

В ПОИСКАХ ЖИЗНИ ПОДО ЛЬДОМ – ТЕСТОВОЕ БУРЕНИЕ ШЕЛЬФОВОГО ЛЕДНИКА МАК-МЕРДО (ПРОЕКТ WISSARD)

Изучение подледниковых антарктических озер относится к разряду фронтальных и наиболее дорогостоящих научных проектов, осуществляемых на шестом материке. Очевидно, что только прямые исследования и отбор проб из этих малодоступных водоемов могут ответить на интересующие ученых вопросы, а именно: представляют ли они экстремальные природные местообитания, населенные микроорганизмами с еще неизвестными науке механизмами эволюционной адаптации, и содержат ли они в своих осадках информацию об истории ледникового щита и климатических изменениях далекого прошлого. Мировая научная общественность, отечественные и зарубежные средства массовой информации внимательно следят за успешным продвижением российской программы исследований крупнейшего на нашей планете подледникового озера Восток (Восточная Антарктида) и первыми шагами по реализации проектов исследования более мелких подледниковых водоемов Западной Антарктиды – озера Элсуорт (британский проект) и озера Вильянс (американский проект WISSARD).

Департамент полярных программ Национального научного фонда (OPP NSF) США обратился в Российскую антарктическую экспедицию с предложением направить российского специалиста в качестве наблюдателя на испытания бурового и научного оборудования, подготовленного для реализации проекта WISSARD. Это приглашение стало возможным благодаря подписанию 8 сентября 2012 г. Меморандума о взаимопонимании между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки в об-

ласти сотрудничества в Антарктике. В качестве специалиста-наблюдателя на американскую антарктическую базу Мак-Мердо в декабре 2012 г. была направлена И.А.Алехина, старший научный сотрудник ААНИИ.

Шестилетний проект WISSARD (The Whillans Ice Stream Subglacial Access Research Drilling, 2009–2015 гг.) предусматривает комплексное исследование разветвленной гидрологической системы, находящейся под ледниковым потоком Вильянс и соединяющейся с океаном под шельфовым ледником Росса. Исследования ведутся в рамках трех взаимосвязанных программ, нацеленных на изучение геологии, гидрологии и геомикробиологии этой подледниковой системы.

Испытания бурового и научного оборудования, предназначенного для выполнения этих программ, проводились в декабре 2012 г. на шельфовом леднике Мак-Мердо, в пункте с координатами 77° 53' ю.ш., 167° 00' в.д., расположенном недалеко от главной базы Антарктической программы США – станции Мак-Мердо. Мощность ледника в пункте бурения составляла 56 м, глубина моря – 917 м. Для про-

ходки «скважины доступа», как это и было предусмотрено проектом WISSARD, использовалась технология бурения горячей водой, ранее применявшаяся при создании нейтринной обсерватории на американской станции Амундсен-Скотт (проект IceCube). В задачи тестового бурения входили проверка конфигурации главной операционной палубы и основной инфраструктуры полевого лагеря, апробирование новых мобильных лабораторий, испытание всего научного оборудования в реальных условиях и – самое главное – проверка технологии



Общий вид лагеря на озере Вильянс.



Физико-океанографический модуль и геотермальный датчик перед погружением в скважину.



Система очистки шланга перед погружением. Слева – манжета с водой и воздухом, справа – УФ-хомуט.

Спускаемые аппараты проекта WISSARD и результаты их испытаний

Оборудование	Назначение	Результаты спусков	
		Шельф Мак-Мёрдо	Озеро Вильянс
Пробоотборники Niskin и Go-Flow	Пробы воды на биологические и геохимические анализы	35 л воды с разных горизонтов	Более 40 л озерной воды
Система McLane для фильтрации воды	Пробы на диатомовый анализ (фильтр 10 мкм), микроскопия и анализ ДНК (фильтры 3 мкм и 0,2 мкм)	Фильтрация 295 л	Две фильтрации озерной воды, каждая более 5 л
Модуль CTD Seabird 19Plus V2	Измерение в реальном времени глубины, температуры и электропроводности	Калибровка режимов, данные двух погружений	Данные нескольких погружений
Физико-океанографический модуль (POP, Physical Oceanographic Package, Seabird SMP 37 CTD)	Видеосъемка в реальном времени; измерение в реальном времени глубины, температуры, электропроводности и скорости течения воды, концентрации и размеров взвешенных частиц, растворенного кислорода; полуколичественное определение хлорофилла	Видеоинформация о стенках скважины, водной колонке и дне водоема, результаты измерений	Не был спущен из-за возникших сложностей с лебедкой
Химический модуль (Water nutrient chemistry Instrument Package For Sub-Ice Exploration – WIPSIE)	Прямые измерения ионов NH ₄ , NO ₃ , Si, PO ₄ . Измерение растворенного метана и углекислого газа	Испытаний не было из-за недостатка времени	Не был спущен из-за возникших сложностей с лебедкой
Геотермальный датчик	Измерение геотермального потока	Погружение на 1,4 м в осадки	2 погружения, высокоточные измерения температуры и теплопроводности
Системы отбора осадков: Ekman Sediment Dredge, Uwitech multicorer, Piston corer	Пробы на биологические и геохимические анализы	Погружение без отбора проб из-за сильного прилива и сноса к донной скальной породе	4 погружения, 6 полноценных кернов осадков длиной 50 см. Один керн длиной 1 м
Ударный бур-пробоотборник	Пробы осадочных пород для палеографических исследований	Испытание на поверхности для получения наибольшей силы гидравлического удара	Керн осадочных пород длиной в несколько метров
Система контроля скважины (DOCTOR, Downhole Optical Camera To Observe Roundness)	Измерение диаметра скважины и определение формы ее поперечного сечения	Испытаний не было	Видеоинформация о скважине. Продемонстрирована необходимость использования системы при бурении скважины
Автономный подводный аппарат с видеокамерой (MSLED, Micro Subglacial lake Exploration Device)	Измерение в реальном времени глубины, температуры и электропроводности. Видеосъемка в реальном времени.	Видеоинформация высокого качества о стенках скважины	Видеоинформация высокого качества о скважине. В озеро аппарат не опускался из-за замерзания скважины

бурения и отработка его режимов с соблюдением мер по предотвращению загрязнения подледниковой среды. Все основные буровые операции, спуски измерительных модулей и отбор проб были выполнены в период с 18 по 22 декабря 2012 г. Несмотря на большой опыт бурения горячей водой, команда американских буровиков под руководством опытного Денниса Дулинга (Dennis Duling) впервые столкнулась с необходимостью использовать специальное оборудование для микробиологической очистки горячей воды, предназначенной для бурения ледника. Технология экологически чистого доступа к подледниковому водоему включала последовательную очистку горячей воды системами фильтров с размером пор 2 и 0,2 мкм, последующее облучение воды ультрафиолетовым (УФ) излучением с двумя различными длинами волн (185 и 245 нм) и пастеризацию воды (т.е. выдержку ее при высокой температуре в течение нескольких часов). Опускаемый в скважину шланг предварительно очищался снаружи потоками воздуха и воды, подаваемыми под большим давлением. Перед непосредственным погружением в скважину шланг облучался УФ лампами, установленными над устьем скважины. Научный персонал отвечал за проверку эффективности системы очистки воды и подготовку своего оборудования для спуска в скважину.

В ходе тестового бурения предстояло решить следующие основные задачи: продемонстрировать потенциал системы очистки для больших объемов расплавленного снега (~115 м³) в полевых условиях, определить эффективность системы удаления бактериальных клеток из водного потока, определить влияние высоких концентраций субмикронных частиц на скорость прохождения воды через систему фильтров. Источником воды для буровой установки был снег, собранный в районе лагеря. Он загружался с помощью погрузчика в плавильный аппарат, производительность которого во время буровых операций достигала 190 л воды в минуту. После прохождения модулей фильтрации и УФ облучения вода дополнительно нагревалась и под давлением подавалась в основной шланг длиной 1000 м и диаметром 3,1 см, на конце которого выходила под давлением через сопло бурового снаряжения. Микробиологические анализы показали, что концентра-

ция ДНК-содержащих клеток, достигавшая перед системой очистки $7,6 \times 10^3$ клеток/мл, после очистного модуля уменьшалась более чем в 50 раз. Таким образом, более 95 % бактериальных клеток удалялись при прохождении через систему очистки, при этом количество оставшихся в воде живых клеток составляло менее 50 %. Основные параметры воды на выходе из бурового снаряжения соответствовали тем, которые были рекомендованы Кодексом проведения исследований подледниковых водоемов, разработанным SCAR.

Для предотвращения теплового воздействия при вскрытии подледникового водоема был предусмотрен ряд мер. Так, непосредственно перед проникновением скорость потока, исходящего из сопла, снижалась до 0,1 м/мин. Технологией также предусматривалось уменьшение давления в скважине, приводящее к подъему подледниковой воды после ее вскрытия на 20 м от нижней поверхности ледника. Эти меры исключали попадание теплой воды в подледниковую среду. Температура воды в скважине во время испытаний не превышала 5 °С, что обеспечивало микробиологическую целостность 3–10-литровых проб подледниковой воды, доставляемых в пробоотборнике на поверхность.

Сквозное бурение скважины доступа на шельфовом леднике Мак-Мердо было успешно осуществлено 18 декабря. Испытание научного оборудования заключалось в погружении в скважину различных видов приборов, предназначенных для отбора проб и измерения параметров водной среды. Описание испытанного оборудования приведено в таблице. Часть отобранных проб была обработана прямо на месте в мобильных лабораториях, остальные – доставлены в Лабораторию Крэри (Crary Lab) на станции Мак-Мердо для последующих анализов. На примере физико-океанографического модуля были отработаны приемы очистки оборудования и сохранения его чистоты до погружения в скважину. Так называемая «умная» лебедка, предназначенная для погружения тяжелого оборудования и передачи данных в режиме реального времени, была проверена на передачу команд инструментам и пробоотборникам с поверхности и передачу информации на поверхность. В результате был обновлен алгоритм для обработки данных в режиме реально-



Подготовка термодатчиков.



Отработка методов подготовки чистого оборудования.



Первая проба осадков из подледникового водоема Вильянс.

го времени. Последним был испытан автономный исследовательский модуль (MSLED, Micro Subglacial Lake Exploration Device), созданный в сотрудничестве с NASA.

В ходе испытаний бурового и научного оборудования в полевых условиях были получены полезные уроки и приобретен уникальный опыт, почти все возникшие проблемы были решены на месте. Все это позволило команде проекта WISSARD считать, что она полностью готова к экологически чистому проникновению в подледниковое озеро Вильянс для отбора проб воды и осадков.

Российский специалист участвовал во всех планерках и научных совещаниях команды WISSARD, помогал готовить оборудование и расходные материалы для биологических исследований, а после начала буровых операций и во время спусков научного оборудования в скважину – постоянно находился на буровой площадке, наблюдая и, по возможности, принимая участие в работах. На одном из научных семинаров автором статьи было сделано научное сообщение о проникновении в озеро Восток, вызвавшее большой интерес как технического персонала (буровиков и морских техников), так и научных сотрудников. К сожалению, российский наблюдатель не присутствовал при проникновении в озеро Вильянс, тем не менее опыт и впечатления, накопленные им за время проведения испытаний оборудования, могут быть использованы при планировании дальнейших исследований подледникового озера Восток.

Проект WISSARD выполняется консорциумом, объединяющим 8 американских университетов с привлечением специалистов из Италии и Великобритании. Операционную и логистическую поддержку полевых работ обеспечивают 4 организации; в финансировании проекта участвуют 4 крупнейших американских фонда: NSF, NASA, NOAA, Gordon and Betty Moore Foundation. Принимая во внимание инновационный характер проекта, его мультидисциплинарную направленность и высокие требования, предъявляемые к техническому и технологическому обеспечению проводимых исследований, WISSARD можно считать одним из немногих проектов, относящихся к разряду «мегасайенс», которые осуществляются в настоящее время в Антарктиде. В связи с этим хочется отметить отдельные особенности реализации этого проекта, которые произвели наиболее сильное впечатление на российского наблюдателя. К ним относятся:

– использование мобильных лабораторий, позволяющих делать экспресс-анализ (или консервирование) образцов непосредственно в полевых условиях и служащих для очистки и подготовки спускаемого в скважину оборудования;

– наличие на станции Мак-Мердо хорошо оборудованной стационарной лаборатории, в которой возможно проводить более сложные исследования свежих образцов;

– высокий уровень организации проекта, четкая взаимосвязь всех участников проекта и вспомогательных служб станции Мак-Мердо, которая обеспечивалась путем проведения ежедневных утренних планерок и вечерних научных заседаний, на которых обсуждались результаты и планы работ, корректировалось расписание испытаний;

– высокая концентрация современных технических средств и технологий, которая вначале казалась даже чрезмерной, но в итоге позволила максимально эффективно выполнить запланированные работы в отведенное для этого короткое время;

– специально разработанная информационная политика, регламентирующая общение участников проекта с представителями СМИ и обеспечивающая максимальную освещенность проекта на различных информационных уровнях – от ведущих международных научных и научно-популярных изданий до блогов, ежедневно обновляемых специалистами с педагогическим образованием.

27 января 2013 г., спустя месяц после отъезда российского наблюдателя со станции Мак-Мердо, американские специалисты успешно проникли в подледниковый водоем Вильянс и благополучно отобрали пробы воды и донных осадков. Глубина водоема в точке проникновения составила не более 1,5 м. В режиме реального времени были выполнены видеосъемка ствола скважины и дна водоема, а также прямые измерения некоторых физических и химических параметров подледниковой воды. В развернутых мобильных лабораториях проведены первые исследования отобранных образцов. Они показали наличие большого количества ДНК-содержащих бактериальных клеток (до 1000 в 1 мл воды), многие из которых оказались живыми. Из свежих образцов проведены микробиологические высевы, остальные образцы отправлены в США для дальнейших анализов. К сожалению, по техническим причинам не все намеченные эксперименты удалось выполнить (см. таблицу). После завершения работ лагерь и оборудование были законсервированы на зимний период. Прямые исследования озера Вильянс планируется продолжить с еще большим размахом антарктическим летом 2013/14 г.

И.А.Алехина (АНИИ).

Фото И.А.Алехиной и Дж.Т.Томаса (J. T. Thomas)

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОГРАММА «ГЕОТРАССЕРЫ» (GEOTRACES) В АРКТИКЕ

27–29 ноября 2012 г. в Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН в Москве состоялось первое рабочее совещание по международной программе «ГЕОТРАССЕРЫ» (GEOTRACES).

GEOTRACES – это международная программа, изучающая химию трассирующих, то есть оставляющих следы, элементов и изотопов в океанах. Список трассирующих элементов включает в себя питательные вещества, важные для морской биоты; загрязнители, способные нарушить состояние экосистем и повлиять на челове-

ческое здоровье; элементы, позволяющие оценивать изменения климата в прошлом. Программа GEOTRACES нацелена на изучение источников этих элементов, их переноса и трансформации на пространствах, охватывающих весь земной шар, а также исследование процессов их обмена с грунтом, донными отложениями, атмосферой и внутри водных масс. Эти исследования должны углубить наши знания об углеродистых и питательных циклах в открытом океане и прибрежных акваториях и их реакциях на изменения глобального климата.