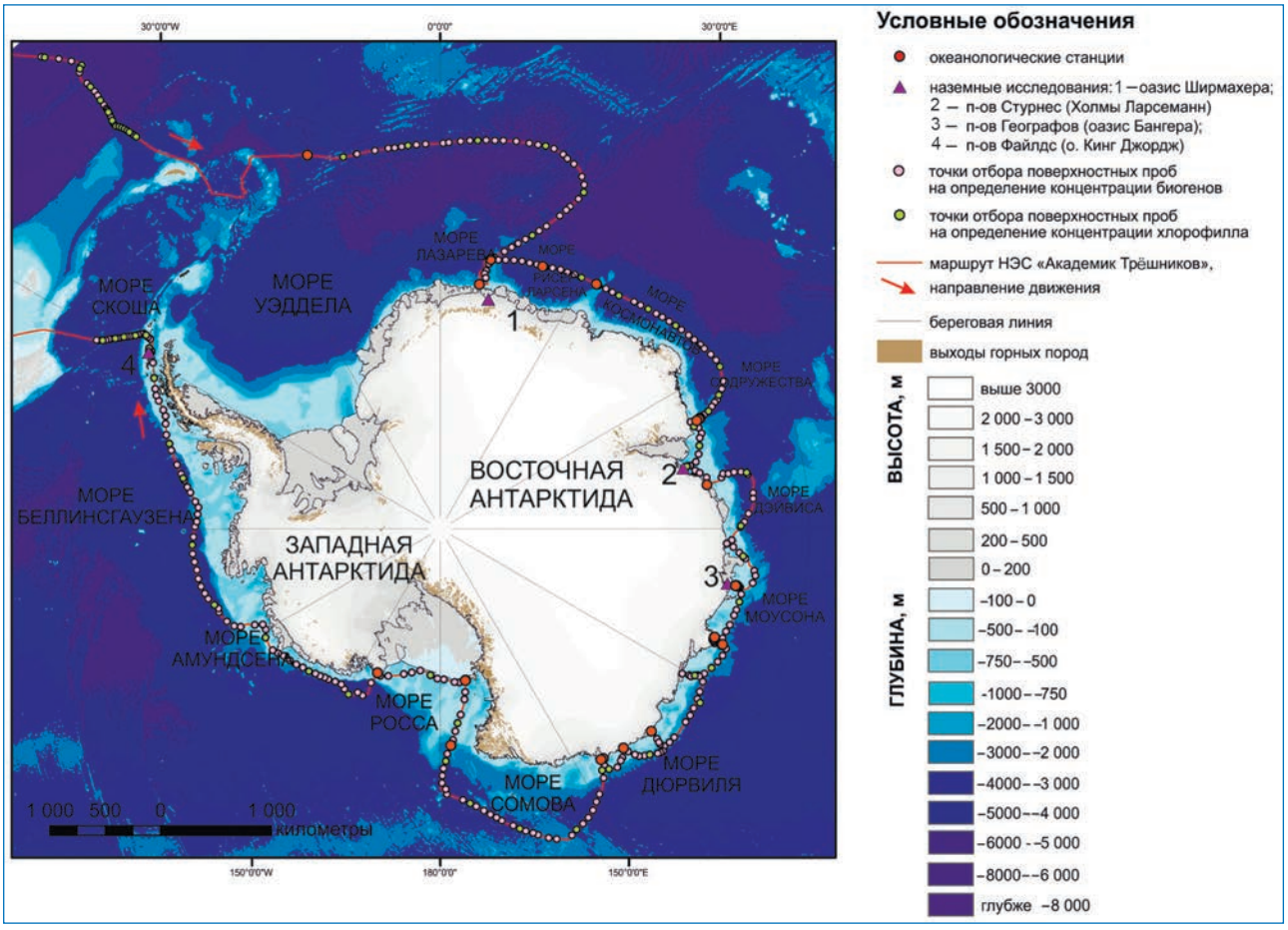
МЕЖДУНАРОДНАЯ АНТАРКТИЧЕСКАЯ ВДОЛЬБЕРЕГОВАЯ КРУГОСВЕТНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ (INTERNATIONAL ANTARCTIC COASTAL CIRCUMNAVIGATION EXPEDITION 2024–2025, ICCE)

Антарктическим летом 2024/25 года состоялась Международная антарктическая вдольбереговая кругосветная экспедиция (ICCE).

Организатором экспедиции стал Полярный и климатический центр Федерального университета Риу-Гранди-ду-Сул (Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPC/UFRGS, Порту Алегри, Бразилия). Генеральным координатором ICCE был профессор Джефферсон К. Симоес (Jefferson C. Simões) из CPC/UFRGS, делегат от Бразилии в Научном комитете по антарктическим исследованиям (SCAR). Экспедиция финансировалась швейцарским фондом Fondation Albedo pour la Cryosphere, при поддержке бразильской антарктической программы (PROANTAR) через Бразильский национальный совет по научному и технологическому развитию (CNPq). Экспедиция базировалась на борту научно-экспедиционного судна (НЭС) «Академик Трёшников», принадлежащего Государственному научному центру Российской Федерации Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ГНЦ РФ ААНИИ).

В ходе реализации работ экспедиции осуществлялось кругосветное плавание в водах Антарктики, во время которого выполнялись отбор проб для биологического, химического и физического анализа сред, геофизические исследования, сбор гляциологических, океанографических и атмосферных данных. Исследования проводились по всему маршруту, пробы отбирались



Маршрут международной антарктической вдольбереговой кругосветной экспедиции (ICCE)

попутно, на океанографических станциях, на местности вблизи некоторых антарктических станций и прибрежных ледяных массивов. Параллельно с научными работами ICCE оказывала материально-техническую поддержку воздушной экспедиции RINGS, которая вела съемку кромки антарктического ледяного щита.

Всего в экспедиции участвовало 57 исследователей из 7 стран (Аргентина — 2, Бразилия — 29, Индия — 7, Китай — 7, Перу — 2, Россия — 8, Чили — 2) и 22 организаций:

CADIC-CONICET — Centro Austral de Investigaciones Científicas — Южный центр научных исследований, Аргентина;

CPC/UFRGS — Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul — Полярный и климатический центр, Федеральный университет Риу-Гранди-ду-Сул, Бразилия;

UFF — Fluminense Federal University — Федеральный университет Флуминенсе, Бразилия;

FURG — Universidade Federal do Rio Grande — Федеральный университет Риу-Гранди, Бразилия;

UFPR — Federal University of Parana — Федеральный университет Параны, Бразилия;

UFMA — Federal University of Maranhão — Федеральный университет Мараньяна, Бразилия;

USP — Universidade de São Paulo — Университет Сан-Паулу, Бразилия;

UNB — University of Brasília — Университет Бразилии, Бразилия;

UFPE — Federal University of Pernambuco — Федеральный университет Пернамбуку, Бразилия;

UFSC — Universidade Federal de Santa Catarina — Федеральный университет Санта-Катарины, Бразилия;

UFV — Universidade Federal de Vicosa — Федеральный университет Висозы, Бразилия;

UFMG — Universidade de Minas Gerais — Университет Минас-Жерайс, Бразилия

NCPOR — National Centre for Polar and Ocean Research — Национальный центр полярных и океанических исследований, Индия;

PRIC — Polar Research Institute of China — Институт полярных исследований Китая, Китай;

Universidad Científica del Sur — Южный научный университет, Перу;

UNSAAC — Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco — Национальный университет Сан-Антонио Абад из Куско, Перу;

UMAG — Universidad de Magallanes — Университет Магальянес, Чили;

INACH — Instituto Antártico Chileno — Чилийский антарктический институт, Чили;

С российской стороны в экспедиции принимали участие сотрудники:

ААНИИ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,

ФГБУН ИО РАН — «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук», Минобрнауки России,

ФГБУ «Институт оптики атмосферы СО РАН» — Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН,

Филиал ППК «Роскадастр» «Аэрогеодезия».

18 ноября 2024 года НЭС «Академик Трёшников» ошвартовалось в порту Риу-Гранди, Бразилия, где началась мобилизация ICCE. 23 ноября НЭС покинуло порт Риу-Гранди и направилось в Антарктику, чтобы обогнуть южный материк, двигаясь с запада на восток.

Попутные исследования морской поверхности начались сразу по выходе в нейтральные воды. 10 декабря НЭС пришло в море Лазарева в район оазиса Ширмахера для проведения наземных работ. С помощью вертолета Ка-32С была выполнена 6-часовая высадка для работ в районе индийской станции Мэйтри и российской станции Новолазаревская. Далее судно двинулось в море Содружества, выполнив по пути две единичные океанографические станции в море Рисер-Ларсена и мини-разрез из трех станций в полынье Дарнли в море Содружества. 19 декабря НЭС подошло в район оазиса Холмы Ларсеманн. Также с помощью вертолета была выполнена 6-часовая высадка для наземных работ северной части полуострова Стурнес, в районе российской станции Прогресс и китайской станции Чжуншань. Далее судно продолжило движение на восток через море Дейвиса в море Моусона, сделав океанографическую станцию в районе полыньи бухты Барриеревика у барьера шельфового ледника Западный (восточная часть залива Прюдс, море Содружества). 24 декабря 2024 года НЭС прибыло в район оазиса Бангера, где была выполнена следующая вертолетная 6-часовая высадка для наземных работ в северной части полуострова Географов, а также одна комплексная океанографическая станция и одна полусуточная океанографическая станция. Затем судно двинулось дальше на восток, выполнив три комплексные океанографические станции в районе мыса Пойнсетт в море Моусона и три станции в море Дюрвиля: в районах полыней айсбергового языка Дибла и ледника Мерца и французской станции Дюмон-д'Юрвиль. Три комплексные океанографические станции были выполнены в море Росса: на склоне и районе полыньи шельфового ледника Росса в западной части моря и у мыса Колбек в восточной части моря. Далее судно двинулось в сторону острова Кинг Джордж через моря Амундсена и Беллинсгаузена. 21 января 2025 года была предпринята попытка подъема притопленной буйковой станции АМ3, установленной в 2021 году Китайской национальной антарктической исследовательской экспедицией (CHINARE) в море Беллинсгаузена. Попытка была наполовину успешной: часть станции была утеряна во время подъема — на борт были возвращены придонные измеритель течений и CTD-регистратор. 23 января НЭС прибыло в район острова Кинг Джордж и зашло в бухту Адмиралти. С помощью плавсредств соответствующих станций два перуанских и один бразильский участник покинули экспедицию, высадившись на станциях Мачу-Пикчу и Феррас соответственно. 24 января судно проследовало в бухту Ардли. С помощью плавсредств была выполнена 2-часовая высадка на полуостров Файлдс для наземных работ в районе китайской станции Чанчэн, российской станции Беллинсгаузен и чилийской станции Фрей. Также два чилийских участника экспедиции покинули экспедицию, высадившись на станции Фрей. Далее судно двинулось на север и 25 января вошло в ИЭЗ Аргентины, попутные морские работы были завершены. 31 января 2025 года НЭС «Академик Трёшников» прибыло в порт Риу-Гранди для выгрузки иностранных участников ICCE и их оборудования. ICCE завершилась. За 70 суток НЭС «Академик Трёшников» преодолело около 14669 морских миль, обогнув Антарктиду, двигаясь в направлении на восток.

За время экспедиции российскими участниками экспедиции был выполнен значительный объем исследований, включавший в себя:

– 19 комплексных океанографических станций (37 CTD-зондирований, 19 вертикальных ловов планктонной сетью);

– запись 13615 морских миль (57 суток) данных о скорости и направлении течений в верхнем 700-метровом слое;

– 1991 определение гидрохимических параметров;

– 218 определений гидробиологических параметров;

– отбор ряда палеогеографических проб;

– работы в рамках почвенных исследований;

– измерение аэрозольных и оптических свойств атмосферы, озонового слоя;

– геодезические и геодинамические работы.

В рамках зарубежных программ иностранными участниками экспедиции были выполнены следующие работы:

– запущено атмосферных радиозондов — 43;

– выполнено 5 гляциологических станций, на которых взято в общей сложности 90 м кернов снега/фирна;

– проведены попутные наблюдения поверхностного слоя океана с помощью проточной системы анализа поверхности морской воды;

– проведен ряд атмосферных исследований: общей концентрации озона, прозрачности атмосферы, гранулометрического состава аэрозолей, концентрации черного углерода, отбор проб аэрозолей для анализа на содержание изотопов углерода, ионный и элементный состав;

– осуществлены биологические и микробиологические исследования;

– проведены исследования озер и многолетнемерзлых грунтов.

Одним из основных результатов реализации океанографической программы работ является определение отличительных особенностей термохалинных и гидрохимических характеристик вод на разных участках антарктического шельфа и склона в Восточном секторе Антарктиды и море Росса в период одного сезона. Как и предполагалось, наиболее плотные модификации шельфовых вод зафиксированы в районах крупных квазистационарных полыней: мыса Дарнли, бухты Барриеревика, айсбергового языка Дибла, ледника Мерца и шельфового ледника Росса. Наиболее соленые и холодные шельфовые воды наблюдались в районах полыней ледника Мерца (котловина Адели) и шельфового ледника Росса. Нужно отметить, что концентрации растворенного кислорода и биогенных элементов в этих водах различны. Наиболее насыщенные кислородом шельфовые воды зафиксированы в морях Моусона и Дюрвиля, наименьшие концентрации растворенного кислорода наблюдались в море Росса. Наибольшие концентрации кремния и фосфатов наблюдались в районе квазистационарной полыньи ледника Мерц в море Дюрвиля.

Наиболее плотные модификации антарктических донных вод (АДВ) с относительно низкой соленостью (≤34,66 ЕПС), но с более низкой потенциальной температурой (–0,62 °С) зафиксированы на склоне в непосредственной близости к району-источнику АДВ в районе полыньи мыса Дарнли (море Содружества). Их нейтральная плотность достигла 28,40 кг/м^3 на глубине 1470 м. Также эти воды отличаются высокой концентрацией растворенного кислорода и низкими концентрациями растворенного кремния и фосфатов. В море Моусона также зафиксированы низкосоленые модификации АДВ. Достаточно низкая температура этих вод и достаточно высокие концентрации растворенного кислорода также позволяют предположить близость района-источника этих вод.

В рамках попутных наблюдений и исследований на комплексных океанографических станциях определены особенности распределения концентраций биогенных элементов, хлорофилла «а» и видового состава зоо- и фитопланктонных сообществ практически во всех окраинных морях Антарктиды. Наиболее высокие значения как биогенных элементов, так и хлорофилла «а» наблюдались в районах четырех наиболее значимых квазистационарных полыней мыса Дарнли, бухты Барриеревика, ледника Мерца и шельфового ледника Росса и в районах апвеллинга циркумполярных глубинных вод — в акваториях над западным склоном подводного хребта Гуннерус и шельфом в районе моря Амундсена. Низкие концентрации хлорофилла «а» наблюдались в морях Лазарева, Космонавтов, Моусона, Сомова и в море Беллинсгаузена.

Бортовым акустическим доплеровским профилографом течений были получены данные по скорости и направлению некоторых струй Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) во время переходов из порта Риу-Гранди до станции Новолазаревская и от станции Беллинсгаузен до порта Риу-Гранди, струй Южного фронта АЦТ и Антарктического склонового течения на разных участках во время движения вокруг Антарктиды, а также Антарктического прибрежного течения на шельфе морей Лазарева, Содружества, Дейвиса, Моусона, Дюрвиля, Росса.

В ходе наземных исследований были изучены озера, расположенные в трех оазисах Восточной Антарктиды: оазисы Ширмахера, Бангера и Холмы Ларсеманн. В озере LH1, расположенном в оазисе Холмы Ларсеманн, была зафиксирована самая высокая концентрация хлорофилла «а» (0,92 мг/м^3). Во время отбора проб визуально наблюдались большие скопления водорослей. Концентрация биогенных элементов в этом водоеме оказалась низкой, что свидетельствует об активном потреблении их фитопланктоном.

В ходе палеогеографических и геоморфологических исследований были получены новые данные о рельефе и строении покрова четвертичных отложений северной части полуострова Стурнес (Холмы Ларсеманн), западной части полуострова Файлдс о. Кинг Джордж, северной части полуострова Географов (оазис Бангера), отобраны колонки донных отложений озера Глубокое (оазис Ширмахера), современный и ископаемый органический материал. Дополнительно отобраны мхи, лишайники и поверхностные пробы в районах работ.

Результаты полевых и последующих аналитических исследований позволят детализировать реконструкции изменений окружающей среды краевой зоны Антарктиды в голоцене.

Донные отложения оз. Глубокое представлены песками и илами с гравием и галькой, перекрытыми слоистыми илами в краевой части и илистыми осадками с высоким содержанием водных мхов — в центральной части озера. Аналитические исследования (AMS-датирование, геохимический, диатомовый и другие анализы) отобранных образцов позволят получить информацию об изменении климата в восточной части оазиса Ширмахера и особенностях осадконакопления в водоеме за последние тысячелетия. Дополнительно в этом районе и в северной части полуострова Стурнес (Холмы Ларсеманн) были описаны и отобраны соляные корки на разных гипсометрических уровнях (до 50 м над уровнем моря), зафиксированы находки окатанных валунов и галек, свидетельствующие о более высоких положениях относительного уровня моря в прошлом.

В западной части полуострова Файлдс, остров Кинг Джордж выполнено описание морских аккумулятивно-абразионных уровней и слагающих их отложений (в шур-

фах), отобраны ископаемые раковины моллюсков, возраст которых уточнит время формирования террас. Радиоуглеродное датирование отобранного на побережье современного малакофаунистического материала позволит получить новые данные о локальном резервуарном эффекте при использовании данного метода. В районе станции Беллинсгаузен были отобраны поверхностные пробы, последующий палинологический анализ которых выявит содержание в них дальнезаносной пыльцы. Эти работы являются частью большого комплекса аэропалинологических исследований на территории Южно-Шетландских островов.

Также для всех районов работ были получены материалы (образцы мхов, водорослей и лишайников), которые впоследствии позволят получить новые данные о растительном покрове для изученных территорий.

Проведенные в рамках международной экспедиции почвенные исследования позволили определить основные лимитирующие факторы почвообразования в исследуемых регионах (оазисы Восточной Антарктиды, остров Кинг Джордж). Помимо этого, логистика экспедиции дала возможность провести детальные работы в отдаленных участках оазиса Ширмахера и оазиса Бангера, что позволит существенно дополнить базу фактического материала по формированию и эволюции почв Антарктиды. Острый недостаток влаги, ультрафиолетовое излучение, резкие перепады температур, сильные ветра значительно снижают первичную продукцию органического вещества и образование органогенных горизонтов на поверхности рыхлых и скальных субстратов, преобладающих в исследуемых районах Антарктиды. Важной особенностью ландшафтов изученных оазисов является то, что большая часть биомассы сосредоточена под дневной минеральной поверхностью, что сильно изменяет вертикальную организацию почвенной толщи. Главным лимитирующим фактором для развития почвообразования в оазисах Восточной Антарктиды является увлажнение. Тающие в летние месяцы снежники являются определяющим регулятором био- и педоразнообразия.

Стоит отметить, что в пространственном отношении большую часть изученных оазисов Восточной Антарктиды занимают почвенные комбинации сильнокаменистых, маломощных почв с недостатком увлажнения под лишайниковой растительностью на водораздельных и склоновых элементах мезорельефа, а также более богатых в плане увлажнения, количества мелкозема и содержания органического вещества почв под мохово-лишайниковыми сообществами (и альгобактериальными матами) в локальных понижениях мезорельфа, ветровых убежищах и наскальных ваннах. В межгорных долинах, где в основном встречается вышеупомянутый тип почвенных профилей, основным фактором, определяющим развитие биотических комплексов на поверхности почв, является разнообразие форм микро- и мезорельефа. Именно благодаря ему возможно существование ветровых теней на бортах долин и «ветровых убежищ» в наскальных ваннах, что способствует образованию многолетних снежников и перераспределению влаги.

На острове Кинг Джордж чаще всего были описаны почвы типов орнитогенные и посторнитогенные, которые наиболее часто встречаются в местах гнездования и линьки пингвинов. Под воздействием птиц формируется специфический орнитогенный микрорельеф, отличающийся от зонального почвенно-растительного покрова. В связи с этим наличие органического вещества, переносимого птицами в наземные экосистемы, является критически важным для устойчивого развития экосистем и обеспечения экологической стабильности региона в целом. Разными авторами ранее была установлена специфика организации и функционирования орнитогенных почв Антарктики.

Предварительная обработка данных аэрозольных, оптических свойств атмосферы и озонового слоя показала, что концентрации черного углерода варьировались в диапазоне от 17 до 205 нг/м^3, при среднем значении 43 нг/м. Для субмикронных частиц диапазон изменения составил 0,01–1,22 мкм^3/см^3. О высокой прозрачности атмосферы в приземном слое свидетельствуют и низкие объемные концентрации мелкодисперсного аэрозоля. Среднее значение V_f составило 0,35 мкм^3/ см^3. Среднее значение объемной концентрации крупнодисперсного аэрозоля V_c составило 2,79 мкм^3/см^3. Редкий рост концентраций крупных и мелких частиц наблюдался при отходе и подходе судна к порту.

Концентрации антропогенного аэрозоля в период рейса были довольно низкие и согласуются с данными предыдущих экспедиций. Небольшое влияние континентального аэрозоля проявилось во время работ судна на подходах к портовой зоне. На высокие концентрации V_c = 2,79 мкм^3/см^3 повлияли штормовые условия и сильный ветер в период рейса.

В ходе геодезических и геодинамических работ был выполнен контроль работы GNSS-приемников, установленных на пунктах ФАГС, выполнены GNSS-измерения, получены сведения о геодинамических процессах, происходящих в Антарктиде, для контроля вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности, связанных с изостатической разгрузкой (поднятие коры после таяния ледников), тектонической активностью и ледниковой динамикой. Полученные сведения о координатах и скоростях движения пунктов ФАГС с трех станций будут помещены в федеральный фонд пространственных данных.

Были проведены рекогносцировочные работы для закладки новых гравиметрических пунктов. Произведен контроль основных и контрольных гравиметрических пунктов на двух станциях. Создание новых и контроль ранее созданных гравиметрических пунктов позволяет произвести абсолютные гравиметрические наблюдения с целью уточнения модели гравитационного поля Земли, так как ледниковый щит влияет на гравитационные аномалии.

Автор выражает благодарность Fondation Albedo pour la Cryosphere и Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Brazilian Antarctic Program (PROANTAR), Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CPC/UFRGS), а также генеральному координатору экспедиции — профессору Федерального университета Риу-Гранди-ду-Сул, делегату от Бразилии в Научном комитете по антарктическим исследованиям (SCAR) Джефферсону К. Симоесу (Jefferson C. Simões) за предоставленную возможность участия в ICCE.

Также автор благодарит капитана НЭС «Академик Трёшников» Дмитрия Александровича Карпенко, помощника капитана по научной части Григория Александровича Константинова и весь экипаж судна, командира воздушного судна Ка-32С Дениса Александровича Костина и весь экипаж вертолета за содействие и высококвалифицированную работу в сложных условиях при выполнении задач экспедиции.

Российские почвенные исследования И.И. Алексеева были поддержаны грантом Российского научного фонда № 24-27-00361, https://rscf.ru/project/24-27-00361/.

Н.А. Куссе-Тюз, Д.А. Соловьёва, И.И. Алексеев, Я.В. Швед, А.А. Петрова (ААНИИ), А.А. Федотова, Ю.С. Турчинович (ААНИИ, ИОА СО РАН), И.Д. Уткин («Аэрогеодезия»)