

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗ. ВОСТОК

В.Я.ЛИПЕНКОВ (ААНИИ)

Сравнимое по размерам с крупнейшим в Европе Ладожским озером, скрытое от глаз четырехкилометровой толщиной антарктического льда оз. Восток резко выделяется своими грандиозными масштабами из более чем 145 подледниковых водоемов, обнаруженных к настоящему времени методом радиолокационного зондирования в Антарктиде. Возникновение, развитие и современный режим этого уникального водоема тесно связаны с геологическим строением, историей климата и оледенения шестого континента.

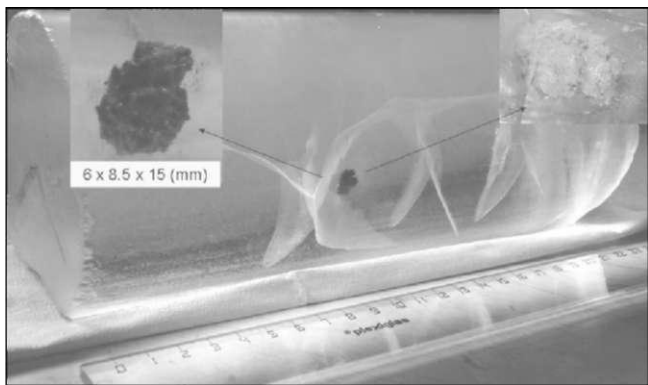
В геологическом отношении оз. Восток представляет собой рифтовый грабен, образовавшийся в позднеюрско-раннемеловое время как продолжение единой рифтовой системы ледников Ламберта - Эймери и залива Прюдс. История возникновения озера Восток как водоема достоверно не установлена. Теоретически показано, что оно

могло существовать в рифтовой депрессии задолго до начала оледенения Антарктиды около 30 млн лет назад. Большинство исследователей, однако, склоняются к тому, что озеро возникло в результате донного таяния ледника во время или после образования континентального ледникового покрова в его современных масштабах (15 млн лет назад). Благодаря своим значительным размерам (60 x 280 км, мощность водного слоя до 1200 м), оз. Восток занимает центральное место в подледниковой гидрологической системе Антарктиды, во многом определяющей форму и динамику антарктического ледникового покрова в условиях меняющегося климата планеты.

С точки зрения биологов, оз. Восток - это прежде всего уникальная водная экосистема, практически изолированная от земной атмосферы и почвенной биосферы на протяжении миллионов



Подледниковое озеро Восток расположено в районе научной и логистической деятельности РАЭ (береговая линия озера показана по данным ПМГРЭ)



Крупное минеральное включение
в керне озерного льда с глубины 3608 м

лет. Тектоническая природа озера и его продолжительная изоляция предполагают возможность сохранения здесь реликтовых форм жизни и проявления еще неизвестных науке путей эволюционной адаптации микроорганизмов, изучение которых будет способствовать лучшему пониманию процессов развития жизни на нашей планете. Экстремальные условия подледникового водоема, характеризующиеся высоким давлением, отсутствием света, специфическим газовым составом воды и чрезвычайно низким содержанием биологического материала, делают его идеальной экспериментальной площадкой для отработки на Земле методов и технологий поиска следов жизни на покрытых льдом планетах и лунах Солнечной системы. Очевидно, что положительные результаты, достигнутые при изучении микробиоты озера Восток, содействовали бы продвижению амбициозных астробиологических проектов в рамках планируемых экспедиций на Марс и спутник Юпитера Европу.

Исключительный интерес мирового научного сообщества к исследованию оз. Восток и других подледниковых систем нашел отражение в решении SCAR создать в своей структуре специальную научную программу Подледниковые озера Антарктиды (Subglacial Antarctic Lake Environments - SALE) и рекомендовать исследования подледниковой среды в качестве приоритетных для программы III МПГ в Антарктике.

В настоящее время единственный источник экспериментальных данных о химическом, газовом и биологическом составе воды оз. Восток - ледяной керн глубокой скважины 5Г, пробуренной на российской станции Восток. Скважина расположена на над южной глубоководной частью озера, где происходит намерзание озерной воды на подошву ледника. В ходе продолжающихся буровых работ на станции Восток было поднято 130 м керна озерного льда. Верхние 70 м колонки этого керна содержат минеральные включения, которые являются носителями уникальной информации о геологическом строении подледниковой среды.

В нашей стране комплексные исследования подледникового оз. Восток проводятся в рамках специального проекта подпрограммы «Исследования и изучение Антарктики» ФЦП «Мировой океан». Значительная часть запланированных на 2007–2009 гг. работ непосредственным образом связана с реализацией национальной Научной программы МПГ. В работах по проекту участвуют восемь научно-исследовательских учреждений. Их деятельность, координируемая ААНИИ Росгидромета, охватывает все важнейшие технологические и научные аспекты изучения подледниковых озер Антарктиды, обозначенные международной программой SALE.

Разработкой технологий и средств керна бурения льда и экологически безопасного проникновения в подледниковые водоемы занимаются специалисты Санкт-Петербургского государственного горного института (СПГГИ) в сотрудничестве с ААНИИ.

Полярная морская геологоразведочная экспедиция (ПМГРЭ) проводит в составе РАЭ наземные дистанционные исследования оз. Восток средствами сейсмического зондирования и радиолокационного профилирования.

Минеральные включения донных осадков озера, захваченных озерным льдом, изучают ученые ВНИИОкеангеология и ВСЕГЕИ. Газовые и изотопные анализы образцов озерного льда осуществляют специалисты ААНИИ. Институт микробиологии (ИНМИ) и Петербургский институт ядерной физики (ПИЯФ) РАН проводят биологические исследования ледяных кернов методами молекулярной биологии и классической микробиологии.

В исследованиях ледяного керна принимают участие французские ученые из Лаборатории гляциологии и геофизики окружающей среды (ЛГГОС, г. Гренобль). Они предоставляют для совместных работ сертифицированные по классу 10000 чистые комнаты, необходимые для предбиологической подготовки образцов льда, осуществляют химический контроль остаточного загрязнения биологических проб и участвуют в газовых и изотопных анализах ледяных кернов.

Полученные в ходе полевых и лабораторных исследований данные обобщаются и согласовываются между собой при создании математических моделей, описывающих динамику ледникового покрова (Казанский государственный университет), циркуляцию подледникового озера, его газовый и изотопный режимы (ААНИИ), а также при создании геологических моделей происхождения оз. Восток (ВНИИОкеангеология, ПМГРЭ).

За прошедшие годы российскими исследователями оз. Восток был получен целый ряд выдающихся результатов, которые получили международное признание и утвердили лидирующее положение отечественной науки в изучении этого уникально-

го природного объекта. К таким достижениям, в первую очередь, относятся:

1) самая глубокая в мире скважина в ледниковом покрове, которая вошла в слои льда оз. Восток, впервые открыв доступ к исследованию подледниковой среды;

2) база геофизических данных, послужившая основой для детального картирования границ озера, коренного рельефа, мощности водного слоя и толщины перекрывающего озера ледника;

3) новые методы и протоколы деконтаминации образцов льда с ультранизким содержанием микробов;

4) обнаружение во льду оз. Восток ДНК теплолюбивых бактерий (хемолитоавтотрофных мезотермофилов), обитающих в разломах земной коры под озером;

5) первые оценки газового состава озера Восток, свидетельствующие о высоких концентрациях кислорода в озерной воде;

6) определение минерального состава и возраста пород коренного ложа Центральной Антарктиды по результатам исследований минеральных включений в озерном льду;

7) создание технологии экологически безопасного проникновения в оз. Восток.

Бурение глубокой скважины 5Г, возобновленное после восьмилетнего перерыва в декабре 2005 г., было продолжено в сезонный и зимовочный периоды 52-й РАЭ. Глубина скважины на сегодняшний день составляет 3666,5 м. До контакта ледника с озерной водой осталось пройти около 90 м.

Буровые работы на больших глубинах осложняются крупнокристаллической структурой и относительно высокой (близкой к точке плавления) температурой льда. При бурении ледника электромеханическим снарядом эти особенности ледяной породы приводят к резкому замедлению проходки скважины и затрудненному отрыву керна. В результате уменьшается производительность буровых работ и увеличивается частота потенциально аварийных ситуаций. Одна из таких ситуаций привела в январе 2007 г. к обрыву грузонесущего кабеля и потере бурового снаряда на глубине 3658 м. На извлечение снаряда из скважины и ремонтно-восстановительные работы ушло несколько месяцев. После этого керновое бурение озерного льда было продолжено до глубины 3666,5 м, однако в октябре 2007 г. произошла еще одна авария, которая, как и в первом случае, закончилась обрывом кабеля в замке снаряда.

Бурение ледника сопровождается геофизическими исследованиями скважины и проведением экспресс-анализа физических и структурных характеристик вновь полученного керна, что позволяет оперативно контролировать состояние ствола скважины и следить за изменением свойств льда по мере приближения к контакту с подледниковой водой. При отсутствии признаков более высокого

залегания подошвы ледника (ее оценочная глубина 3760 ± 15 м) керновое бурение льда электромеханическим снарядом КЭМС-132 планируется осуществлять на отметке 3720 м. Бурение оставшихся 40 м толщи озерного льда будет завершено бескерновым тепловым снарядом ТБПО-132, который был разработан в СПГГИ для осуществления проникновения в подледниковое озеро.

Предложенная специалистами СПГГИ и ААНИИ технология первого проникновения в оз. Восток достаточно проста и сводит к минимуму риск загрязнения уникального водоема. Она заключается в заборе подледниковой воды в буровую скважину путем создания отрицательной разности давлений буровой жидкости и озерной воды. Давление заливочной жидкости в момент достижения снарядом нижней поверхности ледника устанавливается на 5-7 атмосфер ниже давления воды в озере. Это приводит к подъему воды в скважине на высоту 50-70 м от поверхности озера. После ее замерзания осуществляется повторное бурение с отбором керна за замерзшей озерной водой до отметки 15-20 м от поверхности озера.

В январе 2008 г. (сезон 53-й РАЭ) в глубокой скважине 5Г проведены испытания важнейших элементов теплового снаряда ТБПО-132 (датчиков давления и гермовводов пилотного термодолота), продемонстрировавшие их работоспособность в условиях высокого давления скважинной жидкости. В сезонный период 54-й РАЭ (2008/09 г.) планируется заменить старый поврежденный буровой кабель на новый, расширить нижний участок ствола скважины и осуществить операцию по подъему аварийного бурового снаряда на поверхность. При успешном продолжении буровых работ в течение зимовочного периода 54-й РАЭ первое проникновение в оз. Восток можно осуществить в летний период сезон 55-й РАЭ (2009/10 г.).

Что нового может дать изучение воды, замерзшей в скважине, по сравнению с результатами, полученными в ходе исследования озерного льда?

Содержание газовых, химических и биологических примесей в озерном льду на несколько порядков ниже, чем в воде озера. Это объясняется выталкиванием примесей в процессе медленного (миллиметры в год) нарастания льда на подошву ледника и его последующей (в течение тысяч лет) перекристаллизацией, приводящей к образованию очень крупных кристаллических индивидов с практически идеальной кристаллической решеткой. Исключительная чистота озерного льда, образовавшегося в глубоководной части озера, и большие неопределенности в оценках значений отдельных коэффициентов существенно снижают информативность исследований и затрудняют интерпретацию полученных данных.

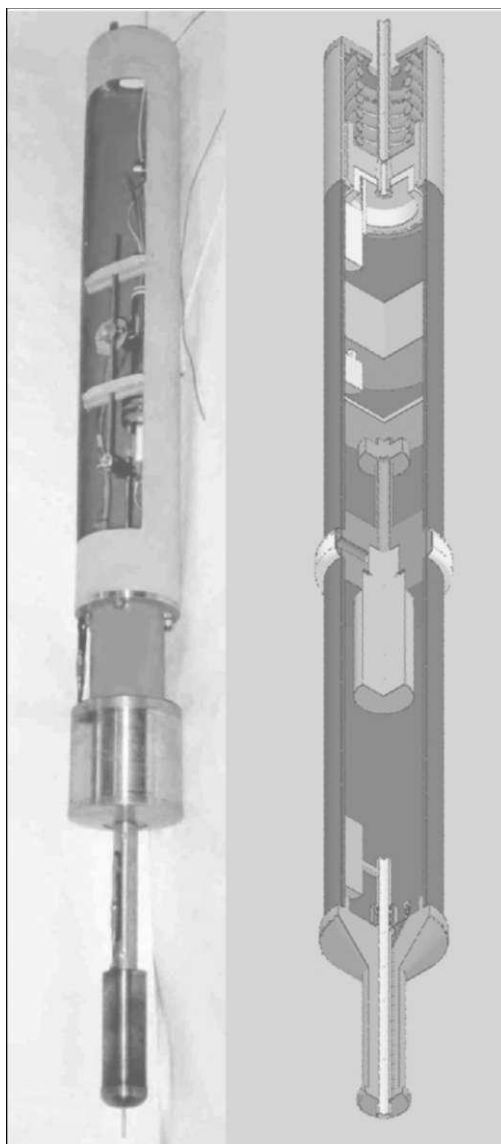
Кристаллизация воды в скважине - значительно более быстрый процесс. Как показывают расчеты,

вода, поднимаясь в скважину, замерзнет в течение 1-30 сут в зависимости от расстояния от поверхности озера. Образовавшийся лед будет иметь неоднородную радиально-лучевую структуру, соответствующую отводу тепла через стенки скважины, с максимальной концентрацией примесей вдоль оси скважины. При этом осредненные по достаточно большому объему характеристики состава льда должны отражать состав озерной воды, из которой он образовался.

Пригодность керна замерзшей в скважине подледниковой воды для биологических исследований была экспериментально продемонстрирована специалистами ПИЯФ РАН, которые принимали участие в изучении такого керна, поднятого из скважины в Гренландии.

Таким образом, реализация проекта проникновения в оз. Восток поможет дать ответы на целый ряд ключевых вопросов, стоящих перед исследователями подледниковой среды, и, в первую очередь, на центральный вопрос о существовании жизни в воде озера.

Исследования подледникового оз. Восток находятся на переднем крае мировой науки и привлекают к себе растущее внимание широкой общественности и СМИ у нас в стране и за рубежом. Поэтому помимо решения фундаментальных задач антаркти-



Внешний вид и схематический разрез рабочего макета теплового прибора ТБПО-132, разработанного для проникновения в подледниковое озеро Восток

паратов, спускаемых в озеро на кабеле через скважину в ледниковом покрове.

тической геологии, палеоклиматологии, гляциологии и биологии, данный проект имеет важную социальную составляющую, оказывая позитивное влияние на развитие общества, образование и воспитание молодежи, повышение престижа отечественной науки и государства в целом.

Первое проникновение в оз. Восток следует рассматривать как логическое продолжение, промежуточный, но яркий и значительный в научном плане этап проводимых российскими учеными комплексных исследований этого уникального подледникового водоема. Новые данные, которые будут получены в ходе продолжающихся исследований озерного льда, подготовки и проведения проникновения в озеро, будут использованы для детального планирования последующих шагов по изучению озера Восток. Впереди - захватывающие воображение перспективы прямых измерений основных физических, химических и биологических характеристик водной толщи, отбор и исследование концентрированных проб воды и образцов донных осадков с помощью специальных глубоководных аппаратов.