

Рис. 3. Временная изменчивость осредненного по 100-метровому маршруту альbedo морского ледяного покрова на СП-35 и СП-36 (а) и распределения по глубине интенсивности проникающей под лед солнечной радиации (б).

до 0,4 – на 700–800 нм. Выявленная зависимость указывает на проблематичность использования интегрального альbedo, обычно применяемого в моделях морского ледяного покрова, особенно при изменяющейся по спектру в зависимости от состояния облачного покрова приходящей коротковолновой радиации.

На рис. 3б представлены уникальные данные о сезонной изменчивости спектрального распределения проникающей под ледяной покров солнечной радиации. Как видно из рисунка, в июле существенная ее часть в наиболее энергозначимой части спектра приходящей радиации (450–600 нм) достигает глубины порядка 20 м. При этом базирующиеся на данных наблюдений оценки показывают, что в

июне – июле интегральная величина потока солнечной радиации непосредственно под ледяным покровом составляет до 7,5 Вт/м<sup>2</sup>, что обеспечивает существенный прогрев верхнего слоя океана, который обычно не учитывается в численных моделях Северного Ледовитого океана.

В заключение следует отметить, что в данной статье не упомянуты выполняемые в рамках метеорологических исследований на дрейфующих станциях «Северный полюс» комплексные наблюдения за газовым составом приземного слоя атмосферы, позволившие выявить роль морского ледяного покрова в балансе углекислого газа (А.П.Недашковский, А.П.Макштас. Эмиссия CO<sub>2</sub> в атмосферу при образовании арктического морского льда // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (85). С. 35–44), а также наблюдения за общим содержанием озона и его распределением в атмосфере до высоты 30 км, впервые инструментально зафиксировавшие появление озоновой дыры в Центральной Арктике в марте 2011 г. (Manney G.L. et al. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011 // Nature, 2011. Vol. 478. P. 469–475). Также следует упомянуть и проводимые в тестовом режиме прямые измерения потоков тепла и влаги.

В целом созданный за последние годы высокоавтоматизированный метеорологический комплекс аппаратуры позволяет проводить небольшим, не более трех человек, метеорологическим отрядом подробные гидрометеорологические исследования от верхнего слоя океана до высоты порядка 30 км в атмосфере, результаты которых уже используются для совершенствования численных моделей прогноза погоды и климата. Опыт эксплуатации комплекса и полученные с его помощью данные были опубликованы в ряде статей и представлены на российских и международных научных конференциях. В июне 2012 г. на международном совещании по проекту организации под эгидой ВМО в 2015–2016 гг. Международной дрейфующей станции (г. Боулдер, США) состав комплекса и проводимых с его помощью наблюдений были приняты за основу метеорологических наблюдений на будущей дрейфующей станции.

*А.П.Макштас, В.Т.Соколов,  
В.Ю.Кустов (ААНИИ)*

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОЕКТ «ГЛУБОКОЕ БУРЕНИЕ ОЗЕРА ЭЛЬГЫГЫТГЫН» – ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КЛИМАТА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 3,5 МЛН ЛЕТ

Зимой 2008/09 г. на Чукотке был реализован один из крупнейших международных исследовательских проектов последних лет в области изучения климатов прошлого – «Глубокое бурение озера Эльгыгытгын». В работах принимали активное участие группы исследователей из России, Германии, США и Австрии.

Важнейшим результатом этих работ стала уникальная непрерывная летопись развития природной среды и климата Арктики за последние 3,5 млн лет,

дающая огромные перспективы для понимания развития климатической системы нашей планеты.

Этот проект проводился в рамках «Международной программы континентального бурения» (ICDP) и являлся частью программы Международного полярного года (проект «Кратер озера Эльгыгытгын и палеоклимат Арктики», номер кластера по международной классификации – 130). Кроме этого, работы имели основу двустороннего российско-германского сотрудничества (проект 12

«Палеоклимат озера Эльгыгытгын» Соглашения о сотрудничестве в области морских и полярных исследований между Министерством образования и науки Российской Федерации и Федеральным министерством образования и научных исследований Федеративной Республики Германия).

Источниками финансирования международного проекта стали «Международная программа континентального бурения» (ICDP), Федеральное министерство образования и научных исследований Федеративной Республики Германия (BMBF), Национальный научный фонд США (NSF), Российская академия наук (РАН) и Федеральное министерство науки и исследований Австрии (BWF).

### Почему озеро Эльгыгытгын?

Исследование палеоклимата – одна из приоритетных задач современных наук о Земле. Только изучая особенности и закономерности развития климатической системы в прошлом, мы можем рассчитывать на понимание причин и последствий современных изменений климата.

Источников информации для реконструкции климатов прошлого за достаточно продолжительные промежутки геологической истории (сотни тысяч и миллионы лет) на нашей планете не так много, как хотелось бы исследователям. К важнейшим источникам такой информации относятся керны морских и океанических осадков, ледовые керны крупнейших ледников Земли и керны донных отложений крупнейших и древнейших озер, таких, например, как озеро Байкал.

Что касается Арктики, то главнейшим таким источником информации является по сей день керн Гренландского ледника, который, однако, ограничивается последними 120 тыс. лет.

Озеро Эльгыгытгын находится на Чукотке, примерно в 100 км севернее полярного круга. Оно имеет округлую форму и расположено в метеоритном кратере диаметром 18 км, при этом диаметр самого озера составляет 12 км. Максимальная глубина озера 175 м, а высота уреза воды над уровнем моря 492,4 м.

Возраст кратера определен благодаря датированию импактных пород (породы, образовавшиеся в результате падения метеорита) и составляет 3,6 млн лет. Таким образом, это единственный объ-

ект в Арктике, способный предоставить информацию о развитии природной среды более чем за весь четвертичный период (2,6 млн лет).

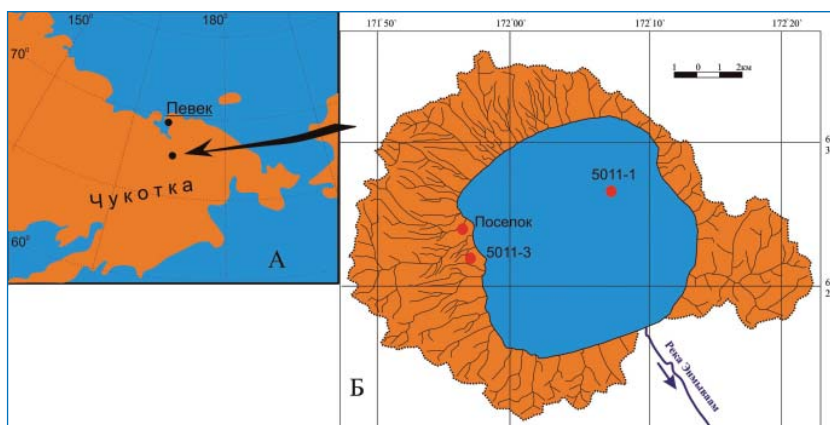
Но не только палеоклиматологов привлекает этот уникальный природный объект. Кратер озера Эльгыгытгын – единственный молодой метеоритный кратер в мире, образованный в вулканических породах, и исследования метеоритной брекчии, подстилающей озерные осадки, внесут огромный вклад в изучение процессов импактогенеза. Неоспоримый интерес это озеро представляет и для биологов. В нем обитают эндемичные виды диатомовых водорослей и лососевых рыб, занесенных в Красную книгу РФ. Котловина озера является местом гнездования нескольких краснокнижных птиц и местом отела дикого северного оленя. Изолированность котловины способствовала формированию уникального, отличного от прилегающих территорий типа растительности.

Манит к себе это удивительное озеро и людей, не связанных с научной деятельностью. Название озера Эльгыгытгын можно перевести с чукотского языка как озеро нетающего льда. В действительности лед на озере тает, хотя и на непродолжительное время. Немало можно найти легенд о чудовище, обитающем в озере, сказочном шамане с ледяной головой, живущем на его берегах, и даже инопланетянах обустроивших там свою базу.

### Буровой проект

Для того чтобы убедиться в том, что озеро Эльгыгытгын действительно является уникальным объектом для глубокого бурения, международная группа исследователей провела несколько предварительных экспедиций в 1998, 2000 и 2003 гг. В ходе этих экспедиций были отобраны колонки донных отложений длиной до 16 м, с помощью которых был реконструирован климат за последние 300 тыс. лет, установлена полная мощность озерных осадков (315 м) по геофизическим данным, проведены детальные геолого-геоморфологические исследования в котловине озера, гидрометеорологические наблюдения и многое другое.

Буровым работам предшествовал продолжительный подготовительный этап, в ходе которого исследователям пришлось проявить характер для преодоления всех возникавших административных



Расположение (А) и схема бассейна (Б) озера Эльгыгытгын с указанными местами расположения буровых скважин и бурового поселка.



Транспортировка груза на озеро Эльгыгытгын зимой 2008 г.



Вид на буровой поселок на побережье озера Эльгыгытгын зимой 2009 г.

и финансовых трудностей. Предстояло скоординировать усилия финансирующих и контролирующих организаций различных стран. Сами же работы необходимо было выполнить в суровых условиях арктической зимы при полном отсутствии инфраструктуры (значительная удаленность от населенных пунктов, отсутствие каких бы то ни было дорог).

Бурение озерных отложений в научных целях требует применения сложных технологий. Озерные осадки за счет своей пластичности и обводненности могут быть легко деформированы, и традиционные методы бурения не обеспечивают требуемого качества керна. В связи с этим американской буровой компанией «DOSECC», специально в целях проекта, на базе усовершенствования уже существующих разработок, использовавшихся для подобных проектов в других странах, было построено буровое оборудование для бурения озерных осадков с озерного льда, названное «Russian GLAD-800». Это оборудование было доставлено в Россию и после использования перешло в собственность ДВО РАН, что дает широкие возможности будущим российским исследованиям.

Все необходимое оборудование и материалы («Russian GLAD-800», российская буровая установка для бурения многолетнемерзлых пород, контейнер-лаборатория, рефрижераторный контейнер для хранения керна, оборудование для скваженной геофизики, дизельные электрогенераторы, жилые домики и другие строения для бурового поселка, дизельное

топливо и многое другое) для предотвращения нарушения почвенно-растительного покрова доставлялось на озеро из г. Певек в зимнее время 2007 и 2008 гг. гусеничным и колесным транспортом по бездорожью.

Буровой поселок, обеспеченный всем необходимым для работы и жизни, был обустроен на северо-западном побережье озера. По окончании работ поселок был полностью ликвидирован, произведена рекультивация земель для предотвращения негативного воздействия на уникальную экосистему озера.

Перед установкой буровой платформы толщина озерного льда была увеличена с 70 см до 2 м. Для этого площадка 100 на 100 м была очищена от снега и на нее насосами накачивалась озерная вода.

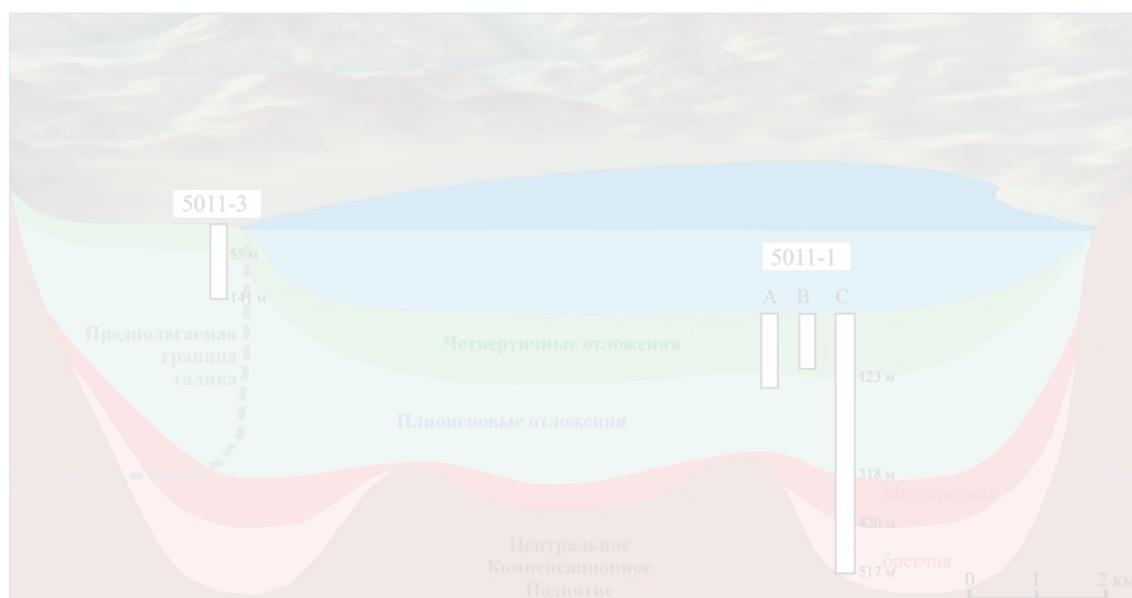
В результате к маю 2009 г. были пробурены скважина 5011-3 на суше в многолетнемерзлых породах глубиной 141,5 м и куст из трех скважин 5011-1 (1А, 1В, 1С), проникнувших сквозь 318 м донных озерных отложений и еще 200 м подстилающей их метеоритной брекчии.

### Уникальные результаты

К настоящему моменту в лабораториях России, Германии и США проведен комплексный анализ керна озерных отложений, включающий литологическое описание, геохимические анализы, палеоботанические анализы, кислородно-изотопный



Буровая платформа на льду озера Эльгыгытгын.



Схематический разрез через котловину озера Эльгыгытгын.

анализ, палеомагнитный анализ и т.д. В обобщенном виде результаты этих исследований опубликованы в международном научном журнале «Science». В ближайшее время в международных и российских изданиях появится целый ряд статей, посвященных этим результатам.

Важнейшим результатом является сам факт того, что получен непрерывный ряд данных о развитии климата за последние 3,5 млн лет, т.е. отрезок времени, почти на 1 млн лет превышающий продолжительность всего четвертичного периода. Этот ряд данных научной общественности еще предстоит осмыслить в полной мере, и это осмысление, безусловно, приведет к новому пониманию развития климатической системы.

Наиболее любопытными особенностями, на наш взгляд, являются выявленные так называемые «супермежледниковья», т.е. аномально теплые периоды, причины которых непросто объяснить на основе современных представлений о развитии климатической системы. Такие аномально теплые условия выявлены для интервалов, соответствующих морским кислородно-изотопным стадиям (МИС) 11, 31, 49,

55, 77, 87, 91 и 93. В особенности это очевидно при сравнении этих интервалов с интервалами, соответствующими последнему (МИС 5e) и современному (МИС 1) межледниковьям. В самые теплые периоды МИС 1 и МИС 5e, по данным из озера Эльгыгытгын, среднеиюльские температуры превышали сегодняшние лишь на 1–2 градуса, а среднегодовое количество осадков не более чем на 50 мм. Тогда как во время МИС 11 и 31 аналогичные показатели были выше, чем во время МИС 1 и 5e на 4–5 градусов и 300 мм. При этом расчетное количество инсоляции на земную поверхность во время МИС 11 и 31 было значительно ниже, чем во время МИС 1 и 5e. Интересно также, что «супермежледниковья», выявленные по данным озера Эльгыгытгын, соответствуют периодам деградации антарктического ледника, выявленным по данным проекта «ANDRILL», что демонстрирует теснейшую климатическую связь между Южным и Северным полушариями.

*Г.Б. Федоров (АНИИ)  
Фотографии П.С. Минюка  
и М.Меллеса (M. Melles)*

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 57-Й РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

На II этапе 57-й РАЭ (34-й рейс НЭС «Академик Федоров») сотрудниками Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН были проведены геохимические исследования по маршруту судна и на материке Антарктида (снежно-ледяного покрова, почв, лишайников и мхов). Цель исследования – изучение осадочного вещества (взвеси) в системе «атмосфера–океан–лед–антарктический материк» и загрязненности почв в районе антарктических станций. В океанологии взвесью принято считать частицы раз-

нообразного происхождения, пассивно взвешенные в морской воде и имеющие размеры от 0,5 мкм до 1 мм. В 1 л морской воды содержится примерно 5–6 млн частиц (биогенных и терригенных). Поэтому изучение взвеси имеет большое значение для понимания процессов современного осадконакопления и влияния загрязняющих веществ на окружающую среду, для исследования микро- и наночастиц в водной толще. В Южном океане, в котором были проведены исследования в 57-й РАЭ, они изучены слабо.