод западнее 72° в.д. и отсутствие таких признаков восточнее указанной долготы.

Установлено, что донные воды являются результатом смешения циркумполярной глубинной воды с холодными шельфовыми водами, образующимися вблизи шельфового ледника Эймери. Донная вода залива Прюдс далее движется вдоль по склону на запад и вниз по каньонам и депрессиям. Температура обнаруженных донных вод составляет от $-0,3$ до $-1,6$ °C, соленость — от 34,54 до 34,62 ‰. Интенсивность опускания образующихся донных вод вниз по склону возрастает в западном направлении по мере сужения шельфа и увеличения уклона его дна (Клепиков и др., 2011).

Детальный анализ гидрофизических полей выявил закономерности и особенности шельфового и склонового каскадинга антарктической шельфовой воды, который происходит в основном в виде конвективных плюмов. Оценочная величина вклада склонового каскадинга антарктической шельфовой воды в вентиляцию глубинных и донных вод Южного океана составляет примерно 0,04—0,24 Св на бровке шельфа протяженностью около 70 км и соответствует подобным оценкам для других районов Антарктики (Головин, Антипов, Клепиков, 2011; Головин, Антипов, Клепиков, 2013).

В районе моря Рисер-Ларсена объемы и характеристики шельфовых вод таковы, что процессы, связанные с опусканием холодных плотных вод по материковому склону, не наблюдаются. В морях Амундсена и Беллинсгаузена не обнаружено признаков формирования шельфовых вод. Здесь всю толщу вод на шельфе ниже слоя поверхностных вод занимает слабо модифицированная, относительно теплая и соленая ЦГВ, которая может быть причиной активного таяния выводных и шельфовых ледников. Так, в море Амундсена распространение талых вод от ледников существенно влияет на структуру и циркуляцию вод и на разрезе проявляется, в частности, в существовании пространственно однородного поверхностного слоя толщиной около 20 м с температурой от $-1,4$ до $-1,7$ °C и аномально низкой соленостью, не превосходящей 32,8 ‰.

Значительный объем наблюдений в этот период был выполнен с помощью обрывных батитермографов ХВТ. Для исследования термической структуры и фронтов Антарктического циркумполярного течения в районе между Африкой и Антарктидой

и в соответствии с задачами проекта в период с 2007 по 2010 г. ежегодно выполнялся разрез ХВТ в диапазоне широт 68° — 35° ю.ш. по траектории разреза SR2 программы CLIVAR. В феврале 2007 г. на разрезе было выполнено 108 зондирований, в феврале 2008 г. — 111 зондирований, в феврале 2009 г. — 111 зондирований и в феврале 2010 г. — 80 зондирований.

Достаточно плотное расположение точек зондирования на разрезе позволило определить положение и характеристики основных фронтов, а также проследить некоторые особенности их межгодовой изменчивости как на поверхности, так и на более глубоких горизонтах. Установлено, что за период 2004—2010 гг. субтропический фронт сместился на юг почти на 2° широты, а антарктический полярный фронт — на север на 1° широты. Субантарктический фронт и южный фронт смещались и на юг, и на север относительно своего среднего за этот период положения, которое располагалось севернее климатического для обоих фронтов (Антипов, Клепиков, 2011б).

Проведение МПГ 2007/08 стимулировало выполнение широкого комплекса междисциплинарных исследований ключевых компонентов климатической системы Антарктики, включая Южный океан. Результаты океанографических съемок, анализ новой объемной океанографической информации, численные модели помогут получить более надежные оценки параметров изменения климата и интерпретировать роль Южного океана в формировании глобального климата.

Итоги экспедиционных исследований Южного океана судами ААНИИ за весь период с 1956 г. представлены на рис. 2.

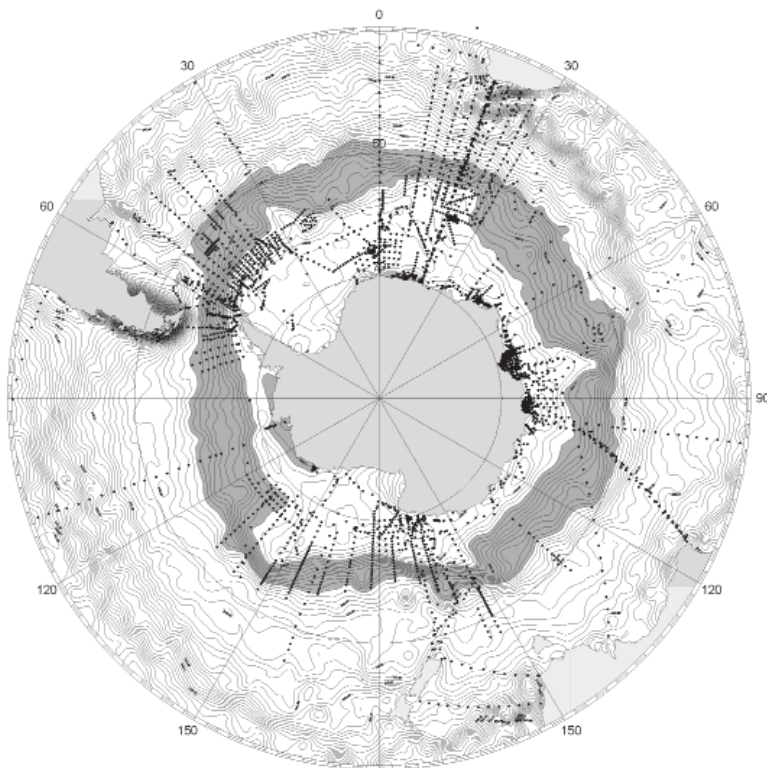


Рис. 2. Изученность Южного океана судами ААНИИ в период с 1956 по 2013 г.

На рисунке приведена наиболее достоверная на сегодняшний день схема циркуляции Южного океана, рассчитанная по данным архива ААНИИ. Очевидно, что исследовательские работы наших судов были направлены на изучение наиболее интересных и важных с океанографической точки зрения районов Южного океана.

Экспедиционные исследования Южного океана, мощный толчок к развитию которых дала программа «ПОЛЭКС-Юг», продолжают. Сегодня к ним активно подключается новое судно ААНИИ «Академик Трёшников» (рис. 3, см. цвет. вклейку). НЭС «Академик Трёшников» построено на ОАО «Адмиралтейские верфи» в 2012 г. Водоизмещение его составляет 16 160 т, автономность плавания по запасам топлива — 45 суток. Для проведения научно-исследовательских работ на судне имеется 11 штатных лабораторий, оборудованных современными приборами, установлено пять исследовательских лебедок.

Выход судна в первый антарктический рейс из Санкт-Петербурга состоялся 21 декабря 2012 г. Основными задачами этого экспериментального рейса НЭС «Академик Трёшников» были ходовые и ледовые испытания судна в условиях Антарктики, операции по обеспечению станции Беллинсгаузен, морские научные работы и испытание приборного научно-исследовательского комплекса судна.

Уже в первом рейсе судно внесло свой вклад в исследование вод Южного океана, выполнив разрез в редко посещаемом судами заливе Маргерит моря Беллинсгаузена. Эти работы были направлены на исследование структуры вод в области шельфа и материкового склона Антарктического полуострова вблизи шельфового ледника Георга VI. Разрез состоял из 35 станций и имел протяженность 380 км. Подповерхностный слой теплой циркумполярной глубинной воды (температура 1,2 °С, соленость 34,69 ‰) был обнаружен в непосредственной близости от края шельфового ледника. Теплая вода приводит к таянию ледника и распреснению поверхностного слоя вод, что также было зафиксировано наблюдениями.

Несомненно, появление нового судна позволит расширить исследования вод Южного океана. В первую очередь, речь идет о прибрежных районах, сложных в ледовом отношении, но крайне важных для понимания проблем изменений современного климата. Это очень важно для реализации новой международной программы «Система наблюдений Южного океана» (Southern Ocean Observing System, SOOS), поскольку в Южном океане ощущается недостаток судов такого класса как для исследований, так и для транспортных операций. Программа SOOS позволит организовать устойчивую систему наблюдений, которых так не хватает в Южном океане для мониторинга происходящих изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антипов Н.Н., Гурецкий В.В., Данилов А.И., Малек В.Н. (1990). Структура вод восточной части круговорота Уэдделла летом 1988 г. / В сб.: Исследования Уэдделловского круговорота. Океанографические условия и особенности развития планктонных сообществ. — М.: ВНИРО. С. 60—75.

Антипов Н.Н., Багрянцев Н.В., Клепиков А.В., Малек В.Н., Масленников В.В., Чугуй И.В. (1994). Океанографические исследования международной зимней экспедиции в круговорот Уэдделла на НЭС «Академик Федоров» // Информ. бюл. САЭ. № 118. С. 24—32.

Антипов Н.Н., Батрак К.В., Духова Л.А., Кузнецов В.Л., Масленников В.В. (2009). Гидролого-гидрохимические исследования в 53-й Российской антарктической экспедиции на научно-экспедиционном судне «Академик Федоров» // Океанология. Т. 49, № 1. С. 155—158.

- Антипов Н.Н., Данилов А.И., Клепиков А.В. (1998). Циркуляция и структура вод западной части моря Уэдделла по данным натурного эксперимента «Дрейфующая станция “Уэдделл-1”» // Антарктика. Вып. 34. С. 5—30.
- Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2003). Циклонические круговороты окраинных морей восточной Антарктиды // Арктика и Антарктика. Вып. 2 (36). С. 126—148.
- Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2007). Особенности океанографического режима залива Прюдс по данным экспедиций ААНИИ 1997—2007 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 76. С. 36—48.
- Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2007). Крупномасштабная структура циркуляции вод круговорота Росса // Труды ААНИИ. Т. 447. С. 115—125.
- Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2011а). О взаимодействии вод шельфа и глубокого океана над материковым склоном Антарктиды / В сб.: Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Том Океанография и морской лед / Под ред. И.Е.Фролова. — М. — СПб. С. 291—305.
- Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2011б). Термическая структура верхнего слоя океана между Африкой и Антарктидой по данным океанографических работ ААНИИ 2004—2010 гг. / В сб.: Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Том Океанография и морской лед / Под ред. И.Е.Фролова. — М. — СПб. С. 280—290.
- Атлас Антарктики. Т.1. (1966). — М. — Л.: Изд-во ГУГик. 225 с.
- Атлас Антарктики. Т.2. (1969). — Л.: Гидрометеиздат. 508 с.
- Багрянцев Н.В., Саруханян Э.И. (1986). Особенности термохалинной стратификации вод Южного океана при наличии ледяного покрова по данным экспедиции «Уэдделл-ПОЛЭКС-81» // Информ. бюлл. САЭ. № 108. С. 18—27.
- Головин П.Н., Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2011). Общие черты и особенности стока антарктических шельфовых вод на шельфе и материковом склоне моря Содружества и их влияние на формирование донных вод Южного океана // Океанология. № 3. С. 393—408.
- Головин П.Н., Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2013). Исследование устойчивости антарктического склонового фронта в море Содружества // Метеорология и гидрология. № 11. С. 64—78.
- Гурецкий В.В., Данилов А.И. (1990). О меридиональном обмене и взаимодействии вод круговорота Уэдделла и АЦТ // Доклады АН СССР. Т. 311, № 5. С. 1234—1238.
- Казко Г.В., Антипов Н.Н., Клепиков А.В. (2012). О глубокой конвекции на материковом склоне залива Прюдс // Проблемы Арктики и Антарктики. № 2 (92). С. 95—112.
- Романцов В.А. (1986). Основные задачи и итоги междуведомственной комплексной экспедиции в Южный океан (Полэкс-Юг-81) / В сб.: Междуведомственная экспедиция по программе ПОЛЭКС-Юг-81 (научные результаты). — Л.: Гидрометеиздат. С. 4—13.
- Савченко В.Г., Меньшов Ю.А. (1979). Основные научные результаты совместных советско-американских исследований в Южном океане по программе Полэкс-Юг-77 // Труды ААНИИ. Т. 360. С. 5—15.
- Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. (1981). Основные итоги советско-американских исследований по программе «Полэкс-Юг» и «Ф.Дрейк» в проливе Дрейка и море Скоша (1975—1978 гг.) // Труды ААНИИ. Т. 369. С. 4—12.
- Смирнов Н.П. (1978). Полярный эксперимент Юг-76 // Труды ААНИИ. Т. 345. С. 4—11.
- Трёшников А.Ф. (1973в). Итоги и перспективы Полярного эксперимента. — Л., Репрогр. ААНИИ. 43 с.
- Трёшников А.Ф. (1977). Исследование полярных областей Земли // В кн.: Проблемы современной гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат. С. 205—228.
- Трёшников А.Ф., Алексеев Г.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. (1978). К проблеме изучения циркуляции вод Южного океана // Труды ААНИИ. Т. 34. С. 24—38.

Трёшников А.Ф., Баранов Г.И. (1976). Циркуляция вод Мирового океана и ее исследование в рамках глобальных экспериментов // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 47. С. 7—22.

Трёшников А.Ф., Баранов Г.И., Корнилов Н.А. (1974). Циркумполярное противотечение Южного океана // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 43—44. С. 139—143.

Трёшников А.Ф. и др. (1968). Натурный эксперимент по проблеме взаимодействия океана и атмосферы // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 28. С. 5—20.

Трёшников А.Ф. и др. (1973а). Предварительная программа Полярного эксперимента в Южной полярной области (ПОЛЭКС-Юг). — Л., ротопр. ААНИИ.

Трёшников А.Ф. и др. (1973б). Проект программы Полярного эксперимента Южной полярной области. — Л., ротопр. ААНИИ. 75 с.

Трёшников А.Ф., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. (1975). Полярный эксперимент-Юг. Исследование структуры и динамики Антарктического циркумполярного течения в проливе Дрейка как отражения процессов взаимодействия атмосферы и океана. — Л., Репрогр. ААНИИ. 37 с.

Трёшников А.Ф., Саруханян Э.И., Меньшов Ю.А. (1976). Основные результаты полярного натурального эксперимента по программе ПОЛЭКС-Юг в проливе Дрейка (декабрь 1974 г. — 1975 г.) // Труды ААНИИ. Т. 344. С. 6—13.

Трёшников А.Ф., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. (1978). Основные результаты наблюдений по программе ПОЛЭКС-Юг в проливе Дрейка в 1975 и 1976 гг. и перспективы дальнейших исследований в Южном океане // Труды ААНИИ. Т. 345. С. 12—23.

АНТАРКТИЧЕСКИЙ ПРИПАЙ — ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ХАРАКТЕРА РАЗВИТИЯ ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ

ст.науч.сопр. А.И. КОРОТКОВ, инженер С.В. КАШИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: korotkov@aari.ru

Припай является, казалось бы, самым консервативным элементом антарктического ледяного покрова, почти ежегодно повторяя характерные очертания материковой отмели и достигая одних и тех же предельных размеров: максимальная площадь составляет около 0,5 млн км² и минимальная — 0,2 млн км² (Коротков, 1995). Однако межгодовая изменчивость сроков этих экстремумов (окончательного замерзания прибрежной акватории зимой и разрушения припая в летне-осенний период) составляет в среднем три месяца, что вдвое больше, чем в Арктике (Карелин, Карклин, 2012). В особо динамичных районах станций Русская, Ленинградская и Беллинсгаузен она увеличивается до пяти месяцев. Изменчивость толщины однолетнего припая также весьма значительна. Размах ее межгодовых колебаний может превышать 0,5 м при нарастании припая в холодный период примерно до 1,5 м.

Впервые выполненное обобщение имеющихся на 2013 г. результатов измерений параметров припайного льда (табл. 1) и температуры приледного слоя воды (табл. 2) по большинству районов прибрежных станций и сезонных баз РАЭ подтверждает сложившееся представление об антарктическом ледяном покрове как «зримом», поверхностном отпечатке своей океанологической сущности — термохалинной структуры и циркуляции вод.

Самый тонкий припай образуется, как это ни парадоксально, в районе наиболее высокоширотной, располагающейся почти на 75-й параллели станции Русская. Основной причиной является неожиданно «теплая» подстилающая лед морская поверхность в окрестностях залива Корделла Халла. Период перехода зимой температуры поверхностного слоя через значение $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, которое соответствует температуре замерзания, здесь минимальный и фактически совпадает с полярной ночью, продолжаясь с середины мая по сентябрь. Последующий ежегодный прогрев чрезвычайно устойчив, хотя и незначителен — максимум до $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в середине января.

В районе станции Прогресс поверхностный слой моря летом может прогреваться до $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако в холодную половину года он отличается очень низкими значениями температуры, тождественными району станции Ленинградская. Это связано, вероятно, с охлаждающим влиянием обнаруженного зимой 2007 г. на глубинных горизонтах примерно 50-метрового слоя экстремально холодных вод с температурой до $-2,06\text{ }^{\circ}\text{C}$, которые вытекают из-под выводного ледника Долк по внутришельфовому желобу.

Самый толстый припай формируется в районе станции Ленинградская, который отличается наиболее низкой температурой поверхностных вод. На протяжении почти всего года она не превышает $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ при среднегодовом значении $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это

Средние многолетние значения толщины припая z и высоты снега на нем h в районах прибрежных станций и сезонных баз РАЭ

87

**Максимальные, средние и минимальные значения температуры поверхностного слоя моря (°С)
в районах прибрежных станций и сезонных баз ГРЭ**

Характеристика	III			IV			V			VI			VII			VIII			IX			X			XI			XII			I			II			Сред. год	
	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	31	10	20	28					
Ленинградская																																						
Макс.			-1,7				-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8				
Сред.			-1,8	-1,8	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9				
Мин.			-1,8				-2,1	-2,1	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0				
Русская																																						
Макс.			-1,3	-1,4	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,5	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,2	-1,3	-1,3	-1,4	-1,5				
Сред.			-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,7				
Мин.			-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,5				
Прогресс																																						
Макс.			-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,6	-1,4	-1,2	-0,9	-0,4	0,1	0,2	0,5	1,0	0,4	0,6	0,3	-1,2				
Сред.			-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-1,8	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,7	-1,6	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,6	-0,5	-0,9	-1,3	-1,4	-1,7				
Мин.			-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	-2,2	-2,1	-2,0	-2,0	-2,2	-2,1	-2,1	-2,2	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,8	-1,8	-1,7	-1,6	-1,6	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0					
Мирный																																						
Макс.			-0,2	-1,8	-1,8	-1,6	-1,5	-1,7	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,5	-1,1	-0,4	-1	-0,9	-0,4	-0,8	-0,3	-0,8	-1,4				
Сред.			-1,4	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,7	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-1,4	-1,3	-1,3	-1,8				
Мин.			-2,0	-1,9	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,0	-2,1	-2,0	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-2,0					

обуславливает фактически непрерывный характер нарастания однолетнего припая вместо его обычного летнего стаивания в других районах не менее чем на 0,5 м до наступления взлома.

Район станции Мирный в целом соответствует средним ледово-гидрологическим условиям за исключением экстремально низких значений температуры воды ($-2,2^{\circ}\text{C}$), наблюдавшихся зимой 1990 г., когда местный припай вырос до рекордной толщины 193 см.

Особенно отчетливо указанные различия проявляются в изменениях состояния многолетнего припая. Двухлетний припай, достигающий к началу таяния толщины около 2 м, на большинстве станций за лето сокращается примерно вдвое. Однако следующей зимой, на третьем году существования он вновь восстанавливается до 2-метровой толщины, т.е. пребывает в равновесном состоянии.

Многолетний припай в районе станции Ленинградская, напротив, фактически перманентно нарастает. При этом неослабевающее нарастание припая снизу подкрепляется его активным нарастанием сверху за счет инфильтрационного снежно-водного ледообразования (Черепанов, Козловский, 1973а) вследствие аномально высокой заснеженности (более 1 м). Очевидно, что при длительном сохранении не взломанным такой припай может превратиться в шельфовый ледник. Аналогичные условия, по-видимому, существуют на шельфе у побережья Антарктического п-ова в море Уэдделла и в районе станции Новолазаревская, где в вершине залива Ленинградский в 1963 г. наблюдалась рекордная толщина 2-летнего припая — более 4—5 м (Леденев, 1964).

Площадь многолетнего припая в Антарктике оценивается в 95 тыс. км², из которых по состоянию на 1980 г. 68 тыс. км² либо находилось на переходной стадии к шельфовому леднику (54 тыс. км²), либо уже превратилось в него (Коротков, Романов, 1990). Около 27 тыс. км² относится к многолетнему припаю периодического образования — на срок до пяти-шести лет.

Ареалом антарктического припая служит шельфовая зона. Припай, разрастающийся за пределы бровки шельфа (изобаты 300—500 м), постоянно подравняется под нее. Это происходит, вероятно, благодаря подламыванию выступающих участков длиннопериодными волнами, которые разрушаются на материковом склоне. Взломанный припай подхватывается склоновым Прибрежным антарктическим течением и вовлекается в западную адвекцию льда, носящую результирующий выносной характер.

Главным фактором взлома припая на шельфе являются волны зыби (Припай..., 1977), которые генерируются в основном глубокими полярно-фронтальными циклонами, смещающимися по меридиональным траекториям. С ними также связана адвекция тепла и влаги (осадков в виде снега) в прибрежные районы Антарктиды. В случае антициклонического характера погоды в Антарктике зимой в целом наблюдается толстый и мало заснеженный припай из-за низкой температуры воздуха и уменьшенного количества метелевого снега. В случае циклонического характера погоды наблюдается обратная ситуация. В теплый период года характер атмосферных макропроцессов, как правило, меняется на противоположный. В результате из-за сезонного компенсационного изменения циклонической активности в годы с толстым припаем взлом его происходит зачастую раньше, чем в годы с образовавшимся зимой тонким припаем, который разрушается позже.

Взлом припая стимулирует развитие стационарных полыней (Коротков, 1990б), являющихся оптимальными маршрутами плавания, и регламентирует сроки очищения большинства районов, будучи летом единственным источником пополнения быстро

сокращающегося внешнего пояса дрейфующих льдов. В итоге со взлома припая начинается и его окончательным становлением завершается, образно говоря, калейдоскоп ледовых ландшафтов, которые определяют условия проведения морских операций в самой труднодоступной, прибрежной зоне Антарктики. Наличие припайного льда является синонимом повышенной ледовитости и сложных условий плавания.

Самый продолжительный ряд наблюдений за припаем из всех российских и иностранных станций в Антарктике имеется по району обсерватории Мирный, где он начинается с 1956 г. Большим достоинством местных измерений параметров припайного льда является их выполнение с 1958 г. (3-я САЭ) на рейде станции на одном и том же ледовом профиле м. Мабус – о. Фулмар протяженностью 1,2 км с измерениями через 100 м в 13 точках.

Процедура измерения толщины льда далеко не тривиальна. Она требует достаточных практических навыков из-за специфичных антарктических видов дополнительного нарастания льда: сверху за счет упоминавшегося снежно-водного льда и снизу в результате внутриводного ледообразования. При этом необходимы вдумчивый анализ получаемых результатов и, конечно, добросовестность. Всеми этими качествами в полной мере обладали станционные гидрологи первых 15 САЭ, среди которых были сотрудники ААНИИ Е.С. Короткевич, Н.П. Шестериков, М.В. Извеков, Г.И. Баранов, В.А. Спичкин, С.С. Чиковский, В.А. Шамонтьев, В.В. Евсеев. Немаловажно, что не только по официальному статусу, но и по своей человеческой сути это были исследователи, которые относились к наблюдениям заинтересованно, творчески.

Сроки начала ледообразования в районе Мирного чрезвычайно консервативны — 11—12 марта, когда совершается устойчивый переход температуры поверхностного слоя моря через $-1,8^{\circ}\text{C}$. Спустя примерно месяц на всей видимой в радиусе 30 км акватории залива Трёшникова устанавливается припай, причем рейд станции полностью замерзает в последнюю очередь. Нарастание припая продолжается, как правило, до конца ноября, когда лед достигает максимальной толщины — в среднем около 160 см.

Это самый толстый на тот момент однолетний припай из всех районов прибрежных станций РАЭ. Свыше 10 см временно уступает ему даже припай района станции Ленинградская. Такое преимущество района Мирного по толщине ледяного покрова обязано местному внутриводному ледообразованию, которое наблюдается почти ежегодно с августа по ноябрь, а иногда начинается уже в марте и завершается только в декабре. В 1990 г. на фоне экстремально низкой температуры воды сопутствующее образование внутриводного льда продолжалось до начала января 1991 г.

Впервые пристальное внимание на него обратил А.Ф.Трёшников: «В процессе нарастания и формирования припайного льда в Антарктике важное значение имеет такое специфическое и примечательное явление, как образование внутриводного льда» (Трёшников, 1963, с. 19).

Распространено внутриводное ледообразование почти повсеместно, но не везде и не всегда завершается включением в толщу припайного льда, как в районе Мирного, ограничиваясь шугообразным скоплением под припаем. Это зависит, по-видимому, от степени переохлаждения воды (Коротков, 1990а). Общеизвестными очагами образования переохлажденных вод являются стационарные полыньи. Неподалеку от обсерватории Мирный располагается одна из крупнейших полыней в Антарктике — шельфового ледника Шеклтона, площадь которой в период максимального развития в феврале достигает 30 тыс. км² (Романов, 1996).

Известны районы с еще более толстым однолетним припаем, также обязанным своим образованием активному внутриводному ледообразованию. К ним относится район абсолютно устойчивой, сохраняющейся даже зимой полыньи в заливе Терра-Нова (максимальная площадь до 7 тыс. км²), в северном углу которого, в бухте Жерлаш, толщина ординарного припая по данным измерений сотрудников ААНИИ с борта южно-корейского судна «Араон» в январе 2012 г. составляла 180—200 см и более. В районе станции Новолазаревская в вершине залива Ленинградский в середине ноября 1960 г. толщина однолетнего припая достигала 200—230 см (Дубровин, 1962). Местная стационарная полынья площадью свыше 4 тыс. км² тоже зачастую сохраняется зимой.

Однако главное, что роднит районы Мирного и Новолазаревской, — это самая эффектная разновидность внутриводного льда в виде почти пресных пластин размером с ладонь. Причиной его образования является, вероятно, переохлаждение при распреснении в результате поступления вод пресных эпিশельфовых озер оазиса Ширмахера в залив Ленинградский (Черепанов, Козловский, 1973б) и вод подледникового таяния на Мирном предположительно с востока из-под выводного ледника Хелен (Черепанов, Федотов, 2007).

Убедительное подтверждение возникновения этого феномена впервые удалось получить станционному гидрологу 56-й РАЭ Н.И. Фомичеву в результате регулярного зондирования водной толщи с помощью современного комплекса SBE19 plus в постоянной гидрологической точке (ПГТ). Она располагается в восточной вершине глубоководного желоба в проходе Обь (66°33' ю.ш., 93°00,5' в.д.) на глубине около 120 м. Кристаллы внутриводного льда обнаруживались под припаем в течение почти всего периода с 13 июня по 15 декабря 2011 г. Наибольшая интенсивность их образования наблюдалась в сентябре, когда в результате понижения солёности с обычных 34,3 до 30,5 ‰ переохлаждение слоя 5—25 м составило –0,2 °C (рис.1).

При нарастании припая на рейде Мирного в среднем до 160 см экстремальные значения его толщины колеблются от 193 см в 1990 г. до 130 см в 2013 г., среднеквадратическое отклонение составляет ±15 см.

Разрушение припая происходит в начале следующего календарного года — в среднем 9 февраля. В пяти годах отмечался аномально ранний взлом уже во второй половине декабря, самый ранний — 15 декабря 1978 г. Самый поздний взлом состоялся 9 марта 1959 г. Однажды, в 2002 г., припай вообще не был взломан (этому событию на рис. 2 условно присвоена дата 13 марта). Показательно, что взлому не подвергся один из самых тонких припаев за всю историю Мирного, максимальная толщина которого зимой 2001 г. составляла всего 137 см. Летом 2002 г. он стоял до 50 см, достигнув затем на втором году существования 165 см. Взлом его произошел только 28 января 2003 г.

Межгодовая изменчивость толщины припая и сроков его окончательного разрушения на рейде Мирного (рис. 2) демонстрирует колебательно-циклический характер. Вместе с тем, бесспорно, что за последние полвека толщина припая немного уменьшилась, но при этом сроки его взлома несколько отделились — в среднем на 7 см и 10 суток соответственно.

Число средних и крупных положительных аномалий толщины (свыше 170 и 180 см) сократилось по десятилетиям с четырех до нуля, а число отрицательных аномалий (менее 150 и 140 см), напротив, возросло с одной до четырех. В начале нового тысячелетия сокращение толщины льда по сравнению с самыми холодными

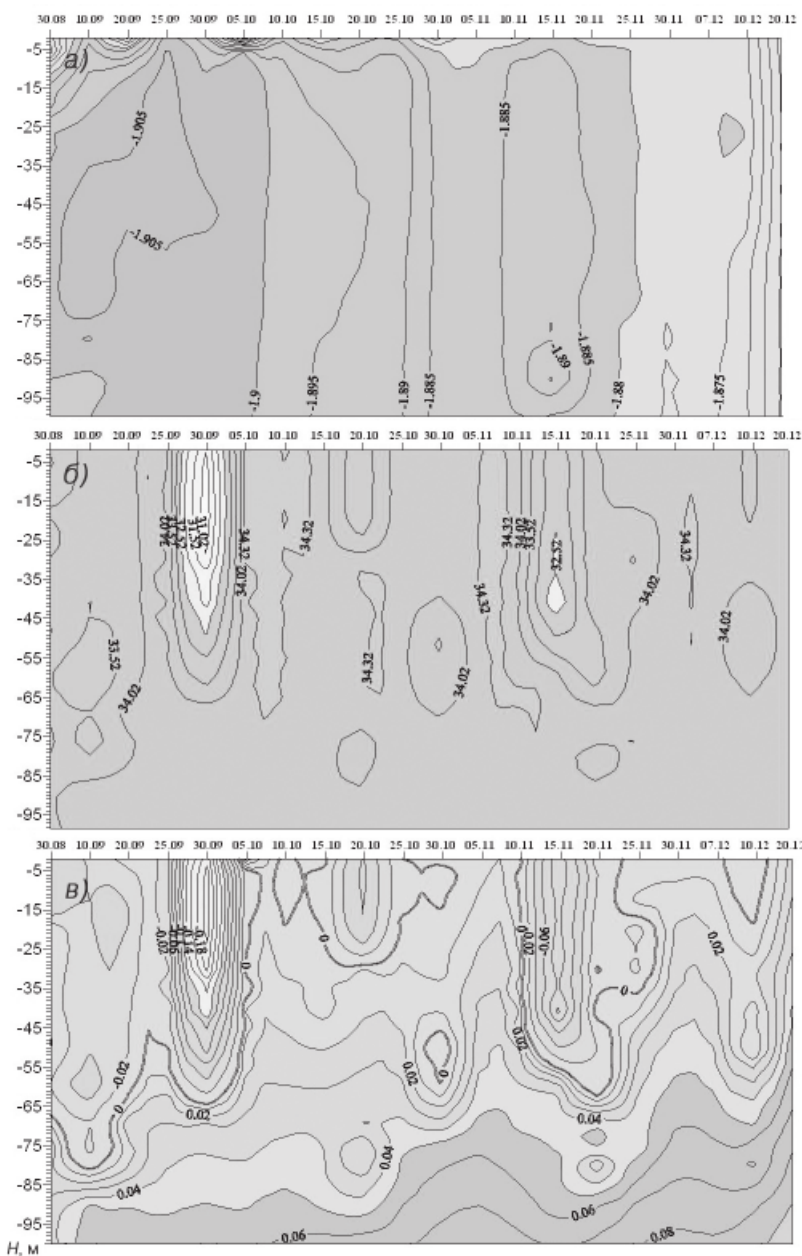


Рис. 1. Изменение температуры (°C) (а), солёности (‰) (б) водной толщи и ее переохлаждение (°C) (в) по данным измерений в ПГТ в проходе Обь на рейде Мирного за период 30 августа — 20 декабря 2011 г.

60-ми годами прошлого столетия составило в среднем около 10 % (с 166 до 154 см), а запаздывание взлома достигло одного месяца — 5 марта вместо 9 февраля по норме. Кстати, тождественное уменьшение толщины припая на 10 см (с 190 до 180 см) произошло с 1980 г. и в Арктике (Карелин, Карклин, 2012, с. 57).

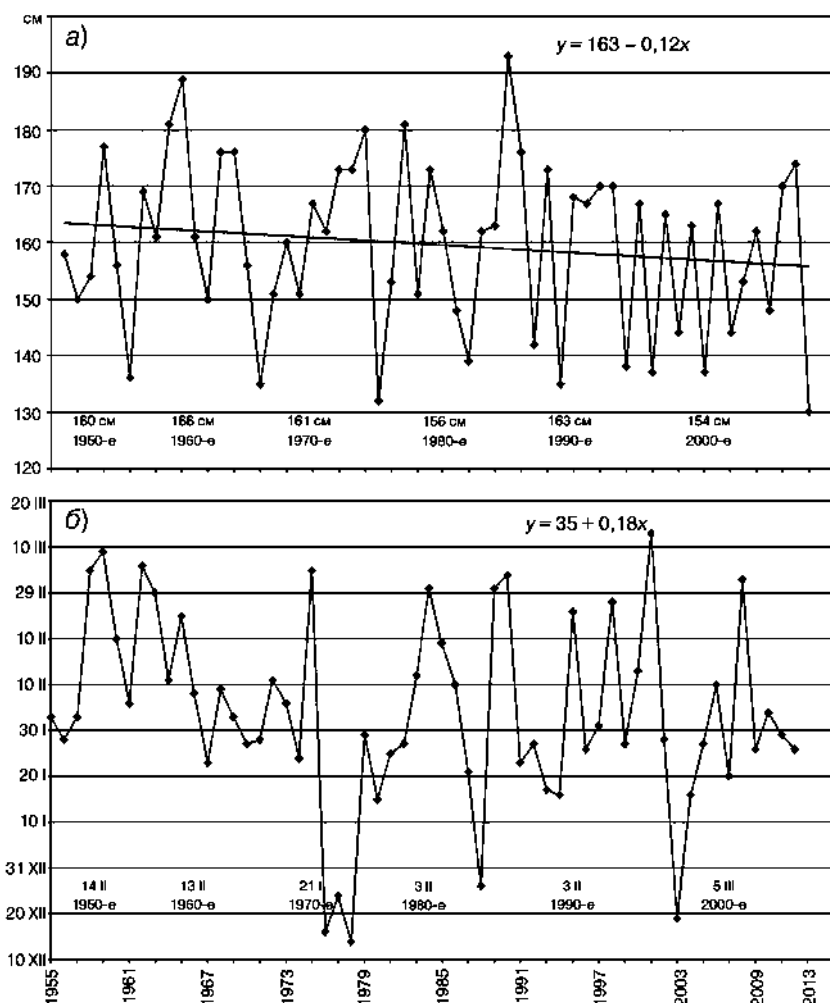


Рис. 2. Многолетняя изменчивость максимальной толщины припая (а) и сроков его окончательного разрушения (б) на рейде Мирного.

Вероятной причиной является повышение на Мирном, по данным http://www.aari.aq/default_ru.html, примерно на 1°C среднегодовой температуры воздуха, зависимость от которой нарастания припая достаточно велика (коэффициент корреляции $R = -0,31$). Определенная роль также принадлежит снегу ($R = -0,06$), который, в целом, ослабляет нарастание благодаря своим теплоизолирующим свойствам. В последние десятилетия заснеженность была несколько увеличена. Данное сочетание факторов соответствует повышенной циклонической активности зимой, которая, сменяясь летом ослабленной циклонической активностью, определяет поздние сроки взлома припая, отличающегося пониженной толщиной. Для прогностических целей теснота зависимости между максимальной толщиной припая на рейде Мирного и сроками его взлома недостаточна ($R = -0,10$), по-видимому, из-за внутриводного ледообразования, которое искажает процесс естественного нарастания.

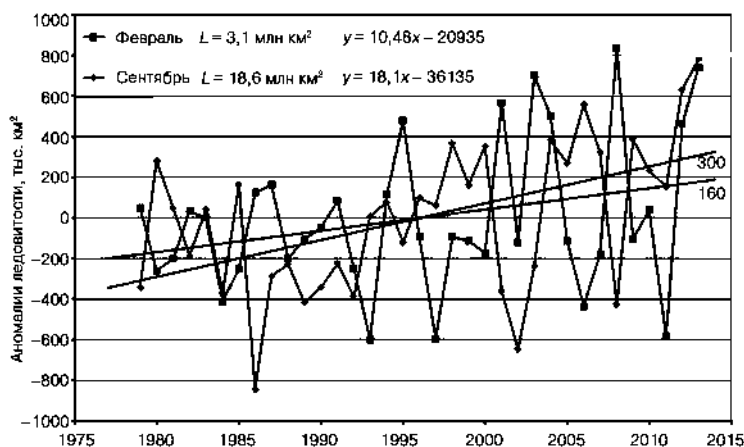


Рис. 3. Изменчивость ледовитости (в отклонениях от нормы) Южного океана в периоды минимального (февраль) и максимального (сентябрь) развития ледяного покрова за период 1979—2013 гг.

По результатам независимой обработки в МЦД-Б по морскому льду (ААНИИ) данных микроволновых измерений американских метеорологических спутников (<http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/south/extent/>) начиная с 1979 г. в Южной полярной области в отличие от Арктики обнаруживается некоторое увеличение морского льда (Гудкович и др., 2008; Коротков и др., 2011). По последним данным, его площадь к 2013 г. возросла в среднем на 300 тыс. км² в период максимального распространения в сентябре и на 160 тыс. км² в конце лета, в феврале (рис. 3).

Зимнее увеличение ледовитости, составляющее менее 2 % от нормы, равной 18,6 млн км², обязано на две трети тихоокеанскому сектору (220 тыс. км²). Совершенно очевидно, что это тривиальный молодой лед, который образуется в прикомочной зоне и скоротечно вытаскивается уже весной, поскольку летом в данном секторе наблюдается прямо противоположная тенденция сокращения ледяного покрова (–100 тыс. км²) и прогрессирующего очищения. Действительно заслуживающим внимания является увеличение на 5 % остаточной ледовитости Южного океана в феврале (среднемесячное значение 3,1 млн км²). Немаловажно, что этот факт подтверждается как традиционной спутниковой информацией в видимом диапазоне, так и подспутниковыми наблюдениями — судовыми и станционными. Решающая роль в этом увеличении принадлежит Атлантическому ледяному массиву (200 тыс. км²), который традиционно оппозиционен Тихоокеанскому массиву ($R = -0,18$). Определенный вклад (60 тыс. км²) вносят моря индоокеанского сектора.

Тенденция повышения ледовитости в масштабах всего Южного океана наметилась после 1986 г. Тогда летом практически исчез Балленский массив в море Сомова, состоялись грандиозные отколы суперязыков шельфовых ледников Ларсена и Фильхнера в море Уэдделла и ледника Туэйтса в море Амундсена (Коротков, Романов, 1990), а площадь льда в сентябре была минимальной (17,7 млн км²). Окончательно данная тенденция оформилась в новом тысячелетии, в начале которого, кстати, также произошли отколы гигантских айсбергов — на этот раз от шельфового ледника Росса.

Увеличение остаточной ледовитости в Антарктике возможно только за счет незаурядного льда, наросшего зимой до 1,5 м и более, чтобы пережить последующий

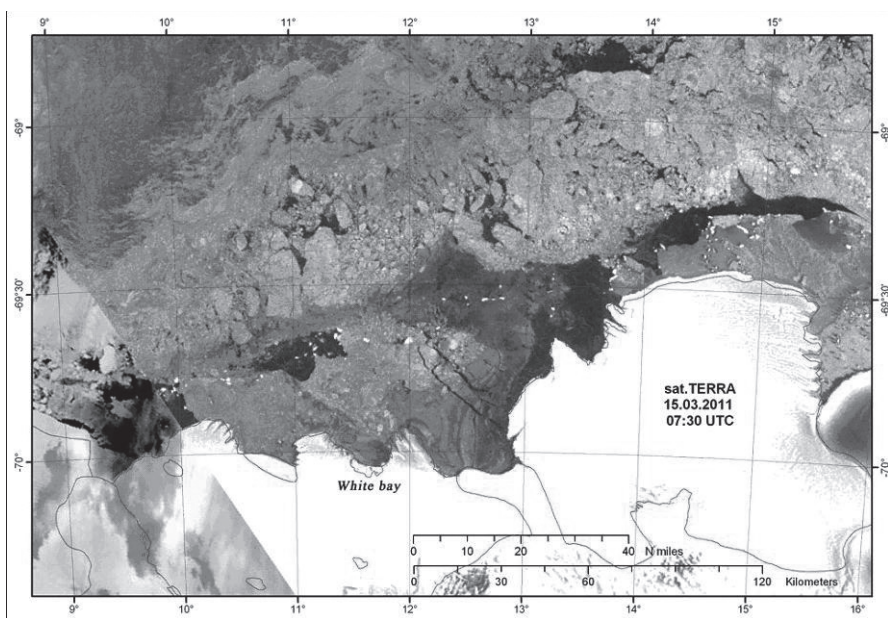


Рис. 4. Припай, сохранившийся в бухте Белая в районе станции Новолазаревская осенью 2011 г. период весенне-летнего таяния. Это либо старый дрейфующий лед «ядер» ледяных массивов, либо припай, в том числе однолетний, если он будет взломан поздно осенью. Отдаление сроков разрушения вплоть до сохранения припая не взломанным представляется ближайшей причиной наблюдаемого в Южном океане увеличения количества старого льда. С сопутствующим усложнением условий проведения морских операций РАЭ столкнулась с первых лет нового тысячелетия.

В 2000 г. в районе станции Новолазаревская в штатном месте выгрузки на ледниковый барьер в бухте Белая впервые с начала ее использования в 1986 г. не произошло окончательного разрушения припая. Сохранился его участок шириной всего 0,6 мили, но практически непреодолимой 2-метровой толщины, которая была обусловлена интенсивным внутриводным ледообразованием.

В 2011 г. ситуация повторилась, но уже вся бухта осталась скована припаем шириной не менее 4 мили (рис. 4). Однако самым неожиданным стало повторное сохранение этого теперь уже двухлетнего припая в 2012 г. На кромке толщина его составляла около 2,5 м, заснеженность — до 1 м, а вблизи барьера — свыше 3 м и около 1,5 м соответственно. Выгрузка вынужденно была вновь произведена восточнее бухты Белая, в вершине залива Ленинградский, в районе береговой базы индийской экспедиции (до 1968 г. база САЭ «Рубеж»). В середине апреля здесь произошло обрушение барьера, что привело к потере значительной части экспедиционного груза.

В 2002 г. в обсерватории Мирный впервые за всю ее полувековую историю в заливе Трешникова почти полностью сохранился не взломанным зимний припай 30-километровой ширины, что не позволило слить на станцию топливо. Вследствие этого в следующем, 2003 г. была вынужденно законсервирована на зиму станция Восток.

В 2003 г., вероятно, так и не взломался припай в заливе Мак-Мердо. При этом летом лед Тихоокеанского массива был экстремально смещен на запад и полностью покрывал море Росса вместо обычно развитой здесь гигантской полыньи площадью

до 0,5 млн км². Эта ситуация повторилась в 2004 г., а в 2005 г. вновь сохранился припай в заливе Мак-Мердо, и американская экспедиция была вынуждена привлечь для обеспечения снабженческих операций мощный российский ледокол «Красин». Единственным историческим аналогом подобных сложных ледовых условий в море Росса является, очевидно, первая послевоенная экспедиция США 1946/47 г. — операция «Хайджамп».

С 2005 г. в районе станции Прогресс в заливе Прюдс отчетливо обозначились тенденции катастрофического возрастания числа айсбергов, увеличения примерно вдвое ширины образующегося здесь припая с режимно-обусловленной (соответствующей бровке шельфа), равной 25—30 км, до 50—55 км и отдаления в среднем на полмесяца (с января на февраль) сроков его окончательного взлома (Коротков и др., 2011).

Также с 2005 г. не взламывался припай шириной 25 км в вершине бухты Саннефьорд в районе соседней базы Дружная-4. Столь кардинальное изменение ледового режима юго-восточного побережья залива Прюдс связано с выдвиганием фронта шельфового ледника Эймери в северо-восточном направлении более чем на 50 км по сравнению с 1980 г. и сдерживания им генерального дрейфа льда и айсбергов на запад.

В начале апреля 2013 г. Саннефьорд окончательно превратился в недоступную ледниковую бухту, со всех сторон окруженную глетчерным льдом (рис. 5, см. цвет. вклейку). Сузившийся к тому времени до 14 км вход в бухту между разрастающимся ледником Эймери и выводным ледником Полар-Рекорд был закупорен айсбергом размером 10×15 км. Он образовался в результате откола языка выводного ледника Пабликейшен в вершине Саннефьорда 26 марта 2013 г. В итоге конфигурация ледникового побережья в заливе Прюдс приобретает все больше сходства с существовавшей в 50-е годы прошлого века вплоть до катастрофического откола Эймери в 1964 г.

Следует также отметить окончательное восстановление к 1998 г. ранее полностью разрушившегося (не позднее 1976 г.) п-ова Челюскинцев на западной оконечности Западного шельфового ледника (Коротков, Федяков, 2001). Этот протяженный припайно-ледниковый выступ также блокирует западную адвекцию льда, образующего к востоку от полуострова локальный массив. В нем в конце марта 2011 г. несколько суток было зажато австралийское экспедиционное судно «Аврора».

С 2007 г. стала ежегодно покрываться припайным льдом акватория на месте раскрошившихся северных частей шельфового ледника Ларсена на северо-западе моря Уэдделла: между 64°30'—65° ю.ш. в январе 1995 г. и между 65—66° ю.ш. летом 2002 г.

Располагающийся здесь Атлантический массив 2—3-летнего льда, толщина которого в результате предположительно перманентного нарастания и интенсивного внутриводного ледообразования достигает 4—6 м (Коротков, Федяков, 1995), в 1998—2002 гг., казалось, был близок к полному вырождению. Однако в последующие годы массив в основном увеличивался и полностью блокировал побережье моря Уэдделла. Вблизи северо-восточной оконечности Антарктического п-ова в ноябре 2009 г. был зажат тяжелым льдом массива российский ледокол «Капитан Хлебников». Летом 2013 г. припай на месте ледника Ларсена не был взломан (рис. 6, см. цвет. вклейки), что возможно знаменует начало реставрации ледника на базе многолетнего припая.

Одновременно у южного побережья о. Жуэнвилль была зафиксирована исключительная ситуация сохранения вплоть до февраля припая, который установился осенью прошлого года (рис. 7). По данным НЭС «Академик Трёшников», он состоял из набивного старого льда «ядра» массива преобладающей толщиной 2—3 м, местами

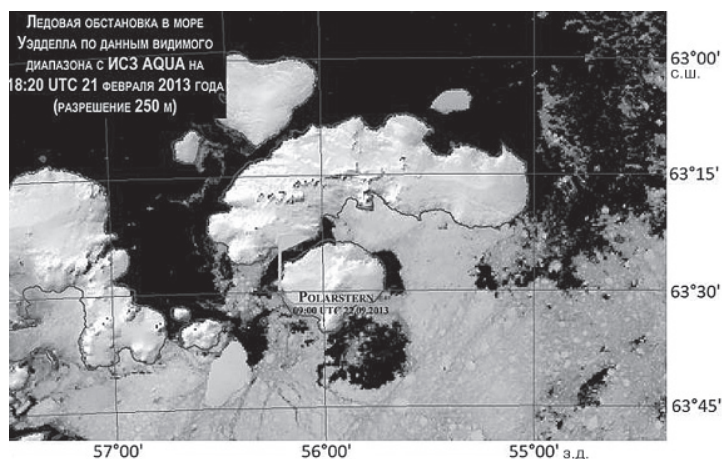


Рис. 7. Припай, сохранившийся у южного побережья о. Жуэнвилля в заливе Ферта у о. Тей 21 февраля 2013 г.

достигающей 4,5 м. Поджатое состояние массива при этом обусловило аномально позднее очищение залива Эребус и Террор только в середине марта. Вероятно, в подобной ситуации здесь 13 февраля 1903 г. было раздавлено и затонуло судно «Антарктик» шведской экспедиции О. Норденшельда (Клепиков, 1963).

Летом 2008 г. не взломался практически весь образовавшийся зимой припай в море Космонавтов площадью около 60 тыс. км² и в западной половине моря Содружества площадью примерно 20 тыс. км². Однако самым главным стала связанная с этим экстраординарная ситуация никогда ранее не наблюдавшегося сохранения сплошного пояса дрейфующего льда вдоль всего побережья индоокеанского сектора от моря Рисер-Ларсена до моря Дюрвиля. В результате остаточная ледовитость Южного океана достигла рекордного значения 3,9 млн км². Летом 2011 г. припай в море Космонавтов и в западной половине моря Содружества вновь сохранился. Летом 2012 г. теперь уже двухлетний припай в море Космонавтов также почти не подвергся взлому.

В середине января 2009 г. непосредственно под нунатаком станции Ленинградская с вертолета был зафиксирован отел небольшого столового айсберга. Породил его молодой шельфовый ледник, образовавшийся из многолетнего припая, который стал формироваться здесь с 1988 г. и достиг к закрытию станции в апреле 1991 г. четырехлетнего возраста, а в 2009 г. соответственно 22-летнего возраста.

На момент организации станции в 1971 г. на этом месте также присутствовал молодой шельфовый ледник, который формировался из перманентно нарастающего многолетнего припая возрастом 10—12 лет, толщиной около 10 м (Черепанов, Козловский, 1973а) и возвышался над водой до 1,5 м. Однако в апреле 1978 г. он был полностью взломан и вынесен. Показательно, что повторное образование здесь многолетнего припая, который через два десятилетия превратился в шельфовый ледник, произошло одновременно с началом восстановления Балленского массива после его практического исчезновения летом 1986 и 1987 гг. Примечательно, что Балленский массив в новом тысячелетии отличается увеличенными размерами и зачастую блокирует даже летом район одноименных островов, тогда как ранее они всегда очищались. Поэтому при посещениях моря Сомова в январе 2008—2010 и 2014 гг. НЭС «Академик Федоров» воздерживалось углубляться в старый лед массива южнее 68-й параллели.

В конце декабря 2013 г. в море Дюрвиля, прежде малоледовитом и легко доступном, попало в полумесячный ледовый плен судно ДВНИГМИ «Академик Шокальский» (рис. 8, см. цвет. вклейку). Первопричиной этого происшествия стал припайно-айсберговый полуостров протяженностью 100 км, который сковывал бухту Коммонуэлт, где на мысе Денисон (67°00' ю.ш., 142°40' в.д.) в 1912—1913 гг. проходила историческая зимовка Дугласа Моусона. В то время здесь образовывался лишь ледяной заберег, который окаймлял мыс узкой полосой шириной не более 200 м (Моусон, 1967, с. 89).

Формирование припайного полуострова началось после того, как напротив бухты в конце марта 2011 г. застрял гигантский айсберг размером 60×20 км. Он заблокировал вынос огромной массы ледопродукции переохлажденных вод местной стационарной полыньи, сохраняющейся на протяжении круглого года из-за не прекращающихся ураганных ветров. В период усиления восточного ветра судно «Академик Шокальский» находилось с восточной, наветренной стороны данного полуострова и оказалось в пятне сплошного дрейфующего льда, плотно поджатого к припаю ветром и постоянным Прибрежным антарктическим течением. Этот тяжелый старый лед был принесен сюда с востока из «переполнившегося» Балленского массива в соседнем море Сомова.

Исключением из преобладающей в Южном океане тенденции повышения остаточной ледовитости до последнего времени являлся тихоокеанский сектор, где летом, напротив, количество льда в основном сокращалось.

С 1989 г. ранее недоступное море Беллинсгаузена в феврале — марте очень часто стало почти полностью очищаться. Ежегодному взлому и выносу начал подвергаться не только припай в заливе Маргерит, включая его вершину — залив Симонова, но и все крупные участки припайного льда, образующиеся в излучинах северного и западного побережий Земли Александра I. Прежде во всех этих районах периодически образовывался многолетний припай. В новом тысячелетии из-за исчезновения буферной зоны многолетнего припая стал разрушаться и собственно шельфовый ледник Уилкинса, сковывающий архипелаг Земли Александра. С 2007 г. очищение моря Беллинсгаузена происходит ежегодно. В марте 2013 г. здесь было зафиксировано абсолютное отсутствие морского льда.

В середине марта 1992 г. полностью очистилось также ранее труднодоступное море Амундсена. С 2009 г. деградация Тихоокеанского массива стала очевидной. Знаковым событием явилось окончательное разрушение в районе станции Русская характерного зубчатого выступа многолетнего припая между мысом Беркс и скоплением айсбергов на банке Аристова. При наличии этого выступа протяженностью около 60 км, затрудняющего западную прибрежную адвекцию льда, здесь традиционно складываются тяжелые условия для плавания.

Наконец, в 2011 г. «волна» очищения достигла непосредственно района станции Русская (120—160° з.д.). Впервые за полувековой период имеющихся данных спутниковых наблюдений была зафиксирована экстремальная ситуация практически полного исчезновения прибрежного пояса дрейфующего льда между мысами Дарт и Колбек. Остаточная ледовитость всего сектора достигла абсолютного минимума, составив 0,8 млн км².

Кардинальные изменения претерпели ледовые условия у тихоокеанского побережья Антарктического полуострова (Лагун и др., 2010). По данным станции

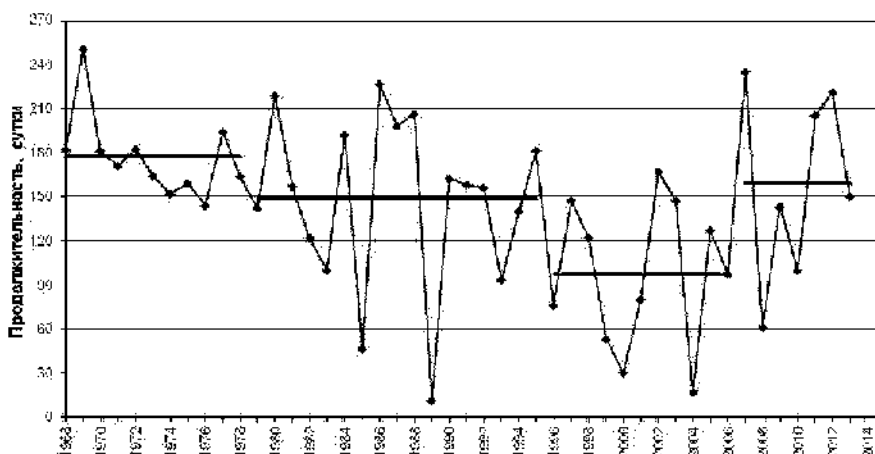


Рис. 9. Многолетняя изменчивость продолжительности ледового периода в районе станции Беллинсгаузен.

Беллинсгаузен, продолжительность ледового периода в районе Южных Шетландских островов за период 1968—2006 гг. сократилась в среднем с шести до трех месяцев (рис. 9), а толщина образующегося здесь припайного льда уменьшилась втрое — с 90 до 30 см. В период особенно «теплых» зим 1996—2006 гг. отсутствие окончательного замерзания бухты Ардли стало не просто нормой, а наблюдалось в абсолютном большинстве лет. Более того, в 2004 г. припай вообще не образовался.

Предполагается, что продолжительность и суровость ледового периода в районе станции Беллинсгаузен определяется интенсивностью происходящего обычно в мае затока в пролив Брансфилд вод и льдов из моря Уэдделла, который приводит к резкой активизации процессов местного ледообразования. Эффект усиливается при окружении о. Кинг-Джордж льдом со всех сторон. Последнее происходит, очевидно, в случае интенсификации циклонического круговорота моря Беллинсгаузена, которая сопровождается распространением зимой (в июне — июле) ледового языка из района залива Маргерит (65° ю.ш., 70° з.д.) в направлении пролива Дрейка.

Оба рассматриваемых процесса в период «теплых» зим были ослаблены и начали активизироваться с 2007 г., когда в районе Южных Шетландских островов началась реставрация прежнего ледового режима. К настоящему времени средняя продолжительность ледового периода приблизилась к полугоду, а бухта Ардли в большинстве лет вновь сковывается льдом на срок до трех месяцев припаем средней толщиной около 60 см, что являлось нормой для 70-х годов XX века.

Особенно неординарно развивались ледовые события в 2012 г. Они начались экстремально рано — 5 апреля, когда в бухту Ардли стал поступать старый лед из «тела» аномально разросшегося Атлантического массива, который уже к концу марта достиг Южных Оркнейских островов и угрожающе навис с востока над проливом Брансфилд. Этот лед толщиной свыше 2,5—3,0 м и заснеженностью 1,0—1,5 м на следующий день полностью заполнил бухту, чего ранее никогда не происходило. В результате попали в ледовый плен бразильская моторная яхта, которая затонула, и станционная баржа «Амдерма», освобожденная из льда только благодаря самоотверженности и мастерству зимовщиков 57-й РАЭ. НЭС «Академик Федоров» с большим трудом удалось слить на станцию топливо.

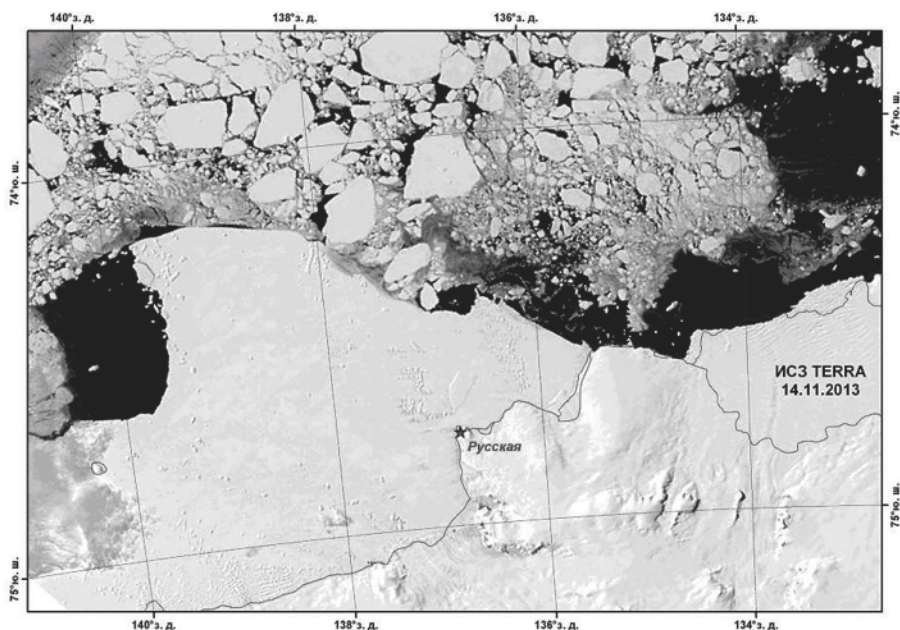


Рис. 10. Восстановившийся зимой 2013 г. характерный, «зубчатый» выступ припая у м. Беркс.

Возможно, что с реставрации ледового режима района Южных Шетландских островов начнется восстановление Тихоокеанского массива в целом. Первые признаки этого проявились зимой 2013 г. В середине июня в районе станции Русская состоялось восстановление разрушенного в 2009 г. припайного выступа у мыса Беркс (рис. 10), отождествляемого с тяжелыми ледовыми условиями. Кроме того, в середине сентября у западного побережья Антарктического полуострова произошло давно не наблюдавшееся становление припая в максимально возможных границах. Полностью замерз залив Маргерит, а также вся прибрежная акватория между островами Аделейд и Анверс по линии архипелага островов Биско.

Таким образом, в новом тысячелетии отчетливо обозначилась тенденция отдаления сроков разрушения антарктического припая вплоть до сохранения его не взломанным, что представляется основным механизмом наблюдаемого увеличения количества морского льда и сопутствующего усложнения условий плавания в Антарктике в отличие от Арктики. Этот процесс можно рассматривать как компенсационную реакцию на одновременное уменьшение толщины льда в результате потепления высоко сбалансированной южной полярной климатической системы, функционирующей в режиме универсального взаимодействия, когда причина и следствие постоянно меняются местами и обратные связи — реакции сред — оказываются столь же значимыми, как и вызвавшие их прямые воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. (2008). Изменения морского ледяного покрова и других составляющих климатической системы в Арктике и Антарктике в связи с эволюцией полярных вихрей // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (78). С. 48—58.

- Дубровин Л.И. (1962). О развитии припая в районе станции Лазарев // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. № 33. С. 35—41.
- Карелин И.Д., Карклин В.П. (2012). Припай и заприпайные полыньи арктических морей Сибирского шельфа в конце XX — начале XXI века. —СПб: ААНИИ. 180 с.
- Клепиков В.В. (1963). Гидрология моря Уэдделла // Труды Сов. антаркт. экспед. Т. 17. С. 45—93.
- Коротков А.И. (1990а) О механизме образования внутриводного льда в Антарктике // Труды Сов. антаркт. экспед. Т. 86. С. 105—116.
- Коротков А.И. (1990б) Закономерности пространственно-временной изменчивости антарктических стационарных полыньей // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. № 114. С. 25—32.
- Коротков А.И. (1995). Основные итоги и перспективы исследований ледового режима Южного океана // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 70. С. 84—103.
- Коротков А.И., Романов А.А. (1990). Динамика ледовых условий прибрежной зоны Антарктики // Материалы гляциол. исслед. Т. 68. С. 126—133.
- Коротков А.И., Федяков В.Е. (1995). Адвекция и морфология льда в круговороте Уэдделла / В сб.: Результаты исследований Антарктики. —СПб: Гидрометеиздат, С. 62—67.
- Коротков А.И., Федяков В.Е. (2001). Стационарная полынья в заливе Прюдс // Труды ААНИИ. Т. 443. С. 146—155.
- Коротков А.И., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. (2011). Современное изменение ледяного покрова Южного океана и его сопряженность с ледовитостью в Арктике // Океанография и морской лед. —М.—СПб: ООО «Паулсен», с. 422—426.
- Лагун В.Е., Клепиков А.В., Данилов А.И., Коротков А.И. (2010). О потеплении в районе Антарктического полуострова // Проблемы Арктики и Антарктики. № 2 (85). С. 90—101.
- Леденев В.Г. (1964). Охлаждение прибрежных антарктических вод в районах заприпайных и приледниковых полыньей // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 17. С. 46—53.
- Моусон Д. (1967). Родина снежных бурь / Пер. с англ. —М.: Мысль. 334 с.
- Припай Восточной Антарктиды (1997) // Труды Сов. антаркт. экспед. Т. 63. 130 с.
- Романов А.А. (1996). Ледовые условия плавания в Южном океане // Бюл. ВМО. Вып. № 35. 117 с.
- Трешников А.Ф. (1963). Особенности ледового режима Южного Ледовитого океана // Тр.Сов. антаркт. экспед. Т. 21. 237 с.
- Черепанов Н.В., Федотов В.И. (2007). Внутриводное ледообразование у побережья Антарктиды // Проблемы Арктики и Антарктики. № 3 (77). С. 85—88.
- Черепанов Н.В., Козловский А.М. (1973а). Многолетний припай в районе станции Ленинградской // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. № 85. С. 54—57.
- Черепанов Н.В., Козловский А.М. (1973б). Осеннее образование внутриводного льда в районе шельфового ледника Лазарева // Информ. бюл. Сов.антаркт. экспед. № 86. С. 36—39.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ В СЕКТОРЕ МОРЯ ДЕЙВИСА (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 250 ЛЕТ ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДЯНОГО КЕРНА ИЗ СКВАЖИНЫ 105-й КМ

инженер Д.О. ВЛАДИМИРОВА, канд. геогр. наук А.А. ЕКАЙКИН

ГНЦ РФ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, vladimirova@aari.ru

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена реконструкции климатической изменчивости за последние 250 лет в секторе моря Дейвиса по данным геохимических анализов керна из скважины 105-й км.

Керн из скважины 105-й км (105-й км трассы Мирный—Восток, 67°26' ю.ш., 93°23' в.д., 1416 м над уровнем моря) был получен в сезон 33-й САЭ (1987/88 г.) тепловым бурением в сухой скважине с помощью снаряда ТЭЛГА-14. Общая длина керна составила 727 м, но для настоящего исследования мы использовали интервал глубин 3,00—109,02 м, отражающий наиболее интересный для нас временной отрезок. Из указанного интервала глубин треть составляют пропуски, распределенные равномерно по всей длине исследуемого керна, причем самый длинный пропуск не превышает 3 м.

В основе исследования лежит изотопный метод, т.е. измерение относительного содержания тяжелых изотопов кислорода и водорода ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) и реконструкция на основе этих данных температуры воздуха и скорости снегонакопления.

Поскольку в районе 105-го км отсутствует таяние и отмечена достаточно высокая скорость аккумуляции снега по данным инструментальных наблюдений (Липенков и др., 1998; Барков, 1974), составляющая 331—422 мм водного эквивалента в год, профиль изотопного состава содержит не только межгодовой, но и сезонный климатический сигнал.

Актуальность работы обусловлена тем, что выбранный нами временной интервал (250 лет) позволяет сопоставить современные глобальные климатические изменения с изменениями климата в доиндустриальную эпоху.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Изотопный анализ

В основе связи изотопного состава атмосферных осадков с температурой воздуха при их формировании лежит явление так называемого изотопного истощения влаги в воздушной массе, несущей осадки, которое, в свою очередь, обусловлено фракционированием (разделением) изотопов при фазовых переходах. Фракционирование, в первую очередь, связано с тем, что концентрация тяжелых изотопов в жидкости больше, чем в находящемся в равновесии с ней водяном паре, вследствие того что парциальное давление насыщенного водяного пара, состоящего из тяжелых молекул (HD^{16}O или H_2^{18}O) меньше, чем пара, состоящего из легких молекул.

Под изотопным составом подразумевается относительная концентрация (δ), а именно разность отношений абсолютной концентрации тяжелых изотопов в образце и стандарте относительно этого отношения для стандарта, выраженная в промилле:

$$\delta D = \frac{\left(\frac{{}^2\text{H}}{{}^1\text{H}}\right)_{\text{обр.}} - \left(\frac{{}^2\text{H}}{{}^1\text{H}}\right)_{\text{станд.}}}{\left(\frac{{}^2\text{H}}{{}^1\text{H}}\right)_{\text{станд.}}} \cdot 1000$$

для дейтерия (и аналогично для кислорода ^{18}O).

За стандарт принимают океаническую воду Standard Mean Ocean Water (SMOW), значение изотопного состава которой по определению равно 0.

Поскольку испарение с поверхности океана протекает в неравновесных условиях, возникающих из-за недонасыщения водяного пара по отношению к океанической воде при данной температуре, возникает так называемый кинетический изотопный эффект. Показателем его интенсивности считается эксцесс дейтерия, который принято выражать следующим образом (Dansgaard, 1964):

$$\text{dxs} = \delta D - 8 \delta^{18}\text{O}.$$

Его величина слабо меняется в ходе равновесного процесса конденсации, таким образом сохраняя информацию о температурных условиях в источнике влаги (Jouzel et al., 1982).

Строго говоря, изотопный состав осадков связан не с температурой конденсации как таковой, а с разностью температуры конденсации в месте выпадения осадков и температуры в источнике влаги. Понижение температуры воздушной массы при ее движении из низких широт в высокие приводит к вымыванию влаги из воздушной массы, что, в свою очередь, ведет к изотопному фракционированию. Чем больше понижение температуры, тем больше изотопное истощение и тем ниже изотопный состав осадков.

Тем не менее в первом приближении можно считать, что изменение изотопного состава осадков отражает изменение местной температуры воздуха. Для Антарктики это допущение особенно справедливо, поскольку интенсивность изменчивости температуры в полярных широтах существенно выше, чем в тропиках, где формируется основная доля атмосферной влаги.

При температурных реконструкциях в масштабе тысячелетий необходимо также учитывать такие факторы, как изменение изотопного состава океана, глобальные изменения атмосферной циркуляции, изменение размера и формы антарктического ледяного щита и т.д. Однако в интересующем нас масштабе времени (250 лет) эти параметры можно принять за константы, а значит, признать их влияние на изотопный состав осадков несущественным.

Изотопный состав образцов ледяного керна из скважины 105-й км был измерен в 2012 г. в Лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС) ААНИИ. Общая длина исследуемого керна составила 106 м (интервал 3,00—109,02 м), образцы для анализа изотопного состава были отобраны с разрешением 5 см для получения сезонного сигнала. Измеренный профиль изотопного состава (по дейтерию) представлен на рис. 1 а.

Измерения проводились на лазерном анализаторе изотопного состава Picarro L1102-i. В данном приборе применяется технология абсорбционной спектроскопии по затуханию света (WS-CRDS) (детальное описание доступно на сайте <http://www.picarro.com>).

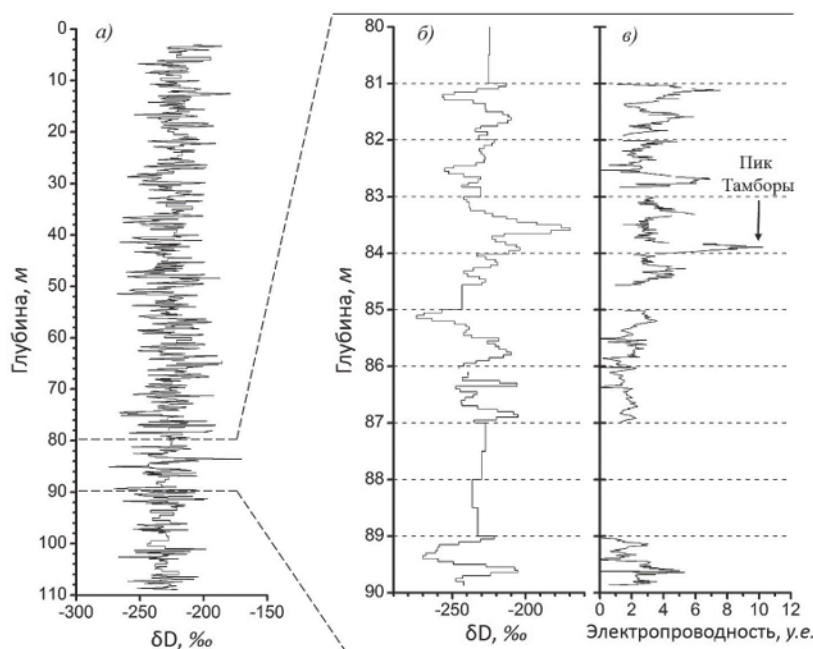


Рис. 1. Изменения изотопного состава (а, б) и электропроводности (в) ледяного керна из скважины 105-й км с глубиной.

Воспроизводимость измерений составила 0,7 ‰ для дейтерия. Такая точность измерений вполне удовлетворительна для выполняемого исследования, поскольку она на два порядка меньше естественной изменчивости изотопного состава в кернах 105-й км.

Электропроводность ледяного керна

Совместно с рядом изотопного состава использовалась запись сигнала электропроводности керна, измерение которой было выполнено в гляциологической лаборатории станции Восток в сезон 57-й РАЭ (январь 2012 г.).

На записи (рис. 1 в) отчетливо виден пик электропроводности на глубине 83,9 м, предположительно соответствующий слою, содержащему продукты извержения вулкана Тамбора (1815 г.). Анализ химического состава некоторых образцов исследуемого керна, проведенный в Лимнологическом институте Сибирского отделения РАН (г. Иркутск), показал превышение содержания сульфат-ионов в слое 83,88—83,92 м в 2—4 раза по сравнению с остальной частью керна, обычное для слоев с продуктами вулканических извержений (Hammer, 1980, 1983; Екайкин и др., 2000). Отметим, что в атмосферу над антарктическим пространством осадки, содержащие продукты вулканических извержений, попадают в среднем на год позже самого извержения, а значит, описанный слой датируется 1816 годом.

Датирование ледяного керна

Датирование ледяного керна было произведено с целью преобразования вертикальных профилей исследуемых характеристик во временные ряды. В начале была проведена предварительная датировка путем подсчета годовых слоев по летним максимумам

изотопного состава. Нижняя граница образца с максимальным значением изотопного состава принималась за границу годового слоя. Датировка была скорректирована с учетом глубины залегания предполагаемого слоя Тамборы, для которого известен абсолютный возраст. Сопоставление предварительной датировки с абсолютным возрастом Тамборы позволило оценить ошибку при датировании. Годовой слой, содержащий пик Тамборы, предварительно был датирован 1848 г. Это означает, что для 172 лет (с 1816 по 1987 г.) не было учтено 32 годовых слоя. Следует отметить, что ошибка датировки в основном связана не с трудностями в подсчете годовых слоев в изотопном профиле, а с имеющимися в кернах пропусками (общая длина которых составляет порядка 1/3 длины керна). С учетом полученного соотношения была скорректирована предварительная датировка ниже слоя Тамборы и сделана оценка погрешности датирования.

Возраст исследуемого керна на глубине 109,02 м составил 231 ± 8 лет. В значение ошибки заложена неопределенность при датировании пропусков в интервале керна между слоем Тамборы и глубиной 109 м, поскольку предполагается, что погрешность датировки слоя Тамборы, для которого известен абсолютный возраст, равна нулю.

Построение временных рядов изотопного состава и снегонакопления

Для каждого годового слоя в ледяном кернах было рассчитано среднее значение изотопного состава. Для вычисления средних годовых значений изотопного состава отсутствовавших участков керна были использованы данные (Masson et al., 2000) с низким разрешением (50 см). Среднее годовое значение изотопного состава рассчитывалось как среднее значение по всем изотопным пробам между двумя границами данного годового слоя.

Также была рассчитана скорость снегонакопления как произведение толщины годового слоя на среднюю плотность этого слоя. Данные о плотности слоя получены путем взвешивания и определения размеров ледяных кернов с разрешением 4—5 м. Плотность на заданной глубине вычислялась с использованием функции аппроксимации, принявшей в нашем случае следующий вид:

$$y = 0,00013132x^3 - 0,05949x^2 + 8,879x + 470,411.$$

Значения изотопного состава и аккумуляции были скорректированы таким образом, чтобы учесть утончение годовых слоев с глубиной, а также тот факт, что более древние слои льда были отложены не в точке бурения, а выше по склону ледника.

Поправка μ на утончение слоев вследствие растекания льда рассчитывалась по упрощенной методике с использованием формулы Ная (Nye, 1963):

$$\frac{a'_k}{a_k} = \frac{H^* - H_k}{H^*} = \mu,$$

где a'_k и a_k — скорость снегонакопления до и после введения поправки соответственно, H_k и H^* — глубина залегания нижней границы годового слоя k и общая толщина ледника, выраженные в ледяном эквиваленте.

Для расчета поправки на адвекцию льда были использованы данные о скорости движения льда в районе 105-го км и данные о распределении скорости накопления снега по профилю Мирный — Восток (Липенков и др., 1998), а также данные о пространственном распределении изотопного состава по указанному профилю (Eckaykin et al., 2002).

В результате расчетов выяснилось, что лед, расположенный на глубине 109 м, образовался на 9,7 км выше по склону от пункта 105-й км, где среднее годовое зна-

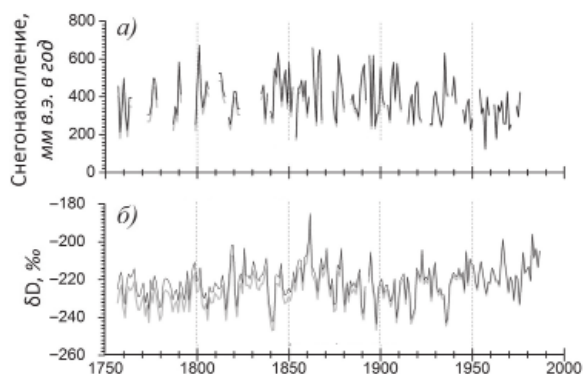


Рис. 2. Средние годовые значения скорости снегонакопления (а) и изотопного состава (б) осадков в пункте 105-й км с 1757 по 1987 гг.

Серые кривые — изменения средних годовых значений характеристик без учета поправок на уточнение годовых слоев и адвекцию льда, черные кривые — с учетом обеих поправок.

чение изотопного состава осадков на 7 ‰ меньше, а скорость аккумуляции на 51 мм водного эквивалента в год ниже. Соответственно поправки на адвекцию имеют положительные значения (рис. 2).

Среднее годовое значение скорости снегонакопления за период 1750—1988 гг. в пункте 105-й км (после введения поправок) оказалось равным 391 мм водного эквивалента в год, что хорошо согласуется с данными современных инструментальных наблюдений (см. введение). Среднее годовое значение изотопного состава (δD) осадков в исследуемом пункте равно -223 ‰. Изменения во времени рассматриваемых показателей представлены на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Восстановление ряда местных средних годовых температур воздуха

Для преобразования ряда средних годовых значений изотопного состава в ряд температуры воздуха за рассматриваемый временной отрезок необходимо вывести изотопно-температурный калибровочный коэффициент с использованием связи между рядом δD и рядом средней годовой температуры воздуха по данным метеонаблюдений на станции Мирный, ближайшей к пункту 105-й км. Такой подход основан на предположении о существовании прямой зависимости изотопного состава осадков от местной температуры (см. раздел *Методика*).

Сравнение изотопного состава с приземной температурой на ст. Мирный (см. сайт www.aari.ru) дает статистически незначимый коэффициент корреляции ($r=0,16$). Вместе с тем, визуальное сопоставление рядов средних годовых значений изотопного состава и температуры воздуха показывает совпадение короткопериодных колебаний при противоположных трендах (рис. 3 а).

Спектральный анализ ряда средних годовых значений изотопного состава и ряда средних годовых значений температуры воздуха, проведенный в программах “Statistica” и “Analyseries”, позволил выделить в ряду изотопного состава колебания с периодами 6, 9, 19, 32 года и порядка 120 лет (рис. 4). Схожие колебания (с периодами 6, 16—20 и 33 года) были обнаружены и в ряду температуры воздуха на станции Мирный (вековой цикл в этом ряду не выделяется из-за слишком малой длины ряда).

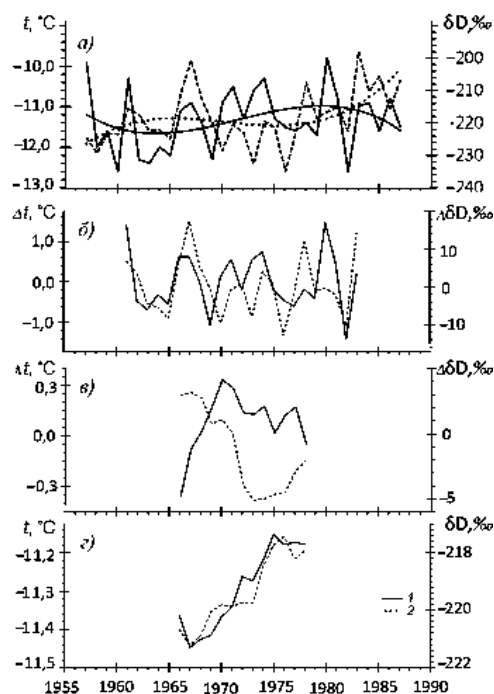


Рис. 3. Сравнение средних годовых значений температуры воздуха на ст. Мирный (1) и средних годовых значений изотопного состава льда (2).

a — исходные ряды (серые кривые — линии тренда, представляющие собой полином третьей степени; *b* — аномалии температуры воздуха и изотопного состава льда в рамках короткопериодной компоненты; *v* — аномалии указанных параметров в рамках 19-летней компоненты; *z* — длиннопериодные колебания температуры воздуха и изотопного состава льда.

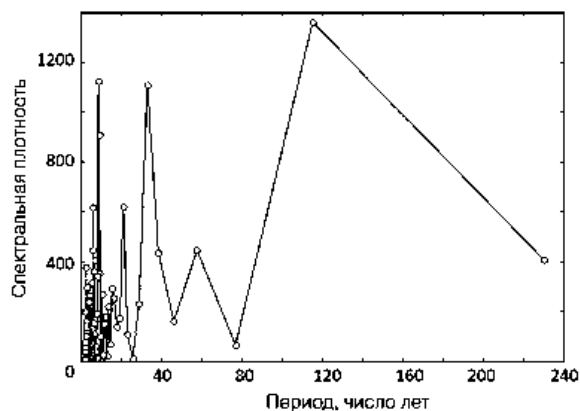


Рис. 4. Периодограмма ряда средних годовых значений изотопного состава льда в керне 105-й км.

Для каждого из циклов, выделенных из ряда методом «пропускания частот», был проведен анализ корреляции между δD и температурой воздуха t . Оказалось, что в рамках высокочастотных колебаний (с периодом 9 лет и меньше) и низкочастотных колебаний (с периодом 30 лет и больше) указанные параметры связаны положительно

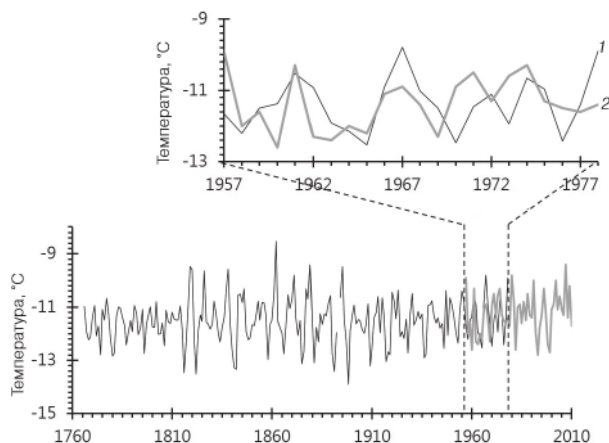


Рис. 5. Средняя годовая приземная температура воздуха в районе ст. Мирный, восстановленная по данным изотопного состава льда в керне из скважины 105-й км (1), и наблюдаемая в обсерватории Мирный (2).

Внизу — за период 1766—2010 гг.,верху — за период 1957—1978 гг.

(рис. 3 б, г) — коэффициенты корреляции равны 0,40 и 0,94 соответственно. В то же время, в рамках 19-летнего периода эти два параметра связаны отрицательно ($r = -0,35$) (рис. 3 в). Здесь и далее коэффициенты корреляции приводятся с уровнем значимости 5 %.

Использование данных о температуре воздуха на станции Мирный на изобарической поверхности 850 гПа, расположенной приблизительно на высоте пункта 105-й км, не приводит к увеличению коэффициентов корреляции, поэтому в дальнейших расчетах были использованы данные о приземной температуре воздуха.

Линейные уравнения связи, выведенные отдельно для каждой из компонент ряда изотопного состава осадков и ряда местной температуры воздуха, позволили реконструировать соответствующие компоненты ряда температуры и получить сам ряд средней годовой температуры воздуха с 1766 по 1978 г. путем сложения компонент. К восстановленному ряду температуры был добавлен ряд метеонаблюдений на ст. Мирный с 1957 по 2010 г. (рис. 5).

Климатическая изменчивость в секторе моря Дейвиса за последние 250 лет

Полученные данные позволяют предположить, что за последние 250 лет температура воздуха в исследуемом районе повысилась на 0,5 °C (от -11,7 до -11,2 °C), что характерно и для других береговых районов континента (см., например, Masson et al., 2000; Mayewski et al., 2004). Восстановленный ряд показывает слабую тенденцию повышения температуры воздуха до начала XIX века, затем температура практически не изменяется, а с начала XX века вновь начинает повышаться (см. рис. 5). Интересно, что на протяжении всего XIX столетия отмечается повышенная амплитуда межгодовой изменчивости данного показателя. По-видимому, это связано со сменой климатических условий в конце Малого ледникового периода, характеризующейся увеличенной межгодовой изменчивостью температуры воздуха (Goose et al., 2012).

Реконструированный ряд скорости снегонакопления демонстрирует тенденцию к ее уменьшению, по крайней мере, с середины XIX столетия (см. рис. 2 а). Возможной причиной этого может являться расположение пункта бурения 105-й км в зоне

мегадюн — форм ледникового рельефа высотой порядка нескольких метров и длиной 2—5 км. Иными словами, причиной наблюдаемого тренда снегонакопления могут быть не климатические изменения, а ветровое перемещение мегадюн.

С другой стороны, снижение скорости аккумуляции снега в XX веке не противоречит прочим данным по береговым районам Антарктиды (Kaczmarzka et al., 2004). Так, например, на горе Гауссберг (66,8° ю.ш., 89,2° в.д.), расположенном на расстоянии 170 км от ст. Мирный, с 1902 по 1957 г. на 15 обследованных пунктах выявлено снижение скорости снегонакопления (Климат..., 1973). Следует отметить также схожесть общих тенденций к снижению аккумуляции снега с близлежащим пунктом 200-й км (Екайкин и др., 2000) на всем исследуемом временном отрезке (рис. 6 б). Таким образом, наблюдаемый тренд в ряду снегонакопления мог возникнуть и по климатическим причинам.

Имеющиеся данные о химическом составе образцов ледяного керна показали пониженное (в среднем в два раза и более) содержание ионов натрия в слоях льда, относящихся к XIX веку, по сравнению с более молодыми слоями (рис. 6 г). Существует мнение о том, что источником морских солей в ледяных кернах служит не открытое морское пространство, а морской лед. Механизмы такого явления обсуждаются в ряде работ (см., например, Rankin et al., 2002; Wagenbach et al., 1998; Wolff et al., 2003). Поводом для дискуссий послужило отложение морских солей преимущественно в зимних слоях ледяных кернов в береговых районах Антарктиды. Проверка распределения ионов натрия по сезонам года в керне из скважины 105-й км показала наибольшее содержание этого элемента в летних и осенних слоях, когда площадь морского льда наименьшая. Поскольку натрий в керне из скважины 105-й км имеет преимущественно (80 %) морское происхождение (Осипов, персональное сообщение, 2013), можно сделать предположение о прямой зависимости концентрации натрия в осадках от площади морского пространства, свободного от льда. Таким образом, сниженное содержание ионов натрия в слоях, датируемых XIX веком, может свиде-

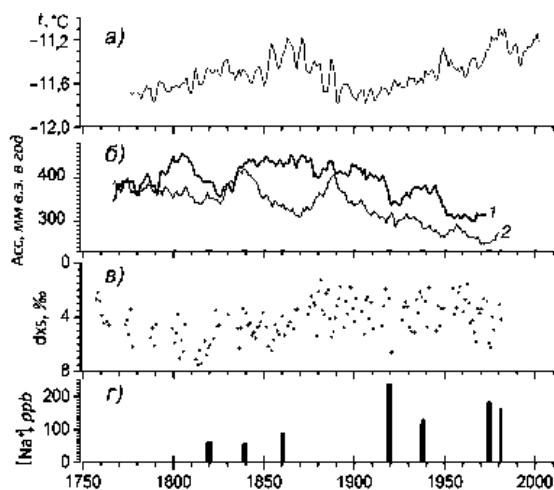


Рис. 6. Изменчивость климатических характеристик в секторе моря Дейвиса за последние 250 лет. а — реконструированный ряд температуры воздуха в районе ст. Мирный; б — ряды скорости снегонакопления в пункте 105 км (1) и в пункте 200 км (2); в — средние годовые значения эксцесса дейтерия (ось ординат перевернута); г — содержание ионов натрия в некоторых образцах ледяного керна из скважины 105-й км (данные предоставлены ЛИИ СО РАН). Ряды на рис. 6 а и б сглажены по 23 годам.

тельствовать об увеличенной площади морского льда в конце Малого ледникового периода в исследуемом секторе Антарктики.

Еще одним доказательством увеличения площади морского льда в Малый ледниковый период в исследуемом секторе Антарктики служит повышенное значение эксцесса дейтерия до середины XIX века по сравнению с современной эпохой (рис. 6 в). Уменьшение площади морского льда влечет за собой увеличение испарения влаги с поверхности моря в высоких широтах, что, в свою очередь, приводит к понижению средневзвешенной температуры в районе формирования воздушной массы и вследствие этого к уменьшению значения эксцесса дейтерия в осадках.

Увеличенная до середины XIX века площадь морского льда подтверждается также данными моделирования (Goose et al., 2012).

Интересно, что в современную эпоху выявляется положительная связь между температурой воздуха по данным метеонаблюдений на ст. Мирный и площадью распространения морского льда в секторе 100—120° в.д. (см. сайт <http://www.antcrc.utas.edu.au>).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции r между приземной температурой воздуха по данным метеонаблюдений на ст. Мирный и степенью распространения морского льда на разной долготе λ за период с 1973 по 1997 г.

λ° в.д.	0	10	20	30	40	30	60	70	80	90
r	-0,24	-0,10	0,19	0,43	0,32	0,15	0,07	-0,11	-0,11	0,16
λ° в.д.	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
r	0,39	0,49	0,28	0,11	-0,19	-0,40	-0,33	-0,03	0,23	

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции.

Возможная причина прямой связи местной температуры воздуха и площади морского льда восточнее исследуемого пункта может заключаться в смещении циклонического центра действия атмосферы. Если индоокеанский циклонический центр действия атмосферы ослабевает, он продвигается к югу, меридиональный градиент давления при этом уменьшается, температура воздуха в прибрежном районе повышается, ледовитость моря к востоку от исследуемого пункта увеличивается, и, наоборот (Косенко, Смирнов, 2008). Циклонический центр действия атмосферы (располагающийся в индоокеанском секторе Южного океана на 64° ю.ш. и 99° в.д. (Розанова, 2006)), определяет перенос теплых воздушных масс в передней части (на западе циклонического центра действия атмосферы) и холодных воздушных масс в тыловой части (на востоке ЦЦДА), чем и может объясняться прямая корреляционная связь между приземной температурой воздуха на ст. Мирный и площадью морского льда восточнее исследуемого сектора.

Периодические изменения климатических характеристик

Как указано выше, ряд изотопного состава (температуры воздуха) на фоне общего положительного тренда характеризуется целым набором периодических колебаний: 6, 9, 19, 32 года и порядка 120 лет. Схожий набор циклов характерен и для ряда снегонакопления. Подобная периодичность была отмечена ранее в расположенном неподалеку пункте 200-й км, для которого есть данные по снегонакоплению за последние 350 лет (Екайкин и др., 2000): 2,5; 4—6; 10; 19 и 39 лет. В пункте 200-й км они объясняются как гляциологическими факторами (миграция через данную точку

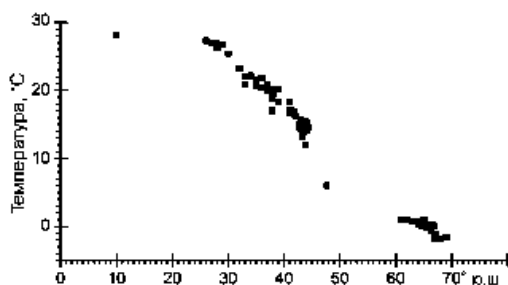


Рис. 7. Распределение по широте температуры поверхностного слоя вод в Индийском океане (см. сайт <http://data.giss.nasa.gov/o18data/>).

форм снежного рельефа), так и климатическими (изменения площади морского льда, циклонической деятельности и солнечной активности).

Короткопериодные циклы (около 8—10 лет) могут быть ассоциированы с прохождением антарктической циркумполярной волны, проявляющейся в изменениях давления на уровне моря, скорости ветра, температуры поверхностных вод и степени распространения морского льда (White and Peterson, 1996).

Девятнадцатилетний цикл представляет наибольший интерес, поскольку для него, как указано выше, характерна отрицательная связь между изотопным составом осадков и местной температурой воздуха. Для выявления возможного механизма такой связи нами была использована простая изотопная модель (Salamatin et al., 2004). Проведенные тесты показали, что подобная ситуация может возникнуть, если температура в источнике влаги меняется в три раза быстрее, чем температура конденсации. Согласно общим климатическим закономерностям такая ситуация маловероятна, однако не исключено, что более значительные изменения температуры в источнике влаги связаны с широтным смещением района формирования воздушной массы. Возможный механизм заключается в следующем. Допустим, источник влаги смещается на несколько градусов к северу, температура в источнике при этом сильно повышается (рис. 7), а температура конденсации остается почти неизменной (или слабо повышается). Изотопный состав осадков при этом понижается.

Предложенный механизм косвенно подтверждается тем, что 19-летний цикл проявляется также в морских температурных аномалиях как в Южном полушарии, так и общепланетарно (см. сайт <http://www.ncdc.noaa.gov/cmb-faq/anomalies.php>).

В свою очередь, аномалии температуры поверхности океана через интенсивность и динамику центров действия атмосферы могут быть связаны с изменением притока солнечного тепла за счет изменения продолжительности тропического года и оборота Солнца вокруг центра массы (Федоров, 2013; Коваленко и др., 1991), а также с приливным перемешиванием вод (Смирнов и др., 2004).

Наконец, долгопериодные колебания (с периодом порядка 120 лет) также были отмечены ранее в различных районах Антарктиды (Masson et al., 2000) и, как считается, могут быть связаны с солнечной активностью и/или быть следствием изменений океанической термохалинной циркуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По вновь полученным геохимическим данным о ледяном керне из скважины 105-й км была реконструирована климатическая изменчивость в секторе моря Дей-

виса (Восточная Антарктида) за последние 250 лет (1757—2010 гг.). Ряд температуры воздуха предполагает общее потепление на 0,5 °С, что не противоречит общеантарктическому тренду. При этом наблюдается уменьшение скорости аккумуляции снега, что может объясняться как миграцией через пункт 105-й км снежных форм рельефа, так и общими климатическими изменениями.

Спектральный анализ позволил выявить периоды изменчивости климатических характеристик в пункте 105-й км длиной 6, 9, 19, 32 года и порядка 120 лет. Интересно, что в рамках 19-летнего цикла корреляционная связь температуры воздуха и изотопного состава осадков отрицательная, а в рамках коротко- и длиннопериодных циклов — положительная. Как показывают расчеты с помощью простой изотопной модели, отрицательная связь между местной температурой воздуха и изотопным составом осадков может быть обусловлена широтным смещением района формирования воздушной массы.

Есть основание полагать, что площадь морского льда в исследуемом секторе Антарктики также уменьшилась за последние 250 лет. Данное предположение подтверждается пониженным содержанием ионов натрия и повышенными значениями эксцесса дейтерия в более древних слоях керна, сформировавшихся в XIX веке.

В современную эпоху выявляется положительная связь между температурой воздуха по данным метеонаблюдений на ст. Мирный и площадью распространения морского льда восточнее исследуемого пункта (в секторе 100—120° в.д.), что, вероятно, может быть обусловлено смещением индоокеанского циклонического центра действия атмосферы.

Авторы выражают благодарность сотрудникам сезонной 33-й САЭ, принимавшим участие в бурении и получении керна, В. Я. Липенкову и Ж.М. Барнола за данные по плотности ледяного керна из скважины 105-й км, В. Заровчатскому за помощь в полевых работах, А. Козачек за содействие в лабораторных исследованиях изотопного состава, сотрудникам Лимнологического института СО РАН и лично Т.В. Ходжер, Л.П. Голобоковой и Э. Осипову за проведение химического анализа и предоставленные данные.

Работа выполнялась в рамках Проекта 2 подпрограммы «Антарктика» ФЦП «Мировой океан» и темы 1.5.4.4. ЦНТП Росгидромета «Гляциологические и изотопные исследования ледяных кернов и атмосферных осадков с целью изучения прошлых и современных изменений климата и окружающей среды полярных областей» при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-05-00607) и отдела подготовки кадров ААНИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барков Н.И. (1974). Аккумуляция снега на профиле Мирный — Восток в 1970—1973 гг. // Материалы гляциол. исследован. Вып. 24. С. 255—257.
- Екайкин А.А., Липенков В.Я., Барков Н.И., Пети Ж.Р., Стивенард М. (2000). Изменение аккумуляции снега за последние 350 лет на склоне Антарктического ледяного покрова в 200 км от обсерватории Мирный//Криосфера Земли. Т. IV, № 2. С. 57—66.
- Екайкин А.А. (2003). Метеорологический режим Центральной Антарктиды и его роль в формировании изотопного состава снежной толщи //Дис. ... канд. геогр. наук. —СПб. 170 с.
- Климат полярных районов (1973)/ Пер. А.Я. Миневич, Н.П. Подобина. —Л.: Гидрометеониздат. 444 с.
- Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М. (1991). Влияние изменчивости гравитационного поля Солнечной системы на климат Земли // Изв. ВГО. Т. 123, вып. 4. С. 328—339.
- Косенко А.В., Смирнов Н.П. (2008). Многолетняя динамика ледового покрова морей Южной полярной области и ее связь с атмосферной циркуляцией// Ученые записки РГГМУ. № 7. Гидрология. С. 81—91.

- Липенков В.Я., Екайкин А.А., Барков Н.И., Пуриш М. (1998). О связи плотности поверхностного слоя снега в Антарктиде со скоростью ветра // *Материалы гляциол. исслед.* Вып. 85. С. 148—158.
- Розанова И.В. (2006). Циклонические центры действия атмосферы, циркуляция и климат Южной полярной области во второй половине XX столетия // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. —СПб.: Изд-во РГГМУ. 30 с.
- Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. (2004). Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. —СПб.: Изд-во РГГМУ. 208 с.
- Федоров В.М. (2013). Межгодовые вариации продолжительности тропического года // *Доклады РАН. Сер. Геофизика.* Т. 451, №1. С. 1—4.
- Dansgaard W. (1964). Stable isotopes in precipitation // *Tellus.* V. 16, P. 436—468.
- Ekaykin A.A., Lipenkov V.Ya., Barkov N.I., Petit J.R., Masson-Delmotte V. (2002). Spatial and temporal variability in isotope composition of recent snow in the vicinity of Vostok Station: Implications for ice-core interpretation // *Annals of Glaciology.* V. 35. P. 181—186.
- Goose H., Braida M., Crosta X., Mairesse A., Masson-Delmotte V., Mathiot P., Neukom R., Oerter H., Philippon G., Renssen H., Stenni B., van Ommen T., Verleyen E. (2012). Antarctic temperature changes during the last millennium: evaluation of simulations and reconstructions // *Quat. Sci. Reviews.* V. 55. P. 75—90.
- Hammer C.U. (1980). Acidity of polar ice cores in relation to absolute dating, past volcanism and radioechoes // *J. Glaciology.* V. 25, No. 93. P. 359—371.
- Hammer C.U. (1983). Initial direct current in the buildup of space charges and the acidity of ice cores // *J. Phys. Chemistry.* No. 87. P. 4099—4103.
- Jouzel J., Merlivat L., Lorius C. (1982). Deuterium excess in an East Antarctic ice core suggests higher relative humidity at the oceanic surface during the last glacial maximum // *Nature.* V. 299, No. 5885. P. 688—691.
- Kaczmarzka M., Isaksson E., Karlöf L., Winther J.-G., Kohler J., Godtliobsen F., Ringstad Olsen L., Hofstede C. M., Van den Broeke M. R., Van de Wal R. S. W., Gundestrup N. (2004). Accumulation variability derived from an ice core from coastal Dronning Maud Land, Antarctica // *Annals Glaciol.* V. 39. P. 339—345.
- Masson V., Vimeux F., Jouzel J., Morgan V., Delmotte M., Ciais Ph., Hammer C., Johnsen S., Lipenkov V.Ya., Mosley-Thompson E., Petit J.-R., Steig E.J., Stievenard M., Vaikmae R. (2000). Holocene climate variability in Antarctica based on 11 ice-core isotopic records // *Quat. Res.* V. 54. P. 348—358.
- Mayewski P. A., Maasch K. A., White J. W. C., Steig E. J., Meyerson E., Goodwin I., Morgan V. I., Van Ommen T., Curran M. A. J., Souney J., Kreutz K. (2004). A 700 year record of Southern Hemisphere extratropical climate variability // *Annals Glaciol.* V. 39. P. 127—132.
- Nye J.F. (1963). Correction factor for accumulation measured by the thickness of the annual layers in an ice sheet // *J. Glaciology.* V. 4, No. 36. P. 785—788.
- Rankin A.M., Wolff E.W., Martin S. (2002). Frost flowers – implications for tropospheric chemistry and ice core interpretation // *J. Geophys. Res.* V. 107(D23). 4683. doi:10.1029/2002JD002492.
- Salamatin A.N., Ekaykin A.A., Lipenkov V.Ya. (2004). Modelling isotopic composition in precipitation in Central Antarctica // *Материалы гляциол. исслед.* Вып. 97. С. 24—34.
- Wagenbach D., Ducroz F., Mulvaney R., Keck L., Minikin A., Legrand M., Hall J.S., Wolff E.W. (1998). Seasalt aerosol in coastal Antarctic regions // *J. Geophys. Res.* V. 103 (D9). doi: 10.1029/97JD01804.
- White W.B., Peterson R.G. (1996). An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent // *Nature.* V. 380. P. 699—702.
- Wolff E.W., Rankin A.M., Röthlisberger R. (2003). An ice core indicator of Antarctic sea ice production? // *Geophys. Res. Lett.* V. 30, No. 22. doi: 10.1029/2003GL018454.

ПРИРОДА МИКРОЧАСТИЦ, ОБНАРУЖЕННЫХ В СКВАЖИНЕ ПОСЛЕ ВСКРЫТИЯ ОЗЕРА ВОСТОК

д-р геол.-минерал. наук Г.Л. ЛЕЙЧЕНКОВ¹, канд. геогр. наук В.Я. ЛИПЕНКОВ²,
научн. сотр. А.В. АНТОНОВ³, канд. биол. наук С.А. БУЛАТ⁴, д-р F. CHARLOT⁵,
канд. биол. наук И.А. АЛЕХИНА², канд. геогр. наук А.А. ЕКАЙКИН²,
научн. сотр. Б.В. БЕЛЯЦКИЙ³

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана, Санкт Петербург, e-mail: german_l@mail.ru

² ГНЦ РФ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург. e-mail: lipenkov@aari.ru, alekhina@aari.ru, ekaykin@aari.nw.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт Петербург. e-mail: anton_antonov@vsegei.ru bbelyatsky@mail.ru

⁴ ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики», НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина. e-mail: bulat@omrb.pnpi.spb.ru

⁵ Лаборатория электронной микроскопии Университета Жозефа Фурье, Гренобль

ВВЕДЕНИЕ

В феврале 2012 г. буровая скважина 5Г-2 на станции Восток на глубине 3769,3 м достигла поверхности подледникового озера. Из-за недокомпенсации давления, создаваемого буровой жидкостью, озерная вода сначала поднялась по скважине до глубины 3385 м (382 м от поверхности озера), а потом опустилась до отметки 3427 м (340 м), после чего замерзла и оказалась доступной для опробования и изучения.

После подъема бурового снаряда с последним по глубине керном конжеляционного (озерного) льда (3768,4—3769,3 м) выяснилось, что на его поверхности образовалась тонкая ячеистая корка со сгустками тонкодисперсного материала желтовато-коричневого цвета (рис. 1, см. цвет. вклейку). Образование этой корки произошло в результате замерзания на поверхности керна озерной воды, поступившей в скважину и заполнившей пространство между керном и колонковой трубой снаряда. При первом визуальном осмотре было высказано предположение о том, что тонкодисперсный материал представлен минеральными частицами, попавшими из озера.

В сезонный период 58-й РАЭ (2012/13 г.) было произведено повторное бурение скважины, в ходе которого удалось получить около 30 м керна замерзшей в скважине озерной воды. Даже при первичном изучении этих кернов стало очевидно, что озерная вода смешалась с буровой жидкостью, преимущественно представленной керосином, и поэтому дальнейшие аналитические исследования состава воды и возможного наличия в ней биомаркеров будут очень сложными, а во многом и недостоверными. При этом актуальной оставалась задача поиска минеральных микрочастиц, которые могли попасть из озера. Определение их количества, размеров и состава позволяет произвести оценку таких параметров подледникового озера Восток, как прозрачность и интенсивность водной циркуляции (на основе веса тонкодисперсного материала,

способного удерживаться течениями). С этой целью были выполнены исследования тонкодисперсного материала, отложенного на поверхности «последнего» керна озерного льда, полученного при вскрытии озера, а также произведен анализ (поиск и идентификация) минеральных частиц в кернах замерзшей в скважине озерной воды с глубин 3429 и 3448 м (путем плавления кернов, фильтрации расплавов и изучения фильтров на сканирующем электронном микроскопе). Возможность контаминации — попадания в воду частиц из буровой жидкости — контролировалась отдельным исследованием.

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной объем аналитических исследований микрочастиц из ячеистой корки на ледовом керне с глубины 3768,4—3769,3 м выполнен в Центре изотопных исследований Всероссийского научно-исследовательского геологического института (ЦИИ ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург). На раннем этапе работы в Лаборатории гляциологии и геофизики окружающей среды (ЛГГОС, г. Гренобль, Франция) на оптическом микроскопе *Olympus* были сделаны снимки частиц (рис. 2, см. цвет. вклейку). Визуальный анализ частиц показал, что их размер составляет от 10 до 50 мкм, и они имеют плоскую форму и желтовато-бурую окраску, характерную для оксидов железа (рис. 2, см. цвет. вклейку).

Для более детального определения состава и происхождения частиц в Лаборатории изменений климата и окружающей среды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ЛИКОС ААНИИ) была отобрана их новая порция путем соскабливания тонкодисперсного материала с поверхности керна вместе со льдом. Этот материал был помещен в стерильную пробирку (*Eppendorf*TM), где после плавления ледовой стружки осталась талая озерная вода с тонкодисперсной твердофазной взвесью. Все подготовительные процедуры (плавление ледниковой стружки, перенос стружки и частиц в пробирку, отделение ледниковой стружки от поверхности ледового керна) выполнялись в условиях контролируемой чистоты (аналитические боксы класса 100).

Дальнейшие аналитические исследования проводились в ЦИИ ВСЕГЕИ с помощью сканирующего электронного микроскопа *SEM CamScan MX 2500S*, оснащенного рентгеновским энергодисперсионным спектрометром *Link Pentafet (Oxford Instruments)*. Содержимое пробирки под избыточным давлением дистиллированной воды было перенесено на часовое стекло. Полученная взвесь выпаривалась под инфракрасной лампой в течение 90 минут. Сухой остаток был собран пластиковым шпателем и перемещен на токопроводящую углеродную подложку. Для обеспечения токопроводности, поверхность микропрепаратов напылялась золотом. Микрозондовое исследование (спектральный анализ) частиц проводилось без применения полировки препарата, поэтому оценка химического состава изученных частиц носит полуколичественный характер.

Подготовка препаратов, поиск и анализ микрочастиц в кернах замерзшей озерной воды были проведены в ЛИКОС ААНИИ, ЦИИ ВСЕГЕИ, ЛГГОС и Лаборатории электронной микроскопии Университета Жака Фурье (ЛЭМ УЖФ, г. Гренобль). В ЛГГОС керн льда замерзшей озерной воды с глубины 3459 м (образец 5Г-1Н №3429) был поверхностно деконтаминирован в холодном помещении (–15 °С) путем удаления поверхностного слоя ленточной пилой (протертой 96 %-ным этанолом), а затем нарезан на сегменты длиной около 10 см. Удаление остатков буровой жидкости с поверхности сегментов проводилось обмывкой пентаном.

Деконтаминированные сегменты льда в стерильных полиэтиленовых пакетах перемещали в чистые помещения (класс 10 000 с ламинарным кабинетом класса 100), где проводилось их последующее плавление и концентрирование материала с использованием центрифуги и мембранных фильтров 10 тыс. дальтон (колонки *Centriprep Plus-70*). Степень концентрирования составила 3020 раз. Для приготовления препаратов и их дальнейшего исследования на электронном микроскопе было использовано 25 мкл концентрата (в качестве препарата использовался фильтр *Nuclepore Watman*, диаметром 13 мм с размером пор 0,4 мкм). Изучение фильтров выполнялось в ЛЭМ УЖФ с использованием сканирующего электронного микроскопа *Zeiss Ultra 55* и рентгеновского микроанализатора *Bruker 127eV*.

В ЛИКОС ААНИИ был подготовлен препарат из керна длиной 37 см с глубины 3448 м (образец 5Г-1Н № 3448), состоявшего из замерзшей воды озера (на 75—85 %) и атмосферного льда, часть которого была захвачена при бурении из-за отклонения скважины от первичного ствола. Озерный лед был механически отделен от атмосферного льда, а затем обмыт этиловым спиртом и чистой дистиллированной водой (18 МОм), для удаления загрязненной поверхности. Затем керн был расплавлен (объем жидкости составил 200 мл) и отфильтрован через обеззоленный фильтр типа «красная лента» (диаметр 11 см, размер пор 10 мкм) с использованием водяного вакуумного насоса.

Для исследования буровой жидкости на наличие в ней минеральных частиц, способных привести к загрязнению озерной воды, во время сезонных работ 58-й РАЭ (январь 2013 г.) на станции Восток была взята проба с глубины 3415 м объемом 50 мл. Для подготовки препарата буровая жидкость была отфильтрована в ЛИКОС ААНИИ по той же схеме, как и талая озерная вода. Изучение осажденного на фильтрах материала выполнялось в ЦИИ ВСЕГЕИ. Перед анализом фильтры были высушены в чашке Петри в чистых условиях, предотвращавших их внешнее загрязнение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для выяснения природы мелкодисперсных частиц в корке на «последнем» керне конжеляционного льда было выполнено 135 единичных определений их элементного состава. Часть полученных результатов в качестве примера представлена в табл. 1. На рис. 3 приведен также типичный пример точечного анализа и энергетического спектра рентгеновского излучения с идентификацией элементов, а также расположение точки этого анализа на поверхности изученной частицы.

В результате исследований твердофазных частиц ледового керна установлено, что основное их количество (90—95 %) представлено оксидами железа (часто с примесью меди и цинка) и имеет техногенное происхождение. К этой же категории относятся и частицы, представленные железо-цинковыми сплавами и восстановленным железом (четыре частицы). Все эти элементы (Fe, Cu, Ni, Zn) входят в состав сплавов, из которых сделана колонковая труба и коронка снаряда, а также грузонесущий кабель.

Остальные частицы (5—10 %) представляют собой силикаты (глинисто-слюдистые минералы), корунд (Al_2O_3) размером 30×70 мкм, ильменит (FeTiO_3) размером 15×30 мкм и соединения углерода (C + O). Органические соединения на микрофотографиях, полученных на сканирующем электронном микроскопе, часто имеют нитеобразную форму или аморфное строение (см. рис. 3) и, возможно, являются полимерными образованиями искусственного происхождения. Проанализированные спектры силикатных частиц по составу наиболее близки кварцу (SiO_2), альбиту ($\text{Na[AlSi}_3\text{O}_8]$), анортоклазу

**Полуколичественный химический состав микрочастиц из корки на керне
конжеляционного льда с глубины 3768,4—3769,3 м
(данные приведены в весовых процентах химических элементов)**

№	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
1	38,72				1,27							41,56	0,55	2,86	15,04
2	13,64											76,88		3,65	5,83
3	44,07				1,34	0,59						37,26	0,55	2,34	13,85
4	13,9											71,39	1,15	5,7	7,87
5	46,72	5,08		12,88	23,4			0,34	5,33			4,33	0,58	1,35	
6	47,48			24,49								22,96		2,46	2,61
7	57,01											42,99			
8	40,44	5,46		6,62	18,91							22,92		2,62	3,02
9	46,3			5,6	11,93	0,64	1,17	1,23				26,83		3,15	3,15
10	46,79	1,5		38,44			0,83			0,57		11,87			
11	32,49											67,51			
12	74,04											25,96			
13	5,93											94,07			
14	50,28											49,72			
15												100			
16												61,14			38,86
17	55,57	7,48		7,89	26,03							3,03			
18	50,09			45,97						0,65		1,74	1,56		
19	45	1,05		37,38			0,61			0,32		11,85	2,21	1,57	
20	25,29											19,65			55,06
21												100			
22												71,12			28,88
24	53,54			43								3,46			
25	46,11		19,35		32,1							2,45			
26	50,13		20,76		29,11										
27	62,58									22,91		14,51			
28	17,15											69,49			13,36

((Na, K)Al(Si₃O₈)), андезин-лабрадориту (Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈ и энстатиту (Mg₂[Si₂O₆]). Силикаты, как правило, покрыты оксидными пленками (см. табл. 1, рис. 3). Размер силикатных частиц составляет 20—70 мкм.

Оксиды металлов (в первую очередь, железа, а строго говоря, оксидной пленки на изученных частицах, которые внутри могут иметь другой состав) образовались при взаимодействии воды с металлической колонковой трубой. При этом реакция окисления должна была произойти достаточно быстро — в течение 20 мин, прошедших с момента вскрытия озера до того как снаряд в скважине вышел из столба озерной воды в керосин. Это косвенно подтверждает предположение о высоком содержании кислорода в озере Восток (Липенков и др., 2011), но для более определенного утверждения требуется специальное исследование, так как при низкой температуре одного только повышенного

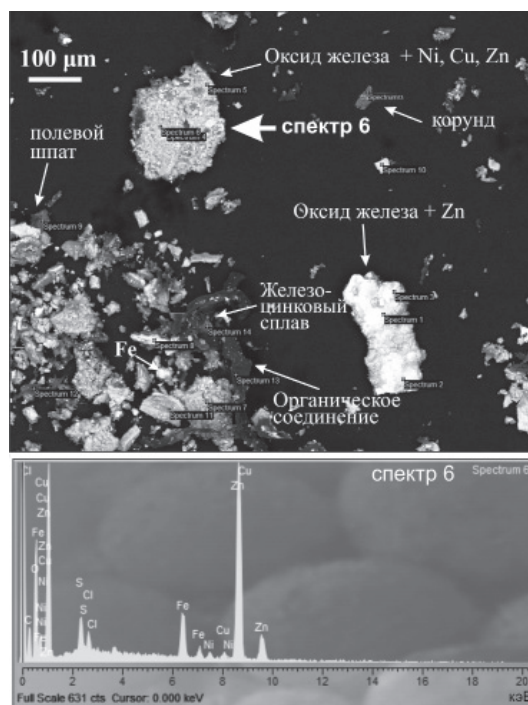


Рис. 3. Снимок частиц из корки, выполненный на электронном микроскопе и энергетический спектр рентгеновского излучения с идентификацией химических элементов.

Крестиком с указанием номера спектра показано относительное положение точек анализа элементного состава.

содержания кислорода для быстрого окисления железа, по-видимому, недостаточно, и влияние могли оказать какие-то другие, пока еще не установленные факторы.

В препаратах, изготовленных при фильтрации расплавленных кернов замерзшей в скважине воды, также были обнаружены минеральные микрочастицы. В керне с глубины 3429 м присутствовали два типа частиц: бесформенные образования кремнезема (размером до 30 мкм) — вероятнее всего, аморфного кварца (в преобладающем количестве), и кристаллы карбоната кальция, которые имеют характерную ромбоэдрическую огранку, свойственную кальциту, без следов растворения и абразии (рис. 4 и 5), что позволяет предполагать его аутигенную природу (т.е. кристаллизацию из воды).

В препарате из расплавленного керна с глубины 3448 м среди изученных частиц тоже преобладает аморфный кварц, но в виде загрязнения присутствуют и оксиды металлов (рис. 6). Некоторые частицы, вероятно, представляют собой карбонат кальция (кальцит), хотя точного определения не производилось. Наличие техногенного загрязнения связано, вероятно, с недостаточной очисткой керна, который был только лишь обмыт спиртом (а не лишен поверхностного слоя, как при приготовлении препаратов в ЛПГОС). Нельзя исключать, что кальцит, обнаруженный в кернах замерзшей воды, сформировался уже после вскрытия озера, когда вода стала подниматься по скважине, смешиваясь с буровой жидкостью, и существенно изменились физико-химические условия в контаминированной водной среде (с возможным катализирующим влиянием керосина и фреона). Так или иначе, наличие карбоната кальция может

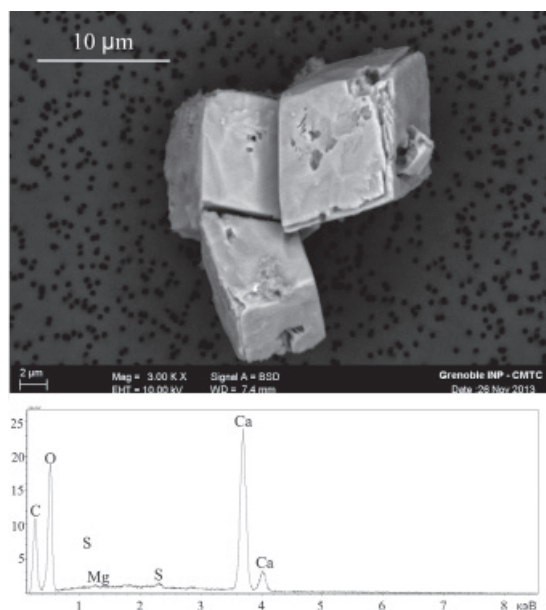


Рис. 4. Снимок кристалла карбоната кальция (кальцита), выполненный на электронном микроскопе, и энергетический спектр рентгеновского излучения с идентификацией химических элементов (из керна с глубины 3429 м).

По вертикальной оси на этом и следующем рисунках отложено число импульсов рентгеновского излучения за секунду, которое определяет интенсивность излучения и соответственно является количественной характеристикой содержания химического элемента.

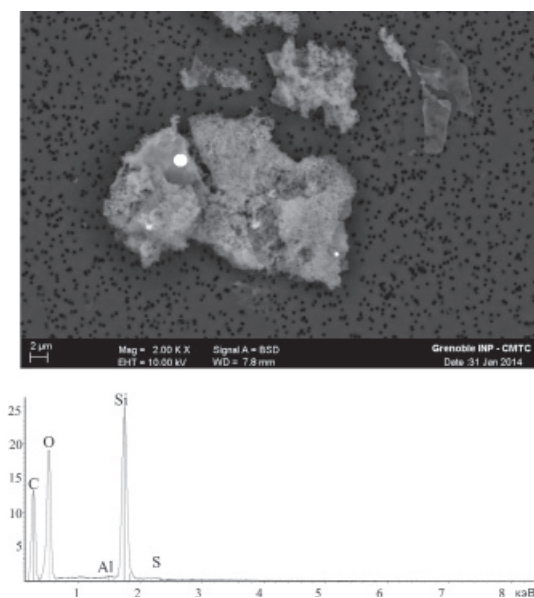


Рис. 5. Снимок кремнезема, выполненный на электронном микроскопе, и энергетический спектр рентгеновского излучения с идентификацией химических элементов (из керна с глубины 3429 м).

Белый кружок — участок изучения элементного состава частицы рентгеновским микроанализатором.

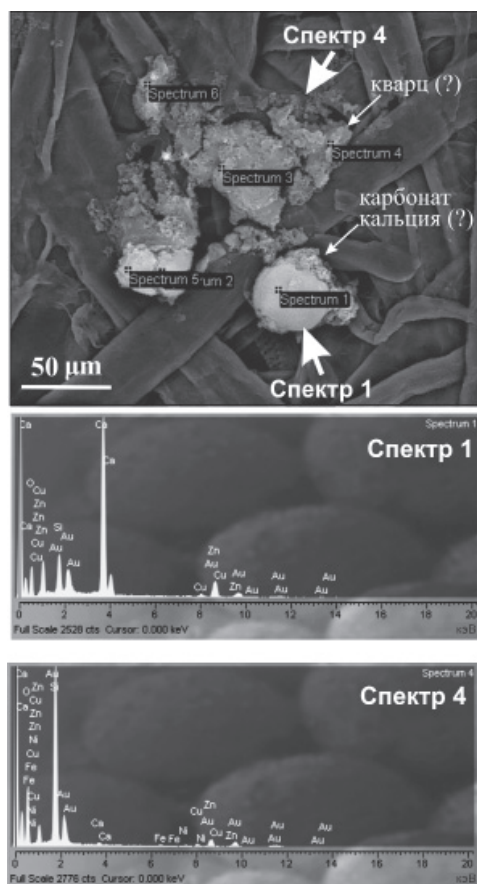


Рис. 6. Снимок микрочастиц, выполненный на электронном микроскопе, и энергетический спектр рентгеновского излучения с идентификацией химических элементов (из ядра с глубины 3448 м).

Отмечается техногенное загрязнение окислами металлов.

свидетельствовать о том, что вода озера в значительной степени насыщена ионами Ca^{2+} (т.е. достаточно жесткая).

Обнаруженные природные минералы могли попасть в изучаемый материал тремя путями: из озерной воды, из бурового раствора и со стенок скважины, когда поступающая вода проходила через толщу конгеляционного льда 1 (интервал глубин 3539—3609 м, озерный лед, тип 1), насыщенную минеральными включениями (рыхлыми агрегатами), и захватывала зерна минералов со стенок скважины. Изучение буровой жидкости показало, что в ней тоже имеются микрочастицы, но в их составе преобладают оксиды металлов (железа, цинка, никеля и меди), свидетельствующие о техногенном загрязнении жидкости в процессе бурения, и отсутствуют литофильные элементы, такие как кремний, магний и алюминий.

Количество минеральных включений, обнаженных в стенках скважины, весьма незначительно (по нашей оценке, общая площадь их срезов не превышает 1 см^2). Кроме того, при отрицательной температуре в скважине (около -7°C) они достаточно прочно сцементированы, поэтому кратковременное воздействие поднимавшегося вод-

ного потока вряд ли вызвало заметную эрозию включений и поступление значимого количества минеральных обломков в воду. Таким образом, в качестве наиболее вероятного источника минеральных частиц рассматривается подледниковая водная среда.

Обращает на себя внимание заметное различие состава частиц на поверхности керна конжеляционного льда и в кернах замерзшей в скважине воды. Возможно, это связано с разделением взвешенного в воде вещества по массе при попадании озерной воды в колонковую трубу и в ствол скважины. В корке на «последнем» керне могла оказаться смешанная фракция (в большей мере соответствующая взвеси в воде озера) с тяжелыми минералами (такими как корунд, ильменит, энстатит, плотность которых превышает $3,0 \text{ г/см}^3$), а при подъеме воды в скважине произошло расслоение, и более легкие кварц и кальцит (плотность $2,6\text{—}2,7 \text{ г/см}^3$) оказались в верхней части водного столба до его замерзания.

Наличие тонкодисперсного взвешенного материала в водной толще озера допущается моделированием водной циркуляции в озере Восток (Казко и др., 2012). В указанной работе максимальный размер частиц, способных находится во взвеси при вычисленной скорости течений, составляет не более 8 мкм, тогда как идентифицированные минеральные частицы достигают размера более 20 мкм (см. рис. 3 и 5). Это означает, что интенсивность водных течений может быть значительно выше, чем в предлагаемой модели, т.е. реальные параметры водной толщи, такие как температура и минерализация, отличаются от заданных в модели (Казко и др., 2012).

В заключение следует подчеркнуть, что проведенные исследования все же не позволяют однозначно идентифицировать источник минеральных частиц. Остается вероятность, что какой-то из рассмотренных факторов внешней контаминации остался недооцененным (так, например, минералы, которые выявлены на корке, идентифицировались ранее и в минеральных включениях, встречающихся в озерном льду 1 (Лейченков и др., 2011)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование мелких минеральных частиц, обнаруженных на поверхности керна конжеляционного льда с глубины 3768,4—3769,3 м, свидетельствует о том, что они на 85—90 % представлены оксидами железа с примесью никеля, цинка и меди и имеют техногенное происхождение. Их образование, вероятно, обусловлено соприкосновением воды с металлической буровой коронкой. Оставшиеся 5—10 % частиц представляют собой преимущественно силикаты глинистой и алевритовой размерности (до 70 мкм). В кернах замерзшей воды присутствуют частицы кварца размером до 30 мкм и карбоната кальция (идентифицируемого как кальцит) размером около 10 мкм. Карбонат кальция мог кристаллизоваться уже после проникновения воды в скважину.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы (все они относятся к верхней части водной толщи под станцией Восток):

1) исходя из крайне незначительного количества взвешенных частиц в воде, которая поступила в скважину, можно заключить, что озеро обладает очень высокой прозрачностью;

2) быстрое окисление бурового снаряда свидетельствует об относительно высоком содержании кислорода в воде озера;

3) вода не является абсолютно пресной; она содержит достаточное количество ионов Ca^{2+} , необходимых для кристаллизации карбоната кальция (кальцита); если

кристалл кальцита (см. рис. 4) попал в скважину из озерной воды, то его образование может быть связано с гидротермальной деятельностью;

4) наличие частиц размером более 20 м, свидетельствует о более интенсивной водной циркуляции, чем предсказывалось ранее моделированием.

Авторы благодарят Н.И. Васильева, который руководил бурением на станции Восток в 57-й и 58-й РАЭ, и весь состав бурового отряда. Мы также признательны Жану Роберу Пети (Jean Robert Petit, ЛГГОС) за помощь в приготовлении образцов для анализа на сканирующем микроскопе и Жану Мартину (Jean Martins, ЛЭМ УЖФ) за содействие в проведении анализов и обсуждение результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Казко Г.В., Саватюгин Л.М., Сократова И.Н. (2012). Моделирование циркуляции воды в антарктическом подледниковом озере Восток // Лед и снег. № 4. С. 86—91.

Лейченко Г.Л., Беляцкий Б.В., Антонов А.В., Родионов Н.В. (2011). Первые сведения о геологическом строении центральной Антарктиды, основанные на результатах изучения минеральных включений в ледяных ядрах скважины на станции Восток // Доклады РАН. Т. 440. № 1. С. 77—81.

Липенков В.Я., Лукин В.В., Булат С.А., Васильев Н.И., Екайкин А.А., Лейченко Г.Л., Маслов В.Н., Попов С.В., Саватюгин Л.М., Саламатин А.Н., Шибанов Ю.А. (2011). Итоги исследования подледникового озера Восток в период МПГ // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Полярная криосфера и воды суши. —Москва: Paulsen, с. 17—47.

ПАМЯТИ Ю.А. ИЗРАЭЛЯ
(1930—2014)



23 января 2014 г. на 84-м году жизни скончался Юрий Антониевич Израэль, выдающийся ученый, организатор науки и государственный деятель, академик РАН, президент Российской экологической академии, организатор и директор до 2011 г. Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, руководитель Гидрометслужбы страны в 1974—1991 гг.

Юрий Антониевич родился 15 мая 1930 г. в Ташкенте. Окончив в 1953 г. Среднеазиатский государственный университет, он сначала работал в Геофизическом институте, а затем в Институте прикладной геофизики Академии наук СССР. Пройдя все ступени научной карьеры — от младшего научного сотрудника до директора института. В 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1969 г. — докторскую. В 1974 г. был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1994 г. — действительным членом Российской академии наук. В 1969—1972 гг. возглавлял Институт прикладной геофизики АН СССР. В 1971 г. стал первым заместителем, а с 1974 г. — начальником Главного управления Гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР (ГУГМС). С 1978 по 1991 г. был председателем Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю окружающей среды (Госкомгидромет), в организации которого принял активное и решающее участие. С 1978 по 1988 г. являлся депутатом Верховного Совета СССР.

В 1996—2002 гг. Ю.А. Израэль — академик-секретарь Отделения океанологии, физики атмосферы и географии РАН. В 2001 г. он был избран президентом Российской экологической академии. Занимал посты вице-президента Всемирной метеорологической организации и вице-председателя Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В составе делегации МГЭИК в 2007 г. получал Нобелевскую премию мира, присужденную Норвежским нобелевским комитетом. В 1989 г. организовал и с 1990 по 2011 г. являлся директором Института глобального

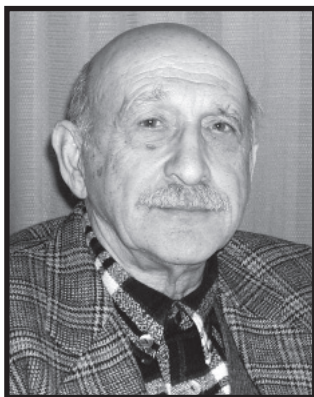
климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук.

Ю.А. Израэль награжден орденами Ленина (1986 г.), Октябрьской революции (1980 г.), Трудового Красного Знамени (1956 и 1978 гг.), «За заслуги перед Отечеством» 4-й степени (1999 г.), «За заслуги перед Отечеством» 3-й степени (2004 г.), «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени (2010 г.), Почетной грамотой Правительства Российской Федерации (2000 г.), польским орденом «Командора со звездой»; имеет Благодарность Президента Российской Федерации (2003 г.). Ю.А. Израэлю присуждены многие научные награды: Государственная премия в области охраны окружающей среды (1981 г.); Золотая медаль АН СССР им. В.Н. Сукачева за выдающуюся работу в области экологии (1983 г.); Премия им. Е.К. Федорова (1984, 1991, 1997 и 2010 гг.); золотая медаль Международного центра «Этторе Майораны» (Италия, 1990 г.); премия ООН — ЮНЕП по окружающей среде им. Сасакавы (1992 г.); золотая медаль и премия ВМО (1992 г.); почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

Возглавляя Госкомгидромет, Юрий Антониевич уделял много внимания исследованиям в Арктике и Антарктике, неоднократно посещал дрейфующие станции «Северный полюс», антарктические станции, наш Институт, помогал в организации крупных полярных проектов.

Память о Юрии Антониевиче Израэле, выдающемся ученом, организаторе и руководителе отечественной гидрометеорологии, всегда будет с нами.

ПАМЯТИ З.М. ГУДКОВИЧА
(1930—2014)



16 января 2014 г. на 89-м году жизни после тяжелой и продолжительной болезни скончался выдающийся полярный исследователь и ученый, Заслуженный деятель науки РФ, доктор географических наук, профессор Залман Менделеевич Гудкович.

Залман Менделеевич родился 5 февраля 1925 г. в Витебске в семье рабочих. Свой трудовой путь он начал подростком в годы Великой Отечественной войны рабочим на Саратовском авиационном заводе; одновременно учился в авиационном техникуме. По окончании техникума в 1944—1945 гг. работал технологом и конструктором на том же заводе.

В 1945 г. З.М. Гудкович окончил 1-й курс Всесоюзного заочного индустриального института, а осенью того же года поступил на 2-й курс Высшего арктического мореходного училища (впоследствии ЛВИМУ им. адмирала С.О. Макарова), которое окончил с отличием в 1949 г.

По окончании училища З.М. Гудкович становится сотрудником Арктического института и вскоре (1950—1951 гг.) принимает участие в работе научного коллектива героического дрейфа в Арктическом бассейне легендарной станции «Северный полюс-2».

В 1955 г., закончив аспирантуру, З.М. Гудкович успешно защищает кандидатскую диссертацию и возглавляет научную группу на дрейфующей станции «Северный полюс-5». В списке его экспедиционных исследований многие высокоширотные экспедиции «Север» с посадками самолетов на лед Арктического бассейна, неоднократные облеты арктических морей в ледовой авиаразведке.

В 1976 г. он возглавляет экспедицию «ПОЛЭКС-Север» (Яна), целью которой является исследование взаимодействия океана и атмосферы в районе моря Лаптевых.

В 1972 г. под руководством З.М. Гудковича и при его участии коллективом авторов опубликована монография «Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов

для арктических морей», ставшая для последующих поколений специалистов фундаментальной основой в развитии методов ледовых прогнозов. В 1974 г. З.М. Гудкович защищает докторскую диссертацию, явившуюся обобщающим фундаментальным трудом в области закономерностей дрейфа льда в Северном Ледовитом океане. В середине 1980-х годов под его руководством была создана одна из первых динамико-термодинамических моделей эволюции ледяного покрова, ставшая основой для прогностической модели распределения льда в арктических морях.

Круг научных интересов Залмана Менделеевича был необычайно широк. Обладая обширными и глубокими знаниями в области океанологии, ледоведения и в смежных науках (метеорологии, климатологии, геофизике), З.М. Гудкович стал создателем и лидером отечественной научной школы динамики ледяного покрова. З.М. Гудкович — один из немногих ученых, создавших научный фундамент Арктического и антарктического научно-исследовательского института, благодаря которому Институт получил широкую известность и в стране, и за рубежом. Результаты научной деятельности З.М. Гудковича опубликованы более чем в 200 научных работах, в том числе в нескольких монографиях.

Лауреат премии М.Ю. Шокальского в области океанологии, Почетный полярник, Заслуженный работник Гидрометслужбы З.М. Гудкович награжден орденами Ленина (1952 г.), Знак Почета (1956 г.), Орденом Почета (1995 г.).

За выдающиеся заслуги в области исследования полярных областей и многолетнюю плодотворную работу Залману Менделеевичу Гудковичу в июле 2010 г. было присвоено почетное звание «Заслуженного деятеля науки РФ».

Более шестидесяти лет Залман Менделеевич Гудкович верой и правдой служил полярной науке, на его счету множество оригинальных идей, открытий, крупных научных обобщений. Много и успешно занимаясь разработкой теоретических вопросов, он всегда опирался на факты, и поэтому все его выводы адекватны природе и имеют важное научное и практическое значение.

Свои научные степени, почетные звания, государственные награды Залман Менделеевич заслужили только своим талантом, трудом, и любые иные способы достижения целей для него были абсолютно неприемлемыми.

Настоящий Ученый Залман Менделеевич Гудкович всегда служил Истине и как настоящий Учитель щедро делился своими знаниями с коллегами и с молодыми сотрудниками.

До конца своих дней, как и в молодые годы, ему была свойственна юношеская любознательность, огромное трудолюбие. Его глубокая научная эрудиция и творческое долголетие всегда вызывали удивление и восхищение!

Залман Менделеевич был исключительно доброжелательным, сердечным и очень скромным и открытым человеком. Все это привлекало к нему людей, у него всегда можно найти поддержку и помощь, причем не только в профессиональных вопросах. Все эти качества снискали Залману Менделеевичу глубокую признательность, искреннее уважение и любовь друзей, ближайших коллег и многих сотрудников института.

Светлая память о Залмане Менделеевиче сохранится в наших сердцах.

Российская антарктическая экспедиция на рубеже веков. Связь времен и поколений. Лукин В.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 22—40.

Рассматриваются причины организации постоянно действующей национальной антарктической экспедиции нашей страны. В публикации используются неизвестные ранее архивные материалы. Анализируется геополитическая ситуация периода «холодной войны», побудившая к созданию в 1955 г. Комплексной антарктической экспедиции СССР. Предлагается разделить период деятельности СССР — Российской Федерации в Антарктике на три этапа: рекогносцировочный (1955—1969 гг.), ресурсный (1970—1991 гг.) и современный (с 1992 г. по настоящее время). Уделяется внимание разработке нормативно-правовых документов, определяющих основные направления практической деятельности нашей страны в Антарктике и ее финансовое обеспечение, а также соответствие действующим нормам международного права. Подчеркивается, что за весь 59-летний период деятельности КАЭ—САЭ—РАЭ сохраняется политическая, научная и логистическая преемственность в принятии основополагающих решений по дальнейшему стратегическому развитию деятельности России в Южно-полярном регионе.

Ключевые слова: СССР и Россия в Антарктике, геополитические интересы, КАЭ, САЭ, РАЭ, антарктические станции и сезонные базы, морские и воздушные суда, нормативно-правовые документы.

Табл. 1. Библ. 10.

Исследования взаимодействия океана и атмосферы в северной полярной области по программам крупномасштабных натурных экспериментов НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы» в 1960—1980-е годы. Алексеев Г.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 41—52.

Представлена краткая история развития и выполнения программ крупномасштабных натурных экспериментов в Северном Ледовитом океане и на прилегающих акваториях Северной Атлантики и Тихого океана, предлагавшихся и выполнявшихся в ААНИИ под руководством А.Ф. Трёшникова. Прослежена их эволюция от «Натурного эксперимента по проблеме взаимодействия океана и атмосферы» (НЭВ, 1967—1970 гг.) к программе «Полярный эксперимент» (ПОЛЭКС, 1971—1981 гг.), затем к программе «ПОЛЭКС-Север/Разрезы» (1981—1989 гг.). Особо отмечен крупнейший натурный эксперимент в Северной полярной области «ПОЛЭКС-Север-76». Кратко показаны некоторые из основных результатов экспедиционных натурных исследований в 1960—1980-е годы.

Ключевые слова: А.Ф. Трёшников, взаимодействие океана и атмосферы, натурные эксперименты, 1960—1980-е годы.

Ил. 5. Библ. 46.

Процессы турбулентного энергообмена на границе морской лед — атмосфера по историческим данным и данным дрейфующих станций «Северный полюс - 35» и «Северный полюс-39». Макштас А.П., Тимачев В.Ф., Соколов В.Т., Кустов В.Ю., Говорина И.А. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 53—64.

Описан разработанный на основе современных параметризаций метод расчета турбулентных потоков тепла в приледном слое атмосферы. Валидация метода выполнена по данным прямых наблюдений, проведенных на дрейфующей станции SHEBA. На основе данных метеорологических наблюдений, проведенных на дрейфующих станциях «Северный полюс-35» и «Северный полюс-39», опубликованным историческим данным дрейфующей станции «Северный полюс-4» и модельным оценкам проведен предварительный анализ пространственно-временной изменчивости характеристик турбулентного энергообмена в различных районах Северного Ледовитого океана. В рамках анализа среднемесячных и ежечасных значений турбулентных потоков явного и скрытого тепла выявлена особенность годового цикла процессов турбулентного энергообмена в районе проходившего на северной периферии Карского и Баренцева морей дрейфа станции «Северный полюс-35».

Ключевые слова: метод расчета вертикальных турбулентных потоков тепла, приледный слой атмосферы, дрейфующая станция, метеорологические наблюдения.

Табл. 4. Ил. 4. Библ. 24.

УДК 551.46.06(269)“451.40”

Исследования Южного океана по научным программам ААНИИ: от программы «ПОЛЭКС-Юг» до ФЦП «Мировой океан». Антипов Н.Н., Данилов А.И., Клепиков А.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 65—85.

Девять крупномасштабных натурных экспериментов по исследованию Антарктического циркумполярного течения, выполненные в период с 1975 по 1986 г. в рамках программы «ПОЛЭКС-Юг», заложили основу современных фундаментальных знаний о режиме вод Южного океана. Изложена история организации, проведения и основные научные результаты этих экспедиций, а также состояние и результаты экспедиционных исследований Южного океана специалистами ААНИИ в течение двух последних десятилетий.

Ключевые слова: Антарктика, Полярный эксперимент, Южный океан.

Ил. 3. Библ. 31.

УДК 551.326.7(269)

Антарктический припай — эффективный показатель характера развития ледовых процессов в Южном океане. Коротков А.И., Кашин С.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 86—101.

Припайный лед является синонимом повышенной ледовитости и сложных условий проведения морских операций. Однолетний припай в Антарктике в новом тысячелетии обнаруживает тенденцию уменьшения толщины при одновременном отдалении сроков разрушения вплоть до сохранения не взломанным. Это представляется основным механизмом наблюдаемого в Южном океане повышения ледовитости и сопутствующего ухудшения условий плавания, которые обусловлены увеличением количества старого льда из-за развития многолетнего припая. Выделяются два его главных вида, определяемых океанографическими условиями: равновесным состоянием около 2—2,5 м и перманентным нарастанием вплоть до превращения в шельфовый ледник.

Ключевые слова: Антарктика, припай, толщина, сроки взлома, ледовитость, условия плавания, современная тенденция.

Табл. 2. Ил. 10. Библ. 19.

Климатическая изменчивость в секторе моря Дейвиса (Восточная Антарктида) за последние 250 лет по данным геохимических исследований ледяного керна из скважины 105-й км. Владимирова Д.О., Екайкин А.А. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 102—113.

Представлены результаты реконструкции температуры воздуха и скорости снегонакопления в секторе моря Дейвиса (Восточная Антарктида) за последние 250 лет по данным геохимических исследований ледяного керна из скважины 105-й км (105-й км трассы Мирный — Восток) в интервале глубин 3—109 м. Датировка керна выполнена на основании подсчета годовых слоев в профиле изотопного состава (δD и $\delta^{18}O$) льда, что позволило реконструировать скорость снегонакопления с использованием данных о плотности керна. Ряд изотопного состава был преобразован в ряд температуры воздуха путем сопоставления с результатами метеорологических наблюдений в обсерватории Мирный. Вновь полученные данные демонстрируют потепление на 0,5 °C за последние 250 лет и снижение скорости снегонакопления, по крайней мере, с середины XIX столетия. Обнаружено, что климатические характеристики имеют циклические колебания с периодами 6, 9, 19, 32 и порядка 120 лет.

Ключевые слова: Антарктида, климатическая изменчивость, изотопный состав, палеоклимат, аккумуляция снега, температура воздуха, ледяные керны.

Табл. 1. Ил. 6. Библ. 25.

Природа микрочастиц, обнаруженных в скважине после вскрытия озера Восток. Лейченко Г.Л., Липенков В.Я., Антонов А.В., Булат С.А., Charlot F., Алёхина И.А., Екайкин А.А., Беляцкий Б.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (99). 2014. С. 114—123.

Проведено исследование микрочастиц, обнаруженных на поверхности последнего по глубине керна конгеляционного льда, поднятого после того как скважина достигла поверхности озера Восток, и в кернах озерной воды, которая заполнила скважину и замерзла. На поверхности керна конгеляционного льда частицы в основном представляют собой оксиды железа и имеют техногенное происхождение, но некоторая их часть сложена силикатами глинистой и алевритовой размерности, которые могли попасть в скважину из водной толщи озера. В кернах замерзшей воды присутствуют частицы кварца размером до 30 мкм и карбоната кальция размером около 10 мкм.

Ключевые слова: Антарктида, подледниковое озеро Восток, ледовые керны, электронная микроскопия, минералы, химические элементы.

Табл. 1. Ил. 6. Библ. 3.

Russian Antarctic Expedition at the turn of the century. Relation of times and generations. Lukin V.V. Problems of Arctic and Antarctic. № 1 (99). 2014. P. 22—40.

The article considers the reasons to set up a permanent national Antarctic expedition of our country. Some unknown earlier archive records were used in the publication. Geopolitical situation of the “cold war” period which stimulated the development of the USSR Complex Antarctic Expedition in 1955 is analyzed. It is proposed to divide the activities of the USSR — Russian Federation in Antarctica into stages as follows – reconnaissance period (1955—1969), resource period (1970—1991) and current period (from 1992 until present day). Considerable attention is given to the development of legal documents governing the general directions of Russian activities in Antarctica, their financial support as well as their compliance with active norms of international law. It is underlined that during the whole 59-year period of CAE—SAE—RAE activities the political, scientific and logistic continuity in the basic decision adoption on further strategy of Russian activities in Antarctica remains invariable.

Keywords: USSR and Russia in Antarctica, geopolitical interests, CAE, SAE, RAE, Antarctic stations and seasonal bases, ships and aircraft, legal documents.

Tab. 1. Ref. 10.

UDC 551.46: 551.465.7

Studies of the Ocean and Atmosphere interaction in the North polar area on programs of the large scale field experiments “FEI”, “POLEX-Sever”, “SECTIONS” in 1960–1980s. Alekseev G.V. Problems of Arctic and Antarctic. № 1 (99). 2014. P. 41—52.

A brief history of large scale field observations in the North Icy Ocean and adjacent the Northern Atlantic and North Pacific under leadership A.F. Treshnikov is presented. The evolution from first “Field experiment on interaction of the ocean and atmosphere” (FEI, 1967—1970) to the program “Polar experiment” (POLEX-Sever, 1971—1981) and then to the program “POLEX-Sever/Sections” (1981–1989) is traced. Specific attention to the largest field experiment in the North Polar Area “POLEX-Sever-76” is attended. Some important results of the large scale field studies in 1960–1980s are shown.

Keywords: A.F. Treshnikov, ocean and atmosphere interactions, field observations, 1960—1980s.

Fig. 5. Ref. 46.

UDC 551.511.6:536:551.326(268)

Turbulent energy exchange Processes on the boundary of Sea ice — atmosphere on historical data and data of drifting stations “North Pole-35” and “North Pole-39”. Makshtas A.P., Timachev V.F., Sokolov V.T., Kustov V.Yu., Govorina I.A. Problems of Arctic and Antarctic. № 1 (99). 2014. P. 53—64.

The method for calculations of turbulent heat fluxes in the atmospheric surface layer, based on the modern parametrizations, is described. Validation of the method is executed with data of direct measurements fulfilled at the drifting station SHEBA. On the basis of data from meteorological observations at the drifting stations “North Pole-35” and “North Pole-39”, published historical data of drifting station “North Pole-4” and the model estimations preliminary analysis of spatial - temporal variability of turbulent energy exchange in the different regions of the Arctic Ocean is presented. The analysis of monthly and hourly values of sensible and latent turbulent heat fluxes reveals peculiarities of the annual cycle of turbulent energy exchange in the area at the northern periphery of the Barents and Kara seas, where the drift of station “North Pole-35” had place.

Keywords: method for calculation of vertical turbulent heat fluxes, atmospheric surface layer, drifting station, meteorological observations.

Tab. 4. Fig. 4. Ref. 24.

Studies of the Southern Ocean within the AARI scientific programmes: from POLEX-South programme to FTP “The World Ocean”. Antipov N.N., Danilov A.I., Klepikov A.V. Problems of Arctic and Antarctic. № 1 (99). 2014. P. 65—85.

Nine large-scale field experiments to study the Antarctic Circumpolar Current, made between 1975 and 1986 under the “POLEX-South” programme, provided with the base of modern fundamental knowledge on the water mass structure and the circulation of the Southern Ocean. The history of the organization, implementation and the main results of these expeditions, as well as the results of research expeditions in the Southern Ocean obtained by the AARI scientists over the past two decades.

Keywords: Antarctica, Polar experiment, Southern Ocean.

Fig. 3. Ref. 31.

Antarctic fast ice as an effective indicator of the development of ice processes in the Southern Ocean. Korotkov A.I., Kashin S.V. Problems of Arctic and Antarctic. № 1 (99). 2014. P. 86—101.

Fast ice is the indicator of the sea ice extent and conditions of sailing in the Antarctic waters. The one-year fast ice in the Antarctic in the new millennium demonstrates the tendency of reducing of the thickness while the date of its breaking moves forward up to situation of no breaking. It seems the main mechanism for the observed increase in the Southern Ocean ice cover and the related worsening of the conditions of navigation is the increase of the amount of multi-year ice due to the development of the multi-year fast ice. There are two main types of the fast ice development depending from the oceanographic conditions: the equilibrium state of about 2—2,5 m thick and permanent growth of the ice thickness up to its transformations into the ice shelf.

Keywords: Antarctica, fast ice, thickness, dates of breaking the fast ice, sea ice extent, conditions of navigation, current trend.

Tab. 2. Fig. 10. Ref. 19.

Climatic variability in Davis Sea sector (East Antarctica) over the past 250 years based on the 105 km ice core geochemical data. Vladimirova D.O., Ekaykin A.A. Problems of Arctic and Antarctic. № 1 (99). 2014. P. 102—113.

In this study we present the air temperature and snow accumulation rate reconstruction in the Davis sea sector of East Antarctica over the past 250 years based on the geochemical investigations of the ice core from 105 km borehole (105 km inland from Mirny Station) drilled in 1988. The core was dated by the counting of the annual layers in the stable water isotope content (δD and $\delta^{18}O$) profile and using the absolute date marker (Tambora volcano layer). The accumulation values were deduced from the thickness of the layers multiplied by the core density. The isotope content was transformed into the air temperature by comparing to the instrumental meteorological data from Mirny station. The reconstructed temperature series demonstrates a 0,5 °C warming over the last 250 years and the snow accumulation rate decreasing at least since the middle of the XIXth century. The climatic characteristics demonstrate cyclic variability with the periods of 6, 9, 19, 32 and about 120 years.

Keywords: Antarctica, climate variability, isotopic composition, paleoclimate, snow accumulation, air temperature, ice cores.

The nature of microparticles found the borehole after unsealing of lake Vostok. Leychenkov G.L., Lipenkov V.Ya., Antonov A.V., Bulat S.A., Charlot F., Alyokhina I.A., Ekaykin A.A., Belyatsky B.V. Problems of Arctic and Antarctic. P. 114—123.

After unsealing of Lake Vostok by drilling in 2012 (at depth of 3769,3 m), the lake water was risen few hundred meters into the borehole and then frozen. The deepest ice core of the accreted ice (3768,4—3769,3 m), retrieved from the well was covered with brownish film-like deposit which formed as a result of lake water penetration between the drilling bit and the ice core. Optical studies showed that this deposit consists of microparticles of up to 70 mkm across. For definition of nature and origin of these particles they were studied using SEM and X-ray microprobe. Based on this study, it was established that most of particles (85—90 %) are metal oxides and has technogenic origin. Other particles (5—10 %) are represented by silicates and clasts of quartz, corundum and ilmenite which range from 10 to 70 mkm in size. In 2013, the frozen water was sampled. SEM and microprobe analyses discovered quartz and calcium carbonate in the cores of frozen water. All mineral microparticles are proposed to come from the lake indicate the existence of fine-grained suspension and water circulation at least in the uppermost lake water layer.

Keywords: Antarctica, Subglacial Lake Vostok, ice cores, Electron microscope, minerals, chemical elements.

Tab. 1. Fig. 6. Ref. 3.

Сборник научных статей
ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ
№ 1 (99)

Подписано в печать 20.03.2014
Формат 70×100 1/16
Тираж 200

Печать офсетная
Усл. печ. л. 10,9
Заказ №

Типография издательства Политехнического университета
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

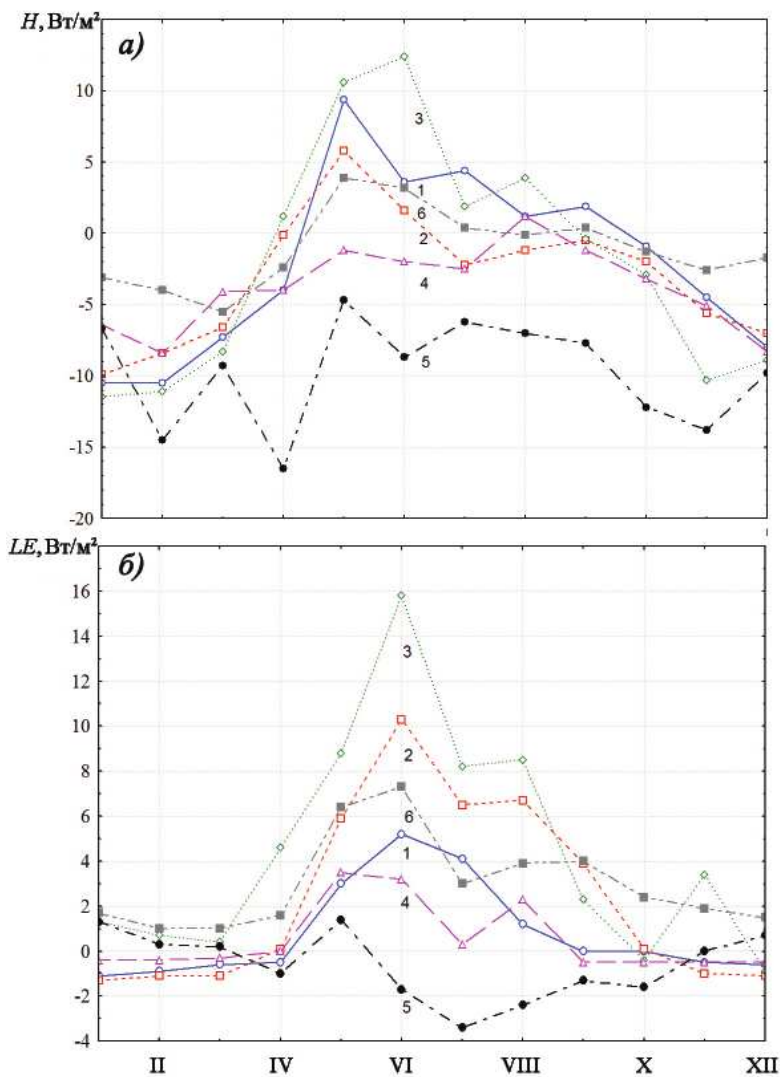


Рис. 3. Среднемесячные значения турбулентных потоков явного (а) и скрытого (б) тепла в приземном слое атмосферы по данным наблюдений и результатам расчетов по моделям.
1 — Назинцев, 1964; 2 — Lindsey, Makshtas, 2002; 3 — Jourdan et al., 1999; 4 — SHEBA; 5 — СП-35 и СП-39.



Рис. 3. НЭС «Академик Трешников» во льдах залива Маргерит, море Беллингаузена.

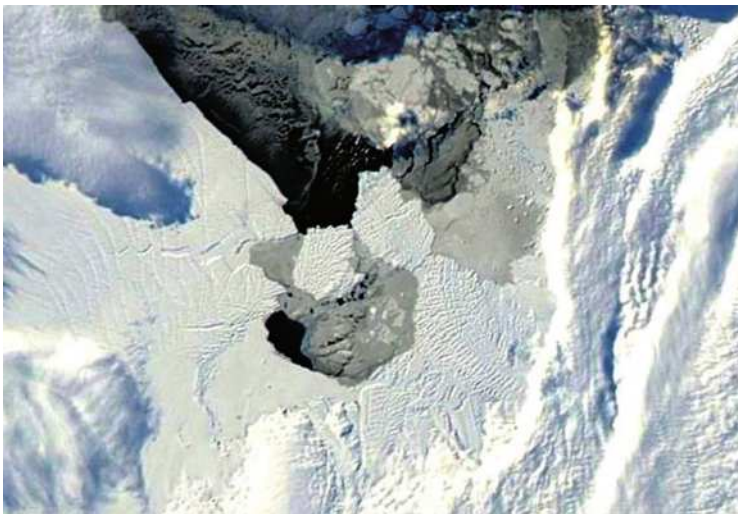


Рис. 5. Закупорка айсбергом ледника Паблейкешен горла бухты Саннефьорд 7 апреля 2013 г.



Рис. 1. Фрагмент керна конжеляционного льда с глубины 3769,2—3769,3 м с коркой, образованной замерзшей озерной водой и содержащей минеральные частицы.

Фотография сделана на станции Восток 5 февраля 2012 г.

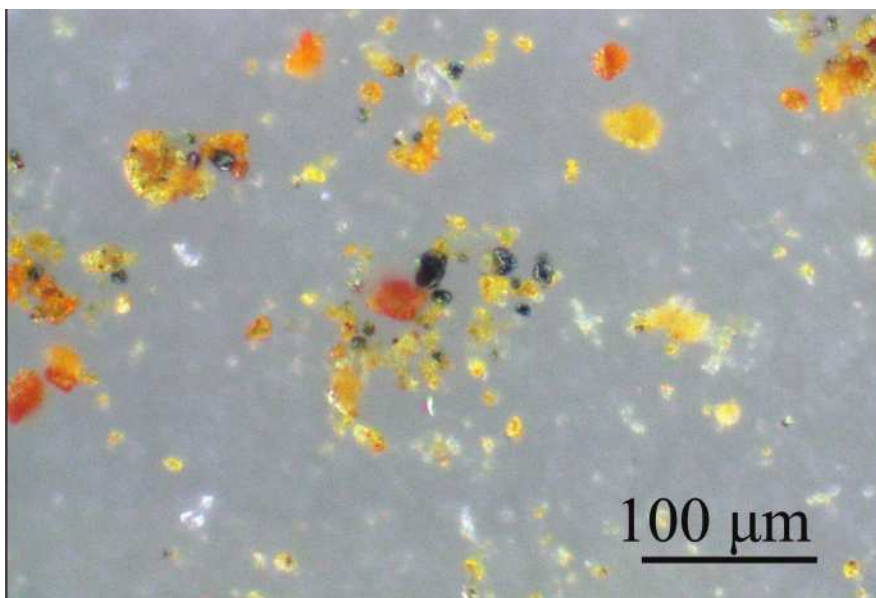


Рис. 2. Минеральные частицы в оптическом микроскопе.

Фотография сделана Ж.Р. Пети в ЛГГОС.