

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ РАБОТ
ПО ПОДПРОГРАММЕ «ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
АНТАРКТИКИ» ФЦП «МИРОВОЙ ОКЕАН»**

*канд. физ.-мат. наук А.В. КЛЕПИКОВ¹, канд. физ.-мат. наук А.И. ДАНИЛОВ¹,
канд. геогр. наук В.Я. ЛИПЕНКОВ¹, д-р геол.-минерал. наук Г.Л. ЛЕЙЧЕНКОВ^{2,3},
канд. биол. наук А.В. НЕЕЛОВ⁴*

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: kler@aari.ru

² – ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, e-mail: german_l@mail.ru

³ – Санкт-Петербургский государственный университет

⁴ – Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, e-mail: smiris@zin.ru

В статье приводится обзор основных научных результатов, полученных в ходе выполнения подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан». Это результаты российских исследований океана, атмосферы, подледниковых озер, литосферы и экосистем Антарктики.

Ключевые слова: Антарктика, климат, литосфера, подледниковое озеро, экосистемы, Южный океан.

В 2013 г. завершились работы по подпрограмме «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан», начатые в 1999 г. За пятнадцатилетний период подпрограмма стала координирующей основой российских научных антарктических исследований, обусловила межведомственный характер исследований, объединила главные направления деятельности России в Антарктике, способствовала сохранению сложившихся за годы научных коллективов.

За эти годы получены новые данные о состоянии природы региона, определены параметры современного климата Антарктики, исследован видовой состав, таксономическая и трофическая структура морских, пресноводных и наземных биоценозов Антарктики, созданы геолого-геофизические карты. К наиболее важным результатам можно отнести итоги комплексных исследований подледникового озера Восток, включая первое проникновение в озеро, которое рассматривается научной общественностью как географическое открытие начала XXI века. Ниже кратко обобщены самые важные результаты по основным направлениям научных работ по подпрограмме.

Проблема исследования современного климата Антарктики связана с редкой сетью метеостанций, расположенных крайне неравномерно. Из анализа многолетних (более 30 лет) рядов приземных наблюдений следует, что среди 24 антарктических станций с такими рядами наблюдений только 9 станций демонстрируют статистически значимые изменения приземной температуры воздуха. Все эти тренды являются положительны-

ми. Абсолютный максимум аномалии среднегодовой температуры воздуха в Южном полушарии расположен над Антарктическим полуостровом в результате роста ночных значений температуры воздуха в зимний сезон (Лагун и др., 2010). Несмотря на уменьшение скорости повышения температуры в последние 10 лет на ряде станций в северной части полуострова, рост приземной температуры воздуха в этом регионе в несколько раз выше среднечисленного значения. Формирование климатической изменчивости Антарктики наряду с явлением Эль-Ниньо связано с колебаниями крупномасштабной атмосферной циркуляции — Антарктической круговой модой (АКМ). Фаза АКМ определяет степень изоляции воздуха Антарктиды от воздушных масс умеренных широт и зависит от содержания стратосферного озона. Низкий уровень озона способствует усилению западного переноса и циркумполярного вихря (положительная фаза АКМ) и похолоданию, а повышение содержания озона способствует ослаблению западного переноса и потеплению (отрицательная фаза АКМ). Особенности межрегионального массо- и энергообмена в атмосфере южной полярной области определяет Антарктическая дипольная структура в виде крупномасштабных квазистационарных волн в полях приповерхностной температуры, атмосферного давления, скорости ветра, осадков и облачности. В средней тропосфере над Антарктидой зафиксировано наибольшее на планете региональное потепление, а в нижней стратосфере — выраженное похолодание. Причиной указанных противоположных тенденций является, по-видимому, изменение содержания озона и рост концентрации парниковых газов в атмосфере Антарктики, поскольку максимум концентрации углекислого газа и метана приходится на толщу тропосферы (Данилов и др., 2011).

Анализ актинометрических данных и значений аэрозольной оптической толщины атмосферы показал, что в многолетней изменчивости потоков суммарной солнечной радиации в Антарктиде отсутствуют статистически значимые положительные или отрицательные тренды за 55-летний период. Наблюдаются лишь отличия в межгодовых изменениях суммарной солнечной радиации на каждой из станций. Следует отметить, что даже после мощных извержений вулканов (Агунг в 1963 г., Эль-Чичон в 1983 г. и Пинатубо и Хадсон в 1991 г.), приведших к значительному снижению прозрачности атмосферы, в Антарктиде не отмечено существенных изменений суммарной радиации. Уровень аэрозольного замутнения антарктической атмосферы за последние 25 лет остается одним из самых низких на Земле (Радионон и др., 2011).

По данным измерений общего содержания озона (ОСО) в толще атмосферы Антарктики определены тенденции и механизмы изменений в озоновом слое. Одной из причин появления «озоновой дыры» был выброс в атмосферу фреонов — веществ антропогенного происхождения. Условия для протекания озоноразрушающих реакций с участием фреонов реализуются в Антарктике ежегодно каждую зиму. Низкие температуры приводят к образованию стратосферных полярных облаков, на поверхности которых и происходят химические реакции разрушения озона. Данные измерений ОСО на станциях Восток, Мирный и Новолазаревская и других, а также спутниковые данные позволяют говорить о некотором уменьшении размеров ежегодно образующейся над Антарктикой озоновой дыры, степени разрушения озонового слоя в последние несколько лет и стабилизации проявления озоновой аномалии над Антарктикой за более чем десятилетний период (Сибир, Радионон, 2011).

В процессе спектральных зенитных наблюдений атмосферы на станции Новолазаревская, обработки спутниковых данных по наблюдениям характеристик мезо-

сферы, а также данных по радиоизлучению Солнца с мировых обсерваторий исследованы связи пространственно-временных изменений мезосферного озона и уровня мезопаузы в интервалах полярного лета Антарктики. По совокупности полученных результатов определена роль солнечных факторов, участвующих в формировании условий состояния верхней мезосферы и общего содержания озона. Особую роль занимают радиоизлучение Солнца в диапазоне 245–8800 МГц и потоки солнечных космических лучей с энергией до 100 МэВ. Выявлена тесная широтная зависимость атмосферных и солнечных факторов, которая формируется корреляцией по стадиям 11-летнего цикла солнечной активности. Согласно результатам Фурье-анализа данных по интенсивности ультрафиолетовой (УФ) радиации в диапазоне 297–330 нм, наряду с солнечным радиоизлучением и солнечными космическими лучами, важное значение в природе неизученных кратковременных изменений озона имеет энергия, передаваемая в мезосферу и стратосферу магнитозвуковыми колебаниями Солнца (5–100 мин) посредством потока УФ-радиации. Полученные выводы свидетельствуют о прямом воздействии широкого диапазона солнечной энергии на показатели верхней и средней атмосферы (Габис, Трошичев, 2011; Шаповалов, Трошичев, 2011).

В океанографических исследованиях антарктических вод с борта НЭС «Академик Федоров» и «Академик Трёшников» получена уникальная информация о структуре вод в области Антарктического склонового фронта, который играет важнейшую роль в климатообразующих процессах в океане, в том числе в перемешивании водных масс различного происхождения, вентиляции глубинных слоев океана и формировании антарктических донных вод (АДВ) в результате опускания холодных шельфовых вод по склону. Получено экспериментальное подтверждение факта формирования в море Содружества антарктической донной воды (Антипов, Клепиков, 2011). Определено положение и некоторые характеристики фронтов и границ Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и примыкающих циркуляционных систем (субполярного круговорота Уэдделла и течения Агульяс). Получены оценки временной изменчивости положения основных фронтов и границ АЦТ, установлено, что более устойчиво положение полярного фронта и южного фронта АЦТ, менее устойчиво — субтропического и субантарктического (Клепиков и др., 2011).

Анализ результатов полевых работ последних лет и архивных данных показал, что важным для процесса склоновой конвенции является наличие на шельфе антарктической шельфовой воды, обладающей высокой плотностью и температурой вблизи точки замерзания. Ее образование связано с зимней конвекцией, возникающей вследствие процессов ледообразования. Для формирования донных вод требуются дополнительные условия: достаточно широкий шельф, наличие стационарных полыней, наличие впадин на шельфе. Все это ведет к образованию и накоплению больших объемов шельфовой воды, обладающей достаточной соленостью, чтобы создать в районе края шельфа плотные смеси, способные опускаться по материковому склону. Такие условия имеют место в морях Уэдделла, Росса, заливе Прюдс, где зафиксировано образование донных вод (рис. 1 цв. вклейки).

Одним из условий формирования шельфовой воды является отсутствие на шельфе прослойки соленой циркумполярной глубинной воды (ЦГВ), которая ограничивает глубину конвекции, вызванной ледообразованием. Такие условия обнаружены нами в море Амундсена и у западного берега Антарктического полуострова. В этих районах шельфовая вода не обнаружена, а ниже слоя поверхностных вод здесь распространя-

ется ЦГВ. Следствием этого является таяние шельфовых ледников, ведущее к распреснению верхнего слоя и уменьшению его плотности, что создает дополнительные препятствия для образования шельфовой воды. Отсутствие шельфовой воды на западе Антарктического полуострова, видимо, связано с отсутствием кatabатических ветров. Отметим важность этого процесса не только для циркуляции океана, но и для устойчивости антарктического ледникового щита. Таяние основы шельфовых ледников является важным процессом уменьшения массы континентального льда Антарктиды (Клепиков, Антипов, 2014).

В 1970 г. учеными ААНИИ и Ленинградского горного института были начаты работы по бурению ледника на станции Восток с целью получения палеоклиматической информации. К 1989 г., за неполные двадцать лет был приобретен огромный опыт бурения в ледниковой толще в сухих и залитых скважинах с применением как теплового, так и электро-механического способов бурения. В 1989 г. совместными усилиями советских, французских и американских ученых началось бурение скважины 5Г. Этот проект подарил миру данные, определившие направления исследований на десятилетия вперед. Скважина 5Г, пробуренная на станции Восток, является в настоящее время самой глубокой из пробуренных когда-либо в ледниковых покровах Гренландии и Антарктиды.

По ледяному керну, поднятому из скважины 5Г, были впервые реконструированы временные палеоклиматические ряды, охватывающие последние 420 тыс. лет (Petit et al., 1999). Таким образом, керн со станции Восток дал возможность детально восстановить историю климата и атмосферы Земли на протяжении последних четырех ледниковых периодов и пяти межледниковий, включая полностью 11 морскую изотопную стадию, которая является «орбитальным аналогом» голоцена (Raynaud et al., 2005) — межледниковья, в котором мы живем, и поможет дать ответ на вопрос о дальнейших естественных тенденциях в изменении климата.

В 1996 г. (Kapitsa et al., 1996) было подтверждено открытие крупнейшего на нашей планете подледникового водоема — озера Восток. После того, как было открыто озеро Восток, у международного научного сообщества возникли опасения загрязнения воды озера заливочной жидкостью, которая представляет собой смесь керосина и фреона. В итоге на заседании Международного комитета по исследованию Антарктики (SCAR) в Кембридже в 1996 г. было рекомендовано приостановить бурение на 25–50 м от нижней границы льда, пока не будет найдено инженерное решение проникновения в озеро. В то же время исключительный интерес международной научной общественности к исследованию озера Восток нашел отражение в решении SCAR создать в рамках этой организации координационную научную программу по исследованию подледниковых озер Антарктиды (Subglacial Antarctic Lake Environments — SALE) и рекомендовать данное направление научной деятельности в Антарктике в качестве приоритетного для программы Международного полярного года 2007/08 (МПГ). Непосредственные отношения к проводимым исследованиям имели два проекта российской программы МПГ: «Ляцио-геофизические исследования вдоль линий тока льда, проходящих через подледниковое озеро Восток» и «Экологически чистое проникновение и комплексные исследования подледникового озера Восток».

К 2002 г. совместными усилиями специалистов ААНИИ и Горного института была разработана технология экологически чистого бурения и проникновения в озеро

Восток (Verkulich et al., 2002). Бурение было возобновлено в 2005 г. после восьмилетнего перерыва. При бурении льда вблизи границы с озером, где температура льда близка к точке плавления, а ледяные кристаллы имеют очень большие размеры (порядка 1–1,5 м), возникло множество технических проблем. Для их решения впервые в мире были разработаны и запатентованы уникальные технологии и технические средства бурения.

С 1999 г. все работы по исследованию ледяного керна станции Восток и по исследованию озера Восток выполнялись в рамках подпрограммы. В результате выполнения работ по этим проектам получен бесценный опыт взаимодействия научных коллективов из семи научно-исследовательских организаций: ААНИИ (исследования керна, палеоклимата, изотопного и газового режимов озера, моделирование циркуляции), Горный институт (разработка технологий и средств бурения льда и проникновения в подледниковые водоемы, внедрение, реализация), ПМГРЭ (дистанционные наземные геофизические исследования), ВНИИОкеангеология (исследования минеральных включений, изучение геологической истории озера), ИГ РАН (дистанционные спутниковые исследования), ИНМИ РАН (микробиологические исследования), ПИЯФ РАН (молекулярно-биологические исследования). РАЭ осуществляла логистическое обеспечение полевых работ.

Начиная с 1995 г. проводились работы по сейсмическому, а с 1998 г. и по радиолокационному зондированию озера Восток. В результате этих работ и с использованием данных американской аэрогеофизической съемки сезона 2000/01 г., было выполнено картирование береговой линии озера (рис. 2 цв. вклейки) и установлены его основные параметры (Попов и др., 2011). По уточненным данным площадь озера без островов составила около 15500 км², а площадь островов — около 360 км². Протяженность береговой линии озера — порядка 1030 км, включая 70 км, приходящиеся на острова. Средняя глубина водного слоя — 400 м, максимальная — 1200 м.

Бурение скважины 5Г позволило достичь границы атмосферного и конжеляционного (озерного) льда на глубине 3538 м, образовавшегося в результате намерзания воды озера на нижнюю поверхность ледника. Таким образом, начались косвенные исследования озера Восток, его свойств и характеристик, закономерностей формирования льда. КERN, поднятый с глубины 3607–3608 м, содержал в себе значительное количество видимых минеральных включений размером до 14 мм. Наличие этих минеральных включений позволило сделать предположение, что на пути течения ледника выше по его линии тока располагается остров.

В период выполнения работ по подпрограмме возникло понимание необходимости создания в России лаборатории международного уровня, которая позволила бы обрабатывать огромное количество отбираемых образцов ледяных кернов для получения новой информации об озере Восток, а также о климатических изменениях в Центральной Антарктиде. В период МПГ эта идея была реализована за счет средств проектов МПГ, ААНИИ и Росгидромета. В 2010 г. в ААНИИ была открыта Лаборатория изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС). В 2012 г. в ЛИКОС был выполнен анализ изотопного состава озерного льда, который позволил подтвердить ранее сделанные предположения о наличии в озере гидротермальных источников (Екайкин и др., 2012).

Первое вскрытие озера Восток было осуществлено 5 февраля 2012 г. в скважине 5Г-2 (рис. 3). Озерная вода первоначально поднялась на высоту 382 м от поверхности

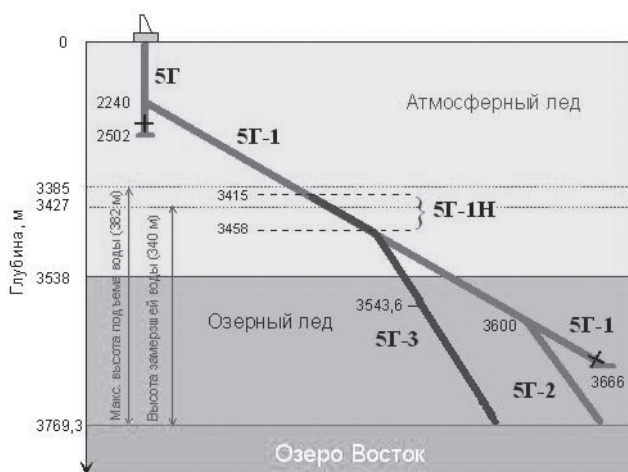


Рис. 3. Схематическое изображение стволов глубокой скважины на станции Восток (состояние на февраль 2014 г.).

озера. Затем уровень воды понизился, и окончательное замерзание ее произошло при высоте столба 340 м от поверхности озера. Факт проникновения в озеро обратил на себя внимание ведущих мировых изданий. Исследователи, принимавшие участие в работе по проекту, получили высокие государственные награды «за большой личный вклад в организацию и осуществление проекта проникновения в подледниковое озеро Восток (Антарктида) в рамках ФЦП “Мировой океан”».

В декабре – январе 2012/13 г. было осуществлено повторное бурение скважины, что позволило получить керн замершей воды озера в интервале глубин 3415–3458 м (скважина 5Г-1Н). Затем снаряд отклонился от первоначальной скважины; новый ствол (начиная с 3458 м) получил название 5Г-3.

Работы по этой тематике были продолжены после завершения работ по подпрограмме. 25 января 2015 г. состоялось второе вскрытие озера скважиной 5Г-3 с поддержанием параметров давления и уровня заливочной жидкости в скважине. В результате изучения химического состава озерного льда показано, что содержание растворенного углерода в озерном льду, не содержащем минеральные частицы, не превышает 10 ppb, а общее содержание ионов (65 ppb) в несколько раз ниже, чем в атмосферном льду. С биологической точки зрения озерный лед — в целом исключительно чистый: фактически он не содержит микроорганизмов (бактерий) и характеризуется очень малой и неравномерно распределенной биомассой. Так, измеренные клеточные концентрации микроорганизмов в озерном льду до отметки 3659 м не превышают 12 клеток/мл, что близко к уровню привнесенного загрязнения. Все это косвенно свидетельствует, что и вода озера (по крайней мере ее поверхностный слой) должна характеризоваться очень бедным микробным сообществом и низкой концентрацией химических примесей.

России принадлежит серьезный вклад в накопление знаний о геологическом строении и перспективах полезных ископаемых Антарктики и формировании современных представлений об эволюции ее литосферы. Отечественные геолого-геофизические исследования в этом регионе Земли развернулись в 1956 г. и с тех пор систематически проводятся в составе САЭ и РАЭ.

В результате проведенных работ изучена большая часть обнаженных районов материка и составлены их геологические карты; проведены разномасштабные аэро-геофизические съемки на площади более 6,5 млн км²; в окраинных морях Антарктиды получено около 98 000 км морских многоканальных сейсмических и более 115 000 км магнитометрических и гравиметрических профилей; выполнены детальные наземные геофизические исследования подледникового озера Восток.

Следует, однако, отметить, что огромный массив геолого-геофизических данных, накопленный за долгие годы, во многом оставался неосвоенным в контексте решения фундаментальных проблем геологических наук, так как финансирование, выделяемое на проведение геолого-геофизических работ Агентством «Роснедра» Минприроды РФ, не предусматривает серьезной научно-исследовательской деятельности по обобщению и интерпретации геолого-геофизических материалов.

Подпрограмма оказала очень важную поддержку в проведении фундаментальных исследований, и полученные результаты позволили сохранить ведущие позиции российских ученых в изучении геологии Антарктики. Основная цель исследований по геологическим проектам подпрограммы состояла в изучении строения, фундаментальных закономерностей эволюции и особенностей минерагении антарктической литосферы. В ходе научно-исследовательских работ проводилась углубленная научная проработка результатов отечественных экспедиционных исследований и их интеграция с достижениями антарктических служб других стран, на основании которой затем делалось обобщение всех доступных геолого-геофизических материалов по Антарктике в контексте фундаментальных проблем современной геологии и под углом зрения ресурсных задач, формулируемых программой.

В процессе исследований были созданы банки данных, которые включают в себя геологическую информацию, полученную за весь период отечественных работ в Антарктике, и доступные материалы зарубежных экспедиций; составлены обзорные карты Антарктики геолого-геофизического содержания (Golynsky et al., 2013); разработаны модели земной коры и палеотектонические реконструкции, отражающие строение, геодинамику и историю развития антарктической литосферы (Mikhalsky et al., 2001; Leitchenkov et al., 2010; Лейченко и др., 2014), выявлены обстановки накопления осадков в индоокеанском секторе Южного океана (Лейченко и др., 2012); получены новые данные об изменениях природной среды Антарктики в позднем эоцене (45–35 млн лет) и динамики ледникового покрова в позднем кайнозое на протяжении последних 35 млн лет (Лейченко, 2014); выполнена оценка перспектив обнаружения полезных ископаемых на антарктическом континенте и в окраинных морях Антарктики (Грикуров и др., 2010). В рамках подпрограммы было выполнено три проекта МПГ.

Одним из наиболее значимых результатов исследований по подпрограмме явилось составление тектонической карты Антарктики масштаба 1 : 10 000 000, в которой были обобщены геолого-геофизические материалы САЭ/РАЭ и зарубежных экспедиций, в первую очередь результаты изотопно-геохимических исследований горных пород антарктического материка и интенсивного геофизического изучения его континентальной окраины. Эта карта была опубликована в 2012 г. международной Комиссией ЮНЕСКО по геологической карте Мира и получила высокую оценку специалистов (Grikurov, Leychenkov, 2012). Упрощенная версия этой карты представлена на рис. 4.

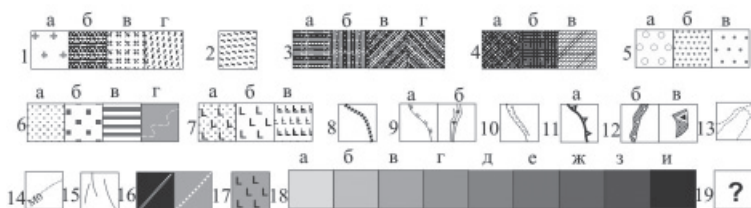
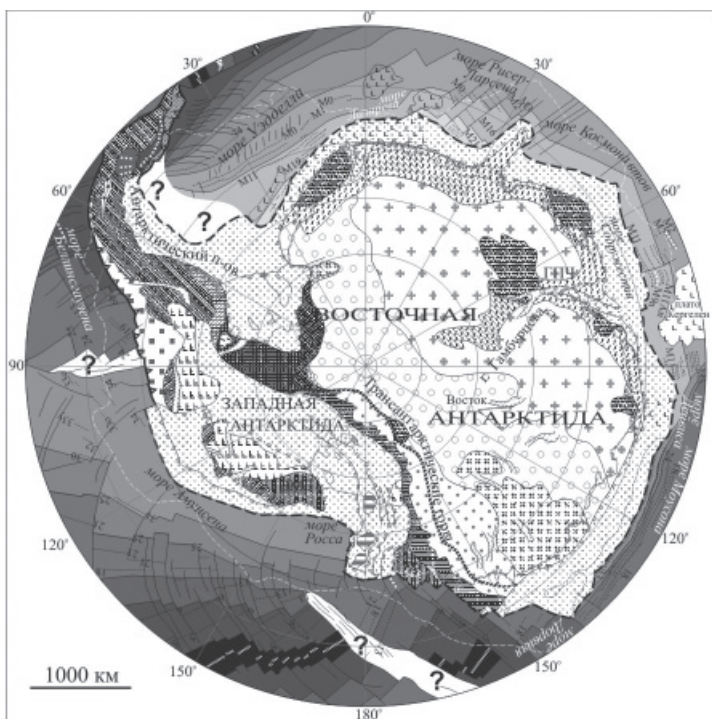


Рис. 4. Тектоническое строение Антарктики.

1 — докембрийский фундамент Восточной Антарктиды: (а) нерасчлененный под ледовым куполом, (б) архейские ядра, (в) архейско-палеопротерозойские массивы, (г) мезопротерозойский подвижный пояс; наклонной штриховкой показаны зоны интенсивной переработки фундамента вблизи рубежа докембрия и палеозоя. 2–4 — фанерозойские складчатые пояса Трансантарктических гор и Западной Антарктиды: 2 — выступ докембрийской инфраструктуры; 3 — тихоокеанские аккреционно-коллизонные орогены: (а) эокембрийско(?)–раннепалеозойский складчатый пояс Трансантарктических гор (росский ороген), (б) ранне-(?)среднепалеозойская складчатая система северной оконечности Трансантарктических гор и западной части Земли Мэри Бёрд (борхгревинкский ороген), (в) палеозойско-раннемезозойская складчатая система побережья моря Амундсена (амундсенский ороген), (г) мезозойско-кайнозойская складчатая область Антарктического полуострова (андский ороген, или Антарктанды); 4 — внутриплитные складчатые зоны: (а) эокембрийско(?)–раннепалеозойская, (б) позднепалеозойско-(?)раннемезозойская, (в) поздне-мезозойская. 5 — платформенные чехлы: (а) нерасчлененный (нео?)протерозойско-палеозойский, предполагаемый на равнинных участках и в депрессиях подледного ложа Восточной Антарктиды, (б) рифейский, (в) среднепалеозойско-раннемезозойский (биконский). 6 — мезозойско-кайнозойские осадочные бассейны: (а) рифтовые внутриматериковые и на континентальной окраине, (б) молассовые, (в) выступы фундамента рифтовых бассейнов, (г) изопихита 1 км, принимаемая за границу области распространения кластического осадконакопления на океанической коре. 7 — вулканические провинции: (а) юрская и раннемеловая на пассивной окраине Восточной Антарктиды, (б) раннемеловая в пределах плато Кергелен, (в) позднейкай-

Главной целью будущих исследований является развитие знаний о строении, истории геологического развития и минерализации антарктической литосферы и реконструкция природной среды Антарктики в различные периоды геологического времени.

Изучение фаунистического и флористического состава морской, ледовой и наземной антарктической биоты, включая пресноводные (озерные) экосистемы и микробиоту, отечественными биологами было начато в 1956 г. в составе 1-й КАЭ и продолжалось затем в составе САЭ и РАЭ вплоть до настоящего времени. При этом в девяностые годы прошлого века биологические работы практически прекратились.

С началом работ по подпрограмме биологические исследования были активно возобновлены сначала на суше, а затем и на море. Наземные, в первую очередь флористические, и пресноводные исследования с 51-й РАЭ (2005 г.) стали ежегодными и приобрели фактически циркумантарктический масштаб. В лишено- и бриологическом отношении были исследованы практически все оазисы и многие нунатаки Антарктиды, а также ряд островов Западного сектора Антарктики. Одновременно изучали, по возможности, альго- и бриофлору пресноводных озер и их бактериопланктон. Важным открытием здесь было обнаружение живых растений водного мха на глубине 35 м в озере Глубоком оазиса Ширмахера. Было начато активное изучение беспозвоночных животных комменсалов мхов и лишайников — нематод и тихоходок, с обращением особого внимания на их роль в процессах почвообразования в условиях Антарктики (Андреев, 2013; Александров и др., 2012; Kurbatova, 2012).

С 51-й РАЭ были начаты круглогодичные работы по исследованию динамики видового состава и количественного представительства отдельных видов зоопланктона в пелагиали бухты Ардли залива Максвелла у станции Беллинсгаузен (о. Кинг-Джордж). Мониторинговые исследования сезонной и межгодовой таксономической и количественной динамики планктона в прибрежной пелагической экосистеме этого региона Южного океана были продолжены в 52–56-й РАЭ.

Эти исследования показали, что никакого однонаправленного межгодового тренда ни в гидрологических условиях, ни в структуре планктона пелагиали этого района Антарктики, находящегося под значительным влиянием потепления, нет. Было отмечено четкое сезонное изменение в количественных показателях отдельных видов, без существенной при этом изменчивости качественной, т.е. видовой структуры планктонного сообщества, фактически остававшейся одинаковой во все сезоны и годы проведенных наблюдений и насчитывавшей в своем составе до 32 видов и родов различных групп зоопланктона и 8 более крупных таксономических групп планктона, включая личинок (Усов и др., 2012). Вместе с тем количественные характеристики численности и биомассы зоопланктона пелагиали бухты Ардли претерпевали значи-

нозойские щелочные и толеитовые платобазальты Западной Антарктиды. 8 — предполагаемое положение границы русского орогена под биконским чехлом. 9 — структуры растяжения: (а) границы окраинно- и внутриматериковых рифтов, предвалявших распад Гондваны, (б) зона зарождающегося спрединга. 10 — грабенообразные депрессии в рельефе коренного ложа. 11 — зоны палеосубдукции. 12 — вулканические дуги: (а) неогеновая(?) вулканическая дуга Джейн, (б) современная вулканическая дуга Южных Сандвичевых островов. 13 — зона разрыва консолидированной коры на позднем этапе рифтогенеза и проникновения мантии в основание осадочного чехла. 14–19 — структуры и возраст океанической коры: 14 — магнитные аномалии и их номера; 15 — трансформные разломы; 16 — оси спрединговых хребтов (а) активных, (б) отмерших; 17 — позднюрско-раннемеловые океанические плато (пунктиром показано плато, погребенное под осадочным чехлом мощностью более 2 км); 18 — кора, возникшая в течение (а) юры, (б) берриас-валанжина, (в) готерив-альба, (г) позднего мела, (д) палеоцена, (е) эоцена, (ж) олигоцена, (з) миоцена, (и) плиоцен-голоцена; 19 — зоны неустановленной структуры и возраста.

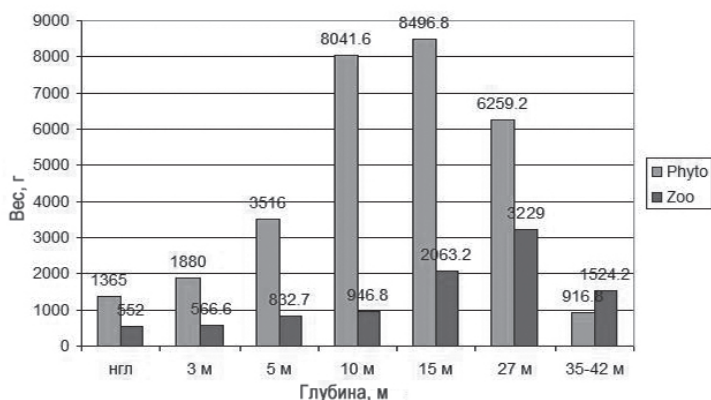


Рис. 5. Результаты гидробиологических исследований на станции Беллинггаузен.

Проведен анализ распределения биомассы на трех разрезах. Наибольшая биомасса (10560 г/м^2) отмечена для разреза I на глубине 15 м. На всех разрезах до глубины 30–35 м основную биомассу формируют водоросли. Глубже 35 м биомасса животных превышает биомассу водорослей.

тельные изменения от года к году, четко зависящие от конкретных гидрологических условий данного года — теплый он был или холодный (рис. 5).

В составе сезонного отряда 52-й РАЭ (2005 г.) после длительного перерыва гидробиологи Зоологического института РАН (ЗИН) снова приступили к исследованиям прибрежных мелководий с помощью акваланга. Группа биологов ЗИН из пяти человек под руководством Б.И. Сиренко провела сезонные водолазные работы в бухте Нелла залива Прюдс в районе станции Прогресс и вблизи китайской станции Зонгсан в западной части залива Прюдс. Специалистами ЗИН в 54-й РАЭ (2007 г.) в бухте Нелла были заложены пять мониторинговых разрезов до глубины 43 м, на которых методом количественного учета было сделано около 50 бентосных гидробиологических станций, с одновременным сбором животных и водорослей для оценки биоразнообразия донных биоценозов прибрежных экосистем залива. Одновременно проводились исследования ледовой и подледной экосистем залива с оценкой их сезонной изменчивости (Сиренко, Гагаев, 2011). Исследования были повторены в летний сезон 59-й РАЭ. При этом особое внимание было обращено на качественный сбор представителей флоры и фауны для более точного выявления биоразнообразия района. В полевой сезон в составе 56-й РАЭ аналогичные водолазные гидробиологические работы после длительного перерыва (последний раз в 13-й САЭ) были проведены в заливе Ардли острова Кинг-Джордж.

Особое значение для сравнительного исследования особенностей морской биоты Восточной и Западной Антарктики являются гидробиологические исследования в тихоокеанском секторе Южного океана, проведенные в первом рейсе НЭС «Академик Трёшников» в составе 58-й РАЭ и продолженные в циркумантарктическом рейсе в 59-й РАЭ на НЭС «Академик Федоров».

Итогом всех этих работ стало описание отечественными учеными нескольких сотен новых для науки видов животных и растений, ревизии многих групп флоры и фауны, фаунистические, экологические и биологические обобщения, характеризующие особенности и адаптационные возможности представителей антарктической биоты. В частности, И.А. Мельниковым была открыта и описана уникальная морская ледовая экосистема Антарктики. Все полученные в Антарктике материалы по мере их

изучения включаются в компьютерную базу данных «ЭКОАНТ» и информационно-поисковую систему «ОКЕАН», разработанные в ЗИН РАН.

Современное состояние изученности биоты Антарктики и ее экосистем, несмотря на многолетние плодотворные исследования, требует в перспективе развития комплексных мониторинговых работ, что возможно только в кооперации на антарктических станциях разных стран.

Авторы являлись руководителями пяти проектов подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики». Авторы признательны Н.Н. Антипову, А.В. Козачек, В.Е. Лагуну, В.В. Лукину, В.Ф. Радионову, О.А. Трошичеву, Ю.А. Шибяеву за предоставленные материалы, иллюстрации и полезные обсуждения. Работа выполнена в рамках темы 1.5.6.1 Плана НИОКР Россидромета на 2014–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александров В.Я., Андреев М.П., Курбатова Л.Е. Увеличение площади расселения злака *Deschampsia antarctica* в окрестностях российской антарктической станции Беллинсгаузен (о-ва Кинг-Джордж и Нельсон, Южные Шетландские о-ва) в связи с общим потеплением климата в регионе // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 2 (92). С. 72–84.

Андреев М.П. Лишайники оазиса Молодежный (Земля Эндерби, Антарктида) // Новости сист. низш. раст. 2013. Т. 47. С. 167–178.

Антипов Н.Н., Клепиков А.В. О взаимодействии вод шельфа и глубокого океана над материковым склоном Антарктиды // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Океанография и морской лед / Под ред. И.Е. Фролова. М.: Paulsen, 2011. С. 291–305.

Габис И.П., Трошичев О.А. Исследование изменчивости циркуляции и содержания озона в южной полярной области с учетом вариаций УФ излучения Солнца // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 306–330

Грикуров Г.Э., Лейченко Г.Л., Михальский Е.В. Тектоническая эволюция Антарктики в свете современного состояния геодинамических идей // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Строение и история развития литосферы. М.: Paulsen, 2011. С. 91–110.

Данилов А.И., Клепиков А.В., Лагун В.Е. Современные изменения климата Антарктики // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 29–48.

Екайкин А.А., Липенков В.Я., Козачек А.В. Изотопный режим подледникового озера Восток по данным исследования глубокого ледяного керна // Лед и снег. 2012. № 4 (120). С. 78–85.

Клепиков А.В., Антипов Н.Н. Особенности формирования и распространения водных масс на шельфе и материковом склоне вокруг Антарктиды // Лед и снег. 2014. № 4 (128). С. 81–94.

Клепиков А.В., Реснянский Ю.Д., Антипов Н.Н., Данилов А.И., Казко Г.В. Особенности океанографических процессов в антарктических водах // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Океанография и морской лед. М.: Paulsen, 2011. С. 306 – 318.

Лагун В.Е., Клепиков А.В., Данилов А.И., Коротков А.И. О потеплении в районе Антарктического полуострова // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 90–101.

Лейченко Г.Л., Гусева Ю.Б. Сейсмостратиграфия осадочного чехла индоокеанской акватории Антарктики и реконструкция природной среды в геологическом прошлом // Разведка и охрана недр. 2012. № 8. С. 21–28.

Лейченко Г.Л., Гусева Ю.Б., Гандюхин В.В., Иванов С.В., Сафонова Л.В. Строение земной коры и история тектонического развития индоокеанской акватории Антарктики // Геотектоника. 2014. № 1. С. 8–28.

- Лейченко Г.Л.* Изменения климата и природной среды Антарктики в геологическом прошлом // Лед и снег. 2014. № 4 (128). С. 107–116.
- Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В.* Озеро Восток, Восточная Антарктида: мощность ледника, глубина озера, подледный и коренной рельеф Восток // Лед и снег. 2011. № 1 (113). С. 25–35.
- Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В., Попков А.М.* Отечественные сейсмические, радиолокационные и сейсмологические исследования подледникового озера Восток // Лед и снег. 2012. № 4 (120). С. 31–38.
- Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сакерин С.М., Сибир Е.Е., Смирнов А.В.* Составляющие радиационного баланса и аэрозольно-оптические параметры атмосферы в Антарктике в период МПГ на фоне их многолетней изменчивости. // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 158–169.
- Сибир Е.Е., Радионов В.Ф.* Общее содержание озона в Антарктике в период Международного полярного года 2007/08. // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 178–186.
- Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю.* Предварительные результаты работ Зоологического института РАН, полученные в течение МПГ // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Наземные и морские экосистемы. М.: Paulsen, 2011. С. 60–70.
- Усов Н.В., Неелов А.В., Поважный В.В., Сёмин В.Л., Тихоненков Д.В.* Сезонная и межгодовая динамика видового состава и обилия зоопланктона в бухте Ардли (о. Кинг-Джордж, Южные Шетландские острова) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 3 (93). С. 51–65.
- Шановалов С.Н., Трошичев О.А.* Исследование импульсных сигналов в фототоке и спектре зенита атмосферы на ст. Новолазаревская // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 331–346.
- Grikurov G.E., Leychenkov G.* Tectonic Map of Antarctica (Scale 1:10 M). Commission for Geological Map of the World (CGMW). Paris, 2012.
- Golynsky A.V., Ivanov S.V., Kazankov A.Ju., Jokat W., Masolov V.N., von Frese R.R.B., the ADMAP Working Group.* New continental margin magnetic anomalies of East Antarctica // Tectonophysics. 2013. Vol. 585. P. 172–184.
- Kapitsa A.P., Ridley J.R., Robin G. de Q., Siegert M.J., Zotikov I.A.* A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // Nature. 1996. Vol. 381. P. 684–686.
- Kurbatova L.E., Ochyra R.* Two noteworthy additions to the moss flora of the Schirmacher Oasis in the continental Antarctic // Cryptogamie, Bryology. 2012. Vol. 33 (2). P. 159–167.
- Leitchenkov G., Guseva J., Gandyukhin V., Grikurov G., Kristoffersen Y., Sand M., Golynsky A., Aleshkova N.* Crustal structure and tectonic provinces of the Riiser-Larsen Sea area (East Antarctica): results of geophysical studies // Mar. Geophys. Res. 2008. Vol. 29. P. 135–158.
- Mikhalsky E.V., Sheraton J.W., Laiba A.A., Tingey R.J., Thost D.E., Kamenev E.N., Fedorov L.V.* Geology of the Prince Charles Mountains, Antarctica // AGSO — Geoscience Australia Bulletin. 2001. Vol. 247. 209 p.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V.Ya., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature. 1999. Vol. 399. № 6735. P. 429–436.
- Raynaud D., Barnola J.M., Souchez R., Lorrain R., Petit J.R., Duval P., Lipenkov V.Ya.* The record for marine isotopic stage 11 // Nature. 2005. Vol. 436, July 7. P. 39–40.
- Verkulich S.R., Kudryashov B.B., Barkov N.I., Vasiliev N.I., Vostretsov R.N., Dmitriev A.N., Zubkov V.M., Krasilev A.V., Talalay P.G., Lipenkov V.Ya., Savatyugin L.M., Kuz'mina I.N.* Proposal for penetration and exploration of sub-glacial Lake Vostok, Antarctica // Mem. Natl. Inst. Polar Research. 2002. Vol. 56. P. 245–252.

**THE MAIN RESULTS OF SCIENTIFIC STUDIES OF THE SUBPROGRAM
“STUDY AND RESEARCH OF THE ANTARCTIC” FTP “WORLD OCEAN”**

This article provides an overview of the main scientific results obtained during the implementation of the subprogram “Study and Research of the Antarctic” of Federal Targeted Program “World Ocean”. These are the results of Russian studies of the ocean, atmosphere, subglacial lakes, lithosphere and Antarctic ecosystems.

Keywords: Antarctica, climate, lithosphere, subglacial lake, ecosystem, Southern Ocean.

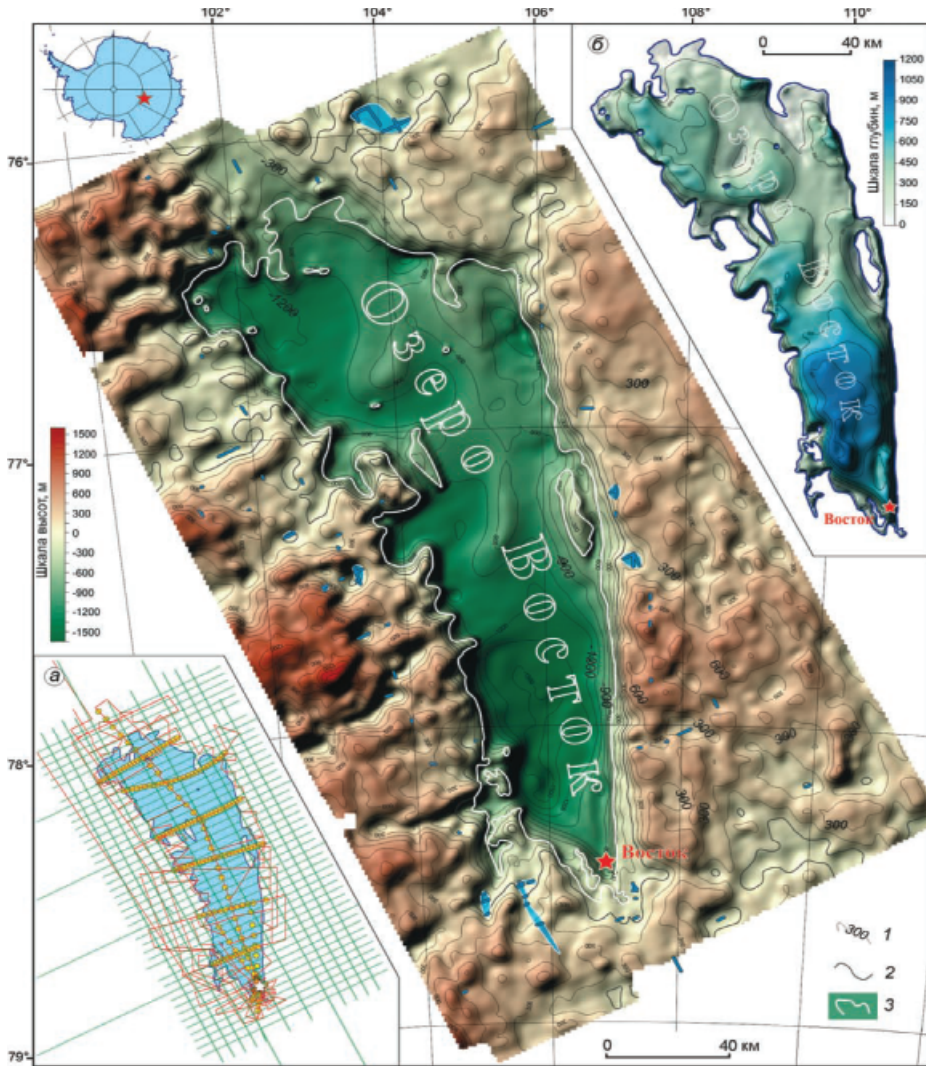


Рис. 2. Коренной рельеф и подледниковые водоёмы в районе подледникового оз. Восток: 1 — изогипсы коренного рельефа; сечение изолиний 150 м; 2 — уровень моря; 3 — береговая линия оз. Восток; голубым цветом показаны подледниковые водоёмы. На секции *a* приведена схема расположения использованных геофизических данных; красным цветом показаны отечественные радиолокационные маршруты; зеленым — маршруты американской съемки; желтые точки — пункты сейсмических зондирований. На секции *б* показаны глубины оз. Восток; сечение изолиний 150 м (Попов и др., 2012).

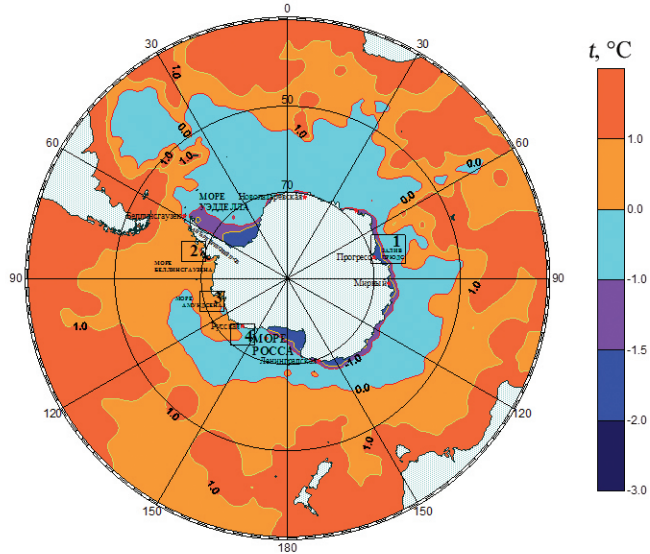


Рис.1. Карта температуры морской воды в придонном 50-метровом слое Южного океана, построенная на основе анализа всех имеющихся в лаборатории данных. Цифрами обозначены районы, где выполняются океанографические работы последних лет: 1 – залив Прюдс; 2 – залив Маргерит; 3 – море Амундсена, 4 – район станции Русская.

Карта отражает разделение прибрежных районов Антарктиды на холодные (шельф и материковый склон заполнены холодными шельфовыми водами) и теплые (шельф и склон заполнены ЦГВ). В районах, где обнаружены шельфовые воды, происходит формирование АДВ (моря Росса и Уэдделла, залив Прюдс). Там, где на шельфе присутствует ЦГВ, происходит таяние шельфовых ледников, которое вызывает расширение поверхностного слоя моря.