

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА ВОСТОК

В.Я.ЛИПЕНКОВ (АНИИ)

Сравнимое по размерам с крупнейшим в Европе Ладожским озером, скрытое от глаз четырехкилометровой толщиной антарктического льда озеро 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 озеро 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 × 280 км, мощность водного слоя до 1200 м), озеро 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, озеро Восток — это прежде всего уникальная водная экосистема, практически изолированная от земной атмосферы и поверхностной биосферы на протяжении миллионов лет. Тектоническая природа озера и его продолжительная изоляция предполагают возможность сохранения здесь реликтовых форм жизни и проявления еще неизвестных науке путей эволюционной адаптации микроор-

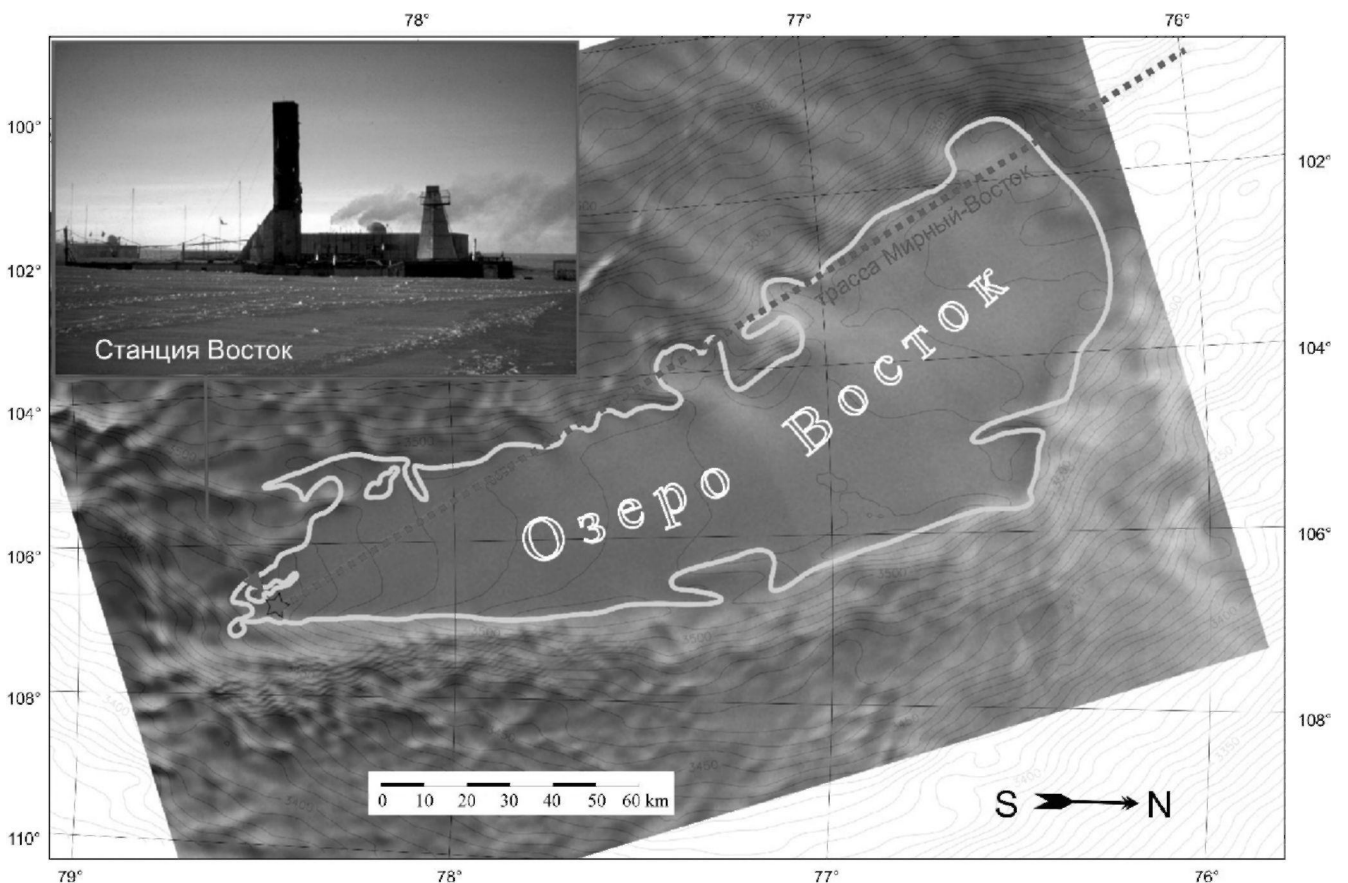


Рис. 1. Подледниковое озеро Восток расположено в районе научной и логистической деятельности РАЭ (береговая линия озера показана по данным ПМГРЭ)

ганизмов, 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 озера 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 озера Восток - ледяной керн глубокой скважины 5Г, пробуренной на российской станции Восток. Скважина расположена 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.

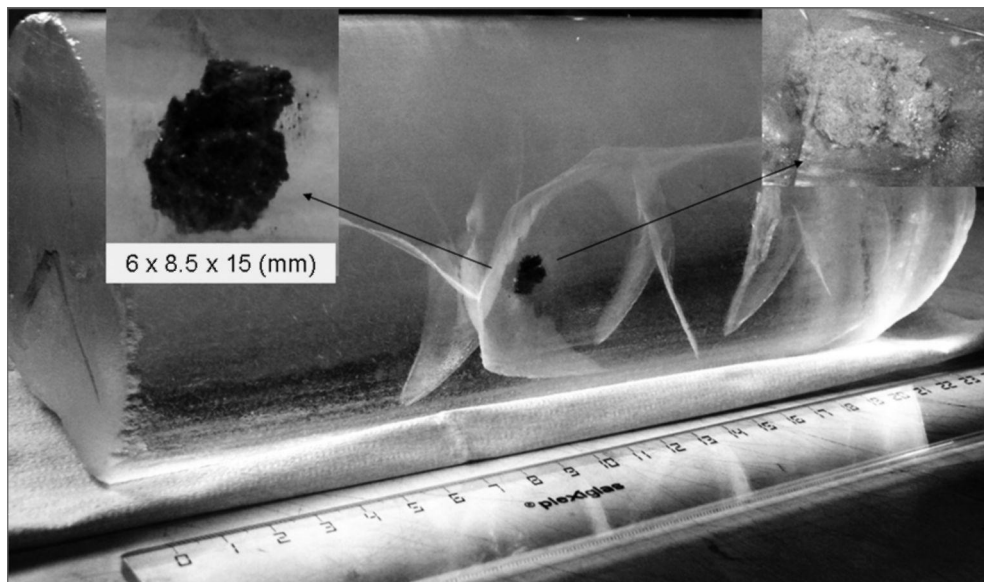


Рис. 2. Крупное минеральное включение в керне озерного льда с глубины 3608 м

В нашей стране комплексные исследования подледникового озера Восток проводятся в рамках специального проекта подпрограммы «Исследование 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 кернавого бурения льда и экологически безопасного проникновения в подледниковые водоемы занимаются специалисты Санкт-Петербургского государственного горного института (СПГИ) в сотрудничестве с ААНИИ.

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

Изучением минеральных включений **донных** осадков озера, захваченных озерным льдом, занимаются ученые Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология) и Всероссийского научно-исследовательского геологического института (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 в

процессе создания 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 озера Восток (ВНИИОкеангеология, ПМГРЭ).

За прошедшие годы российскими исследователями озера Восток был получен целый ряд выдающихся результатов, которые получили международное признание и утвердили лидирующее положение отечественной науки в изучении этого уникального природного объекта. К таким достижениям, в первую очередь, относятся:

1) самая глубокая в мире скважина в ледниковом покрове, которая вошла в слои льда озера 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 микробных клеток;

4) обнаружение во льду озера 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 озеро 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 электро-механическим 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 электро-механическим снарядом КЭМС-132 планируется остановить 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 озеро 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 заливаемой 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 замерзшей озерной воды до отметки 15-20 м от поверхности озера.



Рис. 3. Буровые работы в скважине 5Г продолжались в зимовочный период 52-й РАЭ. Текущая глубина скважины - 3668 м

В январе 2008 г. (сезон 53-й РАЭ) в глубокой скважине 5Г были 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. В случае успешного продолжения буровых работ в течение зимовочного периода 54-й РАЭ первое проникновение в озеро Восток можно осуществить в летний полевой сезон 55-й РАЭ (2009/10).

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 разделительных 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 озеро 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 озера 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 антарктической 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.

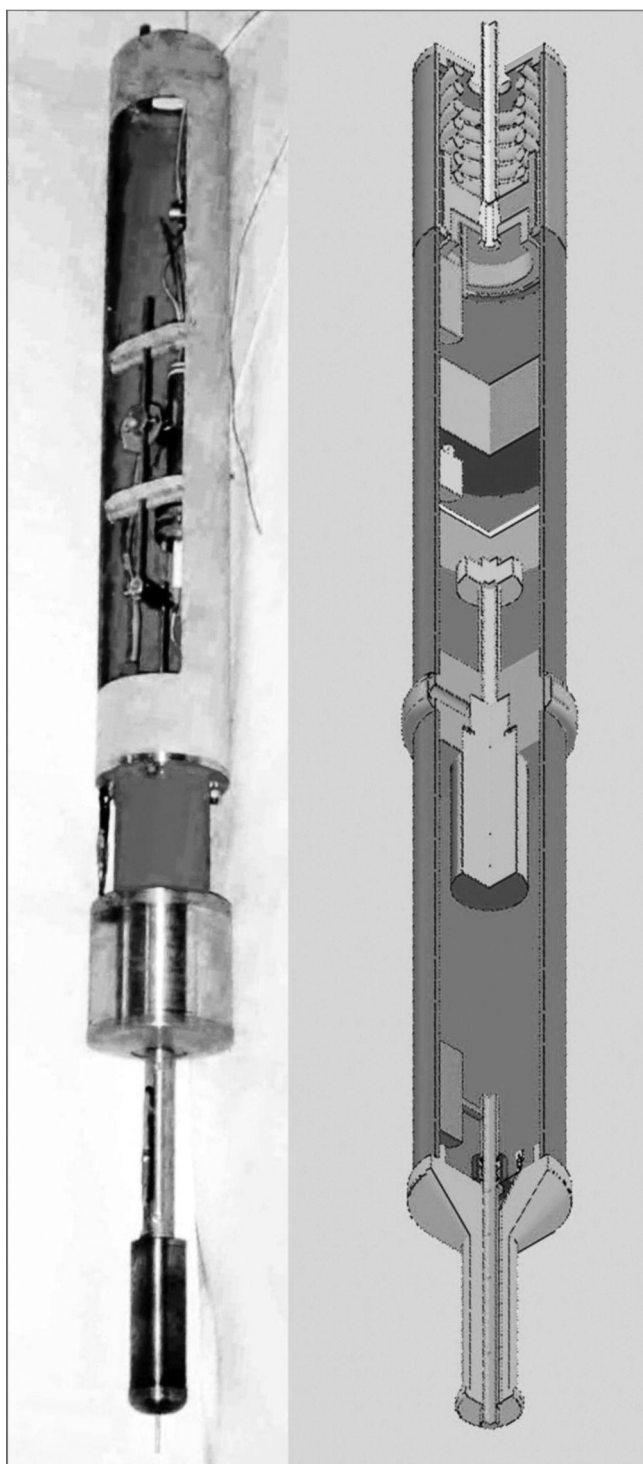


Рис. 4. Внешний вид и схематический разрез рабочего макета теплового снаряда ТБПО-132, разработанного для проникновения в подледниковое озеро Восток

Первое проникновения в озеро 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 планирова-

ния последующих шагов по изучению озера Восток. Впереди - захватывающее 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, спускаемых в озеро на кабеле через скважину в ледниковом покрове.

Фотографии предоставлены автором