

Рис. 6. Обзорная схема района морских геофизических работ 62-й РАЭ.

давящая часть современной подледной поверхности в районах Берега Леопольда и Астрид находится ниже уровня моря в среднем на глубине 100–200 м. Наиболее выраженные впадины наблюдаются в западной части площади. Глубина вреза впадин и долин составляет от 200 до 950 м при ширине от 5–10 до 15–25 км, и ориентированы они преимущественно в северном и северо-западном направлениях. Высотные отметки положительных форм рельефа редко превышают 50 м над уровнем моря (за исключением единственного на всю площадь коренного выхода — г. Гауссберг высотой более 390 м).

Морские геолого-геофизические работы в Южном океане

Работы выполнялись в рамках 62-й РАЭ с борта НИС «Академик Александр Карпинский» в период с 15 декабря 2016 года (в порту Санкт-Петербург) по 20 марта 2017 года (в порту Кейптаун). Полигон работ судна находился в море Содружества (рис. 6.)

Работы включали комплексные морские геофизические исследования: обработка сейсмических данных; подготовка временных сейсмических разрезов и глубинных разрезов по профилям; составление полевых схем магнитного и гравитационного полей масштаба 1: 2 500 000; составление структурно-тектонической схемы масштаба 1: 2 500 000 предварительной интерпретации геофизических данных.

В результате работ была получена новая информация о строении осадочного чехла моря Содружества, структуре акустического фундамента, основных закономерностях строения земной коры и конфигурации границы континент–океан, а также сейсмические, гравиметрические и гидромагнитные данные, содержащие информацию о глубинном строении и истории развития земной коры моря Содружества. Ниже поверхности акустического фундамента на сейсмических разрезах МОГТ выявлены фрагменты отражающей границы, отождествляемой с поверхностью Мохоровичича, позволяющие оценить в некоторых областях района исследований мощность земной коры. По данным зондирований МПВ положение периконтинентальный рифтовый грабен моря Содружества вкрест простираения, глубина ее залегания — в пределах приблизительно от 14 км на севере до 16 км на юге района исследований. Были получены детальные данные по основным параметрам стратифицированного осадочного чехла, мощность которого на востоке района работ составляет от нескольких сотен метров в областях поднятий кристаллического фундамента на шельфе до примерно 10 км в осевой части грабена.

*А.И. Данилов, В.Л. Мартыанов (ААНИИ).
Фото предоставлено РАЭ.*

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ

Лаборатория криологии почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХиБПП РАН) изучает широкий спектр процессов и явлений, свойственных многолетнемерзлым породам, что нашло отражение в ее логотипе, вместе с чувством юмора, которое было яркой чертой основателя лаборатории в ее современном виде — Давида Абрамовича Гиличинского. Обнаружение множества групп жизнеспособных микроорганизмов в многолетнемерзлых породах принесло лаборатории основную известность. Хорошо известна разница в природных условиях полярных областей севера и юга, при этом среднегодовые температуры пород прибрежной части Антарктиды близки таковым на побережье Северного Ледовитого океана. Изменения термического состояния пород происходят на фоне текущего повышения температур воздуха, в Арктике оно выражено сильнее, чем в



Антарктиде. В Антарктиде заметнее влияние снежного покрова, а из-за ветрового перераспределения в отдельные годы могут формироваться долгоживущие снежники, сводящие сезонное оттаивание к нулю. Поверхностная гидрологическая сеть обычно функционирует сезонно, полностью промерзая в зимнее время. За десятилетие наблюдений за динамикой геокриологических условий в Антарктиде не зафиксировано значимых изменений температурного поля мерзлых и морозных пород (рис. 1). В Восточной Арктике повышение температур пород отмечается с середины 2000-х годов, здесь оно началось позднее, чем в других районах.

Глубина сезонного оттаивания в общих чертах коррелирует со средней летней температурой (рис. 2). Правда, при сопоставимых глубинах, суммы градусодней за самые теплые месяцы на прибрежных российских станциях едва достигают 50–

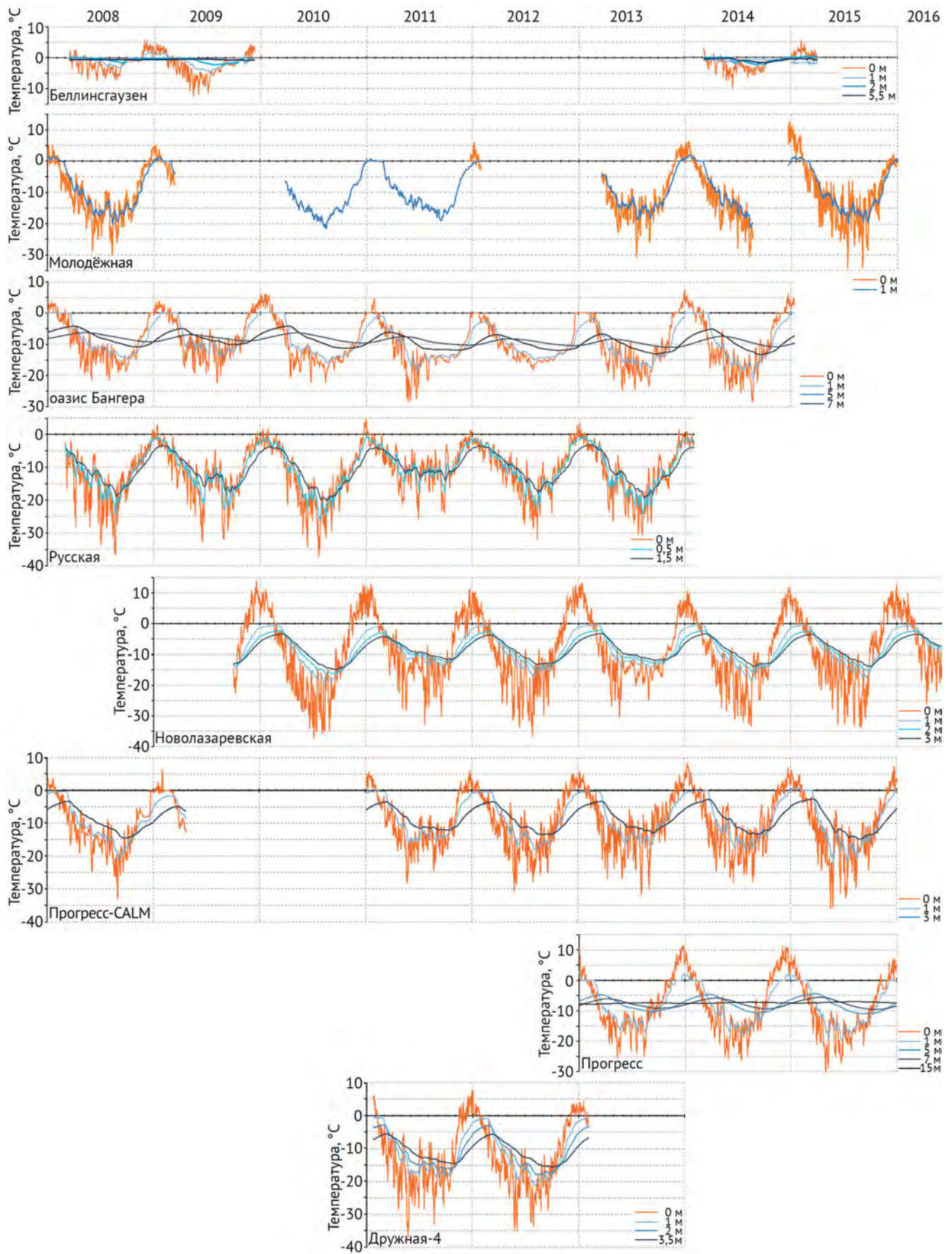


Рис. 1. Результаты наблюдений за динамикой температурного режима пород в Антарктиде.

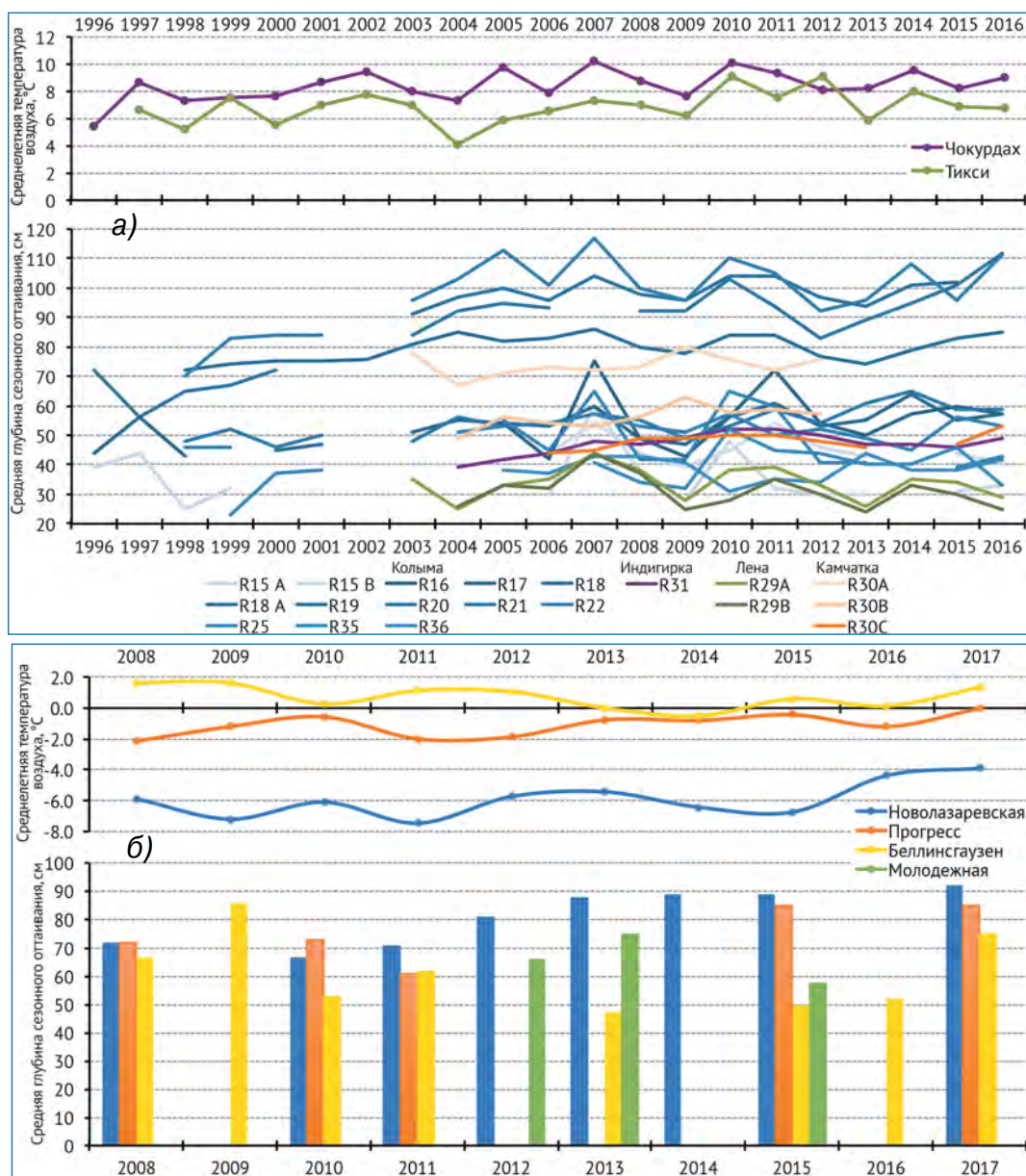


Рис. 2. Динамика средних величин сезонного оттаивания по данным замеров на площадках в Восточной Арктике (а) и Антарктиде (б).

100, в то время как для побережья Северного Ледовитого океана характерны значения в районе 500–800. Средние значения летних температур в Антарктиде также значительно ниже.

Сегодня наша мониторинговая сеть в Антарктиде насчитывает десяток наблюдательных скважин. Наиболее глубокие (близкие к глубине нулевых годовых амплитуд) оборудованы в районе станций Прогресс (15 м), Русская (12 м), Беллинсгаузен (12 м), Оазис Бангера (10 м). Динамика сезонного оттаивания измеряется на площадках в районе станций Прогресс, Новозазаревская, Молодежная, Беллинсгаузен. Не все объекты мониторинга посещаются каждый год, иногда возникают сбои в работе оборудования, приводящие к потере данных.

В Арктике наша сеть наблюдений значительно шире, на 17 площадках ежегодно в конце теплого сезона измеряется глубина оттаивания, десять из них имеют скважины с оборудованием для автоматизированной записи температурного режима. Данные разовых замеров доступны с конца 1980-х годов, а с 2006 года началось оборудование скважин автоматическими устройствами фиксации температуры пород. Текущий тренд повышения температур составляет до $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ на водораздельных поверхностях ледового комплекса, в зоне тайги температурный режим на порядок стабильнее ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/$

год). Интересно, что наблюдающееся повышение температур воздуха приводит к изменениям в растительном покрове на поверхности пород. Увеличившаяся биопродуктивность приводит к росту содержания органики в покровном горизонте (что снижает его теплопроводность) и формированию развитого микрорельефа (что приводит к перераспределению снежного покрова в зимнее время), способствуя понижению температуры пород. Таким образом, нет веских оснований для линейной аппроксимации текущих трендов повышения температур пород.

Повышение летних температур ведет к интенсификации эрозии высокольдистых отложений в береговых обрывах, характерны эти процессы и для вулканических построек Камчатки.

Собранный к настоящему времени материал не позволяет сделать выводы о дальнейшей направленности температурных изменений, но создает основу для проверки модельных расчетов и реконструкций. В связи с возможным оттаиванием значительных объемов мерзлых пород возникает вопрос об оценке их вклада в изменения состава атмосферы. Известно, что в мерзлых породах может содержаться метан, а также органическое вещество, которое при переходе в талое состояние быстро превращается в метан микроорганизмами.

Оценки содержания метана (и органического вещества) обычно пугают неподготовленного читателя большим количеством нулей, вместе с тем к ним нужно относиться критически. Не вдаваясь в дискуссию, по данным прямых определений концентрации метана и органического вещества в мерзлых породах Восточного сектора Арктики, можно сказать, что метана в верхних 25 метрах отложений здесь содержится от нуля до 40 мг/кг грунта, а содержание органического углерода составляет 0,6–2,1 % (усредненный вес для территории Яно-Колымской низменности 14,3 кг/м³). Важной особенностью является отсутствие метана в отложениях ледового комплекса, залегающих с поверхности на значительной части территории. Таким образом, даже при значительном увеличении оттаивания резкого выброса метана из мерзлых пород ожидать не приходится, высокие же концентрации метана в некоторых озерах и в шельфовой зоне связаны с разгрузкой глубинного метана по разрывным нарушениям.

В исследованиях жизнеспособных сообществ многолетнемерзлых пород основные усилия сейчас направлены на криопеги и представителей амёб. Криопеги (области концентрации минерализованных рассолов с отрицательной температурой) интересны тем, что это среда, где при отрицательных температурах присутствуют значимые количества жидкой

воды (правда, весьма соленой). Из обнаруженных в криопегах бактерий был выделен ряд ферментов, которые могут быть полезны в промышленности — получен патент, возможно внедрение.

Амёбы из многолетнемерзлых отложений необычны тем, что в них могут проживать гигантские вирусы (опасные, к счастью, только для бактерий из теплых мест обитания). Обнаружение этой разновидности вирусов заполняет пробелы в эволюционной цепочке и приближает исследователей к нахождению предка всех живых организмов на Земле.

В перспективе хотелось бы видеть геокриологические параметры в перечне показателей, мониторинг которых официально осуществляется структурами Росгидромета. Образцы мерзлых отложений Арктики и Антарктиды с жизнеспособными микроорганизмами ждут очередного полета на околоземную орбиту в рамках проекта «Бийон». Продолжается и поиск самых древних мерзлых отложений на Земле. Планка постепенно опускается с 30–40 до 15 млн лет, но концепция нахождения конкретной точки для отбора образцов и, главное, методика прямого датирования возраста мерзлоты требуют доработки.

А.А. Абрамов (ИФХиБПП РАН, Пущино)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОРЫ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОПРОКАРИОТ В ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ АНТАРКТИКИ В СЕЗОН 62-й РАЭ

Многочисленные советские и российские исследования флоры Антарктики были проведены на базе двух институтов — Ботанического института им. В.Л. Комарова (БИН) РАН и Института океанологии (ИО) РАН.

Сотрудниками лаборатории альгологии БИН РАН исследования водорослей Антарктики были начаты в 1957 году. Пробы мхов, лишайников и пресноводных водорослей были собраны М.М. Голлербахом в рамках сезонных работ 2-й Комплексной антарктической экспедиции в окрестностях станции Мирный. После этого в морях вокруг южного континента работали наши коллеги, специализирующиеся на солонководной флоре. Пробами водорослей-макрофитов занимались Ю.Б. Околюдов, Ю.Е. Петров, К.Л. Виноградова, морской зообентос изучал В.А. Николаев. На основании собственных сборов и сборов коллег из Зоологического института (ЗИН) РАН с 2006 года морские микроскопические водоросли исследует Р.М. Гогорев. Благодаря коллегам, с 2009 года привозившим из антарктических экспедиций пробы почв, В.М. Андреевой опубликован ряд статей по почвенным водорослям. Позднее к обработке почвенных образцов присоединились О.Я. Чаплыгина, С.В. Смирнова и сотрудница кафедры ботаники СПбГУ Н.Б. Балашова. Р.Н. Беляковой в середине 1980-х годов опубликовано две статьи, посвященные морским и пресноводным цианопрокариотам (сине-зеленым водорослям) острова Кинг Джордж. В сезон 61-й РАЭ (в 2016 году) было положено начало систематическому сбору и изучению пресноводных водорослей и цианопрокариот сотрудниками БИН РАН. Пробы для сотрудников лаборатории собирала Т.В. Сафронова в районе станции Прогресс.

В рамках сезонных работ 62-й РАЭ в 2017 году в пресноводных водоемах Антарктики были собраны пробы водорослей и цианопрокариот. В экспедиции на борту НЭС «Академик Федоров» нам, сотрудницам лаборатории альгологии Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН, удалось посетить

три антарктических оазиса: оазис Холмы Ларсеманн (ст. Прогресс), оазис Ширмахера (ст. Новолазаревская) и остров Кинг Джордж (ст. Беллинсгаузен). Целью работы являлось комплексное изучение водорослей и цианопрокариот в морских (прибрежная часть) и континентальных водоемах, а также в наземных экосистемах Антарктики.

Собранные пробы были предварительно просмотрены в световом микроскопе. В последующем для более точного определения видов планируется изучение собранных проб сотрудниками лаборатории альгологии БИН РАН, специализирующимися на изучении разных систематических групп. Золотистые водоросли, для определения которых необходимо исследование ультраструктуры, покровов клеток (чешуек, панциря, цист), будут изучены методами сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии. Часть проб была отдана специалистам кафедры микробиологии СПбГУ для выведения в культуру и определения последовательности ДНК. Проращивание и определение почвенных образцов будет проводиться в стерильном боксе в лаборатории альгологии БИН РАН.

На исследованных нами в этом году территориях уже были проведены научные работы зарубежными коллегами. В оазисе Холмы Ларсеманн английские альгологи изучали диатомовые водоросли, в работе австралийских коллег упоминаются диатомовые и десмидиевые водоросли. В оазисе Ширмахера по цианопрокариотам работали индийцы и международная группа, состоящая из российских, польских и немецких геологов, изучавшая диатомовые и десмидиевые водоросли в донных осадках озер. Наиболее изученная в альгологическом плане территория — Южные Шетландские острова, ряд серьезных работ, посвященных цианопрокариотам и некоторым группам эукариотических водорослей, опубликован чешскими альгологами. Несмотря на то, что изучение водорослей в этих районах уже проводилось, тут все еще остается простор для исследования. Для наиболее полного выявления видового