УДК 622

УНИКАЛЬНЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ВО ЛЬДАХ АНТАРКТИДЫ

В.С.ЛИТВИНЕНКО, *д-р техн. наук, профессор, ректор, spmi@mail.wplus.net*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

В результате многолетних исследований процессов массопереноса льда как горной породы в планетарных масштабах антарктического ледникового покрова на сверхглубокой скважине 5Г получены открытия мирового уровня в области гляциологии и геодинамики. Создателям теории теплового и механического разрушения льда и рыхлых отложений удалось разработать уникальную технологию и технические средства бурения скважин методом плавления и механического разрушения.

***Ключевые слова*:** бурение плавлением, скважина, лед, озеро Восток, Антарктида, уникальные технологии и технические средства.

Мировое достижение по бурению сверхглубокой скважины 5Г в Антарктиде и проникновению в подледниковое озеро Восток стало возможным благодаря многолетним (1967-2012) исследованиям ученых кафедры бурения скважин Национального минерально-сырьевого университета «Горный», разработавшим основы теории теплового и механического разрушения льда и рыхлых отложений, технологии и технические средства бурения скважин методами плавления и механического разрушения.

Технология и технические средства бурения плавлением являются одним из самых перспективных направлений повышения эффективности проходки скважин в сложных геологических условиях на основе нетрадиционных способов разрушения и крепления горных пород. В основе технологии бурения скважин плавлением лежат физические процессы разрушения пород, льда, связанные с изменением агрегатного состояния в результате интенсивного теплового воздействия в зоне забоя скважины.

Благодаря уникальным технологиям, разработанным в Горном университете, российские ученые завершили бурение на глубине 3769,3 м и 5 февраля 2012 г. достигли поверхности подледникового озера Восток в Антарктиде. Это выдающееся научное достижение сравнивают с посадкой на Луну и изучением лунного грунта. Мировые достижения по глубине бурения скважин на станции «Восток» дважды отмечены в Книге рекордов Гиннеса.

По мнению представителей Национального управления США по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), всестороннее изучение подледникового озера Восток является первым и необходимым шагом в долгосрочной программе поиска следов жизни в подледниковых морях на планетах Марс и Европа (спутник Юпитера).

Озеро Восток, скрытое под четырехкилометровой толщей льда, является уникальной водной экосистемой, которая была изолирована от земной атмосферы и поверхностной биосферы на протяжении миллионов лет. По площади озеро Восток не уступает таким озерам, как Ладожское и Онтарио. Толщина льда над озером – от 3,5 до 4,5 км, наибольшая толщина водного слоя – 1200 м (рис.1). Ученые всего мира считают исследование подледникового озера одной из самых интересных и трудноразрешимых научных проблем начала XXI века.

По данным сейсмических исследований мощность ледникового покрова в районе станции «Восток» составляет 3760 ± 20 м, мощность слоя воды оценивается в 680 м, мощность донных осадков (ила) от 90 до 300 м, поперечные размеры озера 220×70 км. В водах озера могут существовать реликтовые формы жизни, изучение которых станет настоящим прорывом в науке.

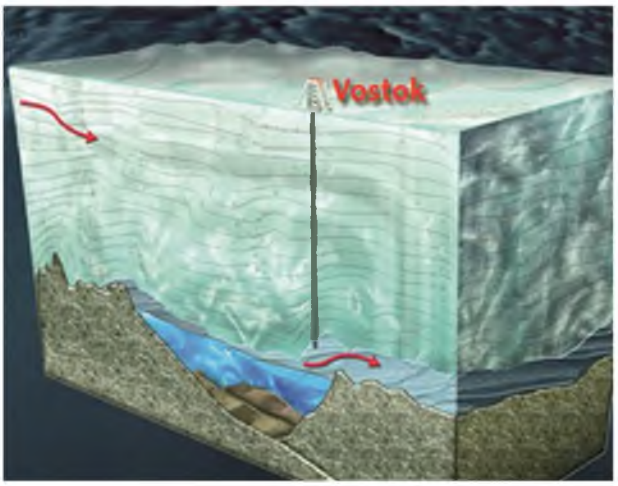


Рис.1. Модель подледникового озера

Комплексные исследования многокилометрового ледового керна и подледникового озера Восток позволили изучать изменение палеоклимата Земли на протяжении последних миллионов лет.

Начиная с 13-й Советской антарктической экспедиции (1967), сотрудники Горного университета участвуют практически во всех зимовочных и сезонных составах экспедиций.

В марте 1970 г. Ленинградский горный институт (ныне Национальный минерально-сырьевой университет «Горный») совместно с Научно-исследовательским институтом Арктики и Антарктики (ААНИИ) приступили к бурению глубокой скважины, продолжив многолетние исследования ледового покрова в центральной части Антарктиды на станции «Восток». Направлениями исследований стали: разработка технических средств и технология бурения ледников, бурение глубокой скважины с полным отбором керна, гляциологические и геофизические исследования керна и скважины.

За период с 1970 по 1989 гг. специалистами Горного университета и ААНИИ на станции «Восток» были пробурены 4 различные глубокие скважины глубиной от 1300 до 2400 м (рис.2).

Бурение самой глубокой скважины 5Г-1 в Антарктиде было начато в 1990 г. тепловым способом снарядами типа ТЭЛГА и ТБЗС. В 1993 г. скважина достигла глубины 2755 м, а в 1997 г. – глубины 3109 м (рис.3).

С 1998 г. Горный университет ведет буровые работы на станции «Восток» в соответствии с Федеральной целевой программой «Мировой океан».

Результаты буровых работ доказали мировое лидерство российских технологий, разработанных в Национальном минерально-сырьевом университете «Горный»:



Рис.2. В период сезонных работ 26-27 САЭ в 1982 г. достигнута глубина 2000 м

• созданы основы теории теплового и механического разрушения льда, методики расчета технологических параметров бурения;

• разработаны технологии бурения льда и рыхлых пород методом плавления;

• обоснован выбор рецептуры незамерзающей заливочной жидкости для предотвращения сужения ствола скважины под воздействием горного давления и повышающейся с глубиной естественной температуры льда, существенно изменяющей его вязкопластические свойства;

• разработаны принципиально новые полуавтономные электротепловые и электромеханические буровые снаряды на грузонесущем кабеле (ТЭЛГА, ТБЗС, КЭМС), комплексы стационарного и передвижного бурового оборудования, системы контроля и автоматизированного управления процессом бурения;

• разработаны и освоены специальные методики и аппаратура комплекса геофизических исследований скважин в экстремальных условиях полярных ледников.



Рис.3. Ледовый керн



Рис.4. Извлечение ледового керна

При исследовании ледового керна, поднятого с различных интервалов скважины на станции «Восток», были обнаружены и оживлены микроорганизмы, пробывшие в анабиозе более 200 тыс. лет. Получен патент на открытие явления анабиоза микроорганизмов, что является существенным вкладом в развитие науки о Земле.

В ледовом керне в интервале 3604-3617 м обнаружены минеральные включения, максимальный размер которых достигает 15 мм (рис.4). Специалистами Санкт-Петербургского института ядерной физики были обнаружены три вида термофильных бактерий, аналоги которых развиваются в гидротермальных источниках активных областей океанов и континентов при температурах 40-60 °С. Другими словами, обнаружены все типичные признаки биологических процессов, возможно и сегодня протекающих в полностью изолированной экосистеме. Интерес к их исследованиям проявляют не только микробиологи-генетики, но и геологи. Анализ этих включений был проведен в лабораториях геохимии ВСЕГЕИ.

Полное отсутствие света, высокое давление (до 400 атм), специфический газовый и химический состав воды, а также продолжительная изоляция озера предполагают возможность возникновения и развития здесь форм жизни, существенно отличающихся от известных современной науке. Ученые предполагают, что жизнь в этой уникальной экосистеме (если она там сейчас есть) может быть хорошим аналогом жизни, которая, вполне вероятно, существует подо льдом некоторых спутников планет-гигантов, а также под ледяными шапками Марса.

Для проникновения в подледниковое озеро и предупреждения его возможного загрязнения необходимо было разработать экологически чистую технологию и технические средства бурения (рис.5). Технология была разработана совместным коллективом авторов из

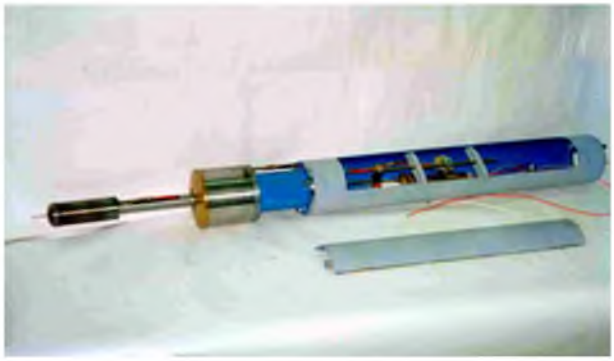


Рис.5. Термобуровой снаряд ТБПО-132 для проникновения в подледниковое озеро

Горного университета и ААНИИ в 2000 г. В марте 2001 г. она получила положительное заключение Государственной экологической экспертизы РФ и в июле 2001 г. впервые была предложена международному сообществу делегацией России на заседании XXIV Консультативного совещания по Договору об Антарктике (КСДА) в Санкт-Петербурге.

В сентябре 2002 г. на заседаниях XXV КСДА в Варшаве делегация России представила проект Всесторонней оценки воздействия на окружающую среду (ВОВОС) данной технологии. Для подробного изучения этого предложения была образована международная Межсессионная контактная группа под председательством Франции. После рассмотрения замечаний и предложений этой группы Россия подготовила пересмотренный проект ВОВОС, который был представлен на заседании XXVI КСДА в Мадриде. В целом совещание приняло это предложение России, однако был сделан ряд замечаний и предложений, на которые наша страна должна была ответить в Заключительной ВОВОС. Ответить на эти замечания можно было лишь после продолжения бурения.

Сущность технологии проникновения в подледниковое озеро заключается в том, что призабойная зона скважины 5Г-2 заполняется экологически безопасной кремнийорганической жидкостью, которая легче воды и гидрофобна (рис.6). В скважине создается недокомпенсация гидростатического давления на 3 атм. Последние 30 м перед контактом с подледниковым озером проходят специально разработанным термобуровым снарядом ТБПО с пилотным термодолотом малого диаметра. В момент контакта озерная вода за счет избыточного горного давления ледника на озеро должна подняться в скважину примерно на 30 м. После ее замерзания колонковым электромеханическим буровым снарядом КЭМС-132 выбуривается часть образовавшегося льда в виде керна, по которому можно судить о составе и свойствах озерной воды, в том числе о наличии признаков живых организмов. Оставшийся интервал замерзшей воды будет изолировать озеро от скважины. Экологическая безопасность вскрытия гарантируется тем, что не скважина проникает в озеро, а озеро в скважину.

Технологические операции выполняются в следующем порядке:

• Проходка скважины 5Г-1 на станции «Восток» до глубины 3720 м.

• Заполнение нижнего 100-метрового интервала буферной биологически инертной кремнийорганической жидкостью.

• Проходка 30-метровой толщи до контакта с водой озера термобуровым снарядом ТБПО-132 (термобуровой пробоотборник) со ступенчатым нагревателем, состоящим из пилотного термодолота и кольцевой опорной термокоронки, благодаря чему под снарядом формируется пилот-скважина с диаметром, в три раза меньшим, чем диаметр основной скважины. В момент контакта пилотного термодолота с поверхностью озера снаряд будет выполнять функцию клапана, разобщая озеро и скважину, обеспечивая экологическую безопасность вскрытия озера.

• Подъем озерной воды в скважину примерно на 30 м за счет искусственно созданной разности гидростатического давления заливочной жидкости и давления воды в озере.

• Замерзание озерной воды в скважине и последующее бурение образовавшегося льда с получением керна для исследований (без повторного вскрытия подледникового озера).

Успешное проникновение 5 февраля 2012 г. в подледниковое озеро Восток и отбор пробы воды подтвердили лидерство российской науки и открыли возможности для целого ряда уникальных микробиологических и палеоклиматических исследований озера.

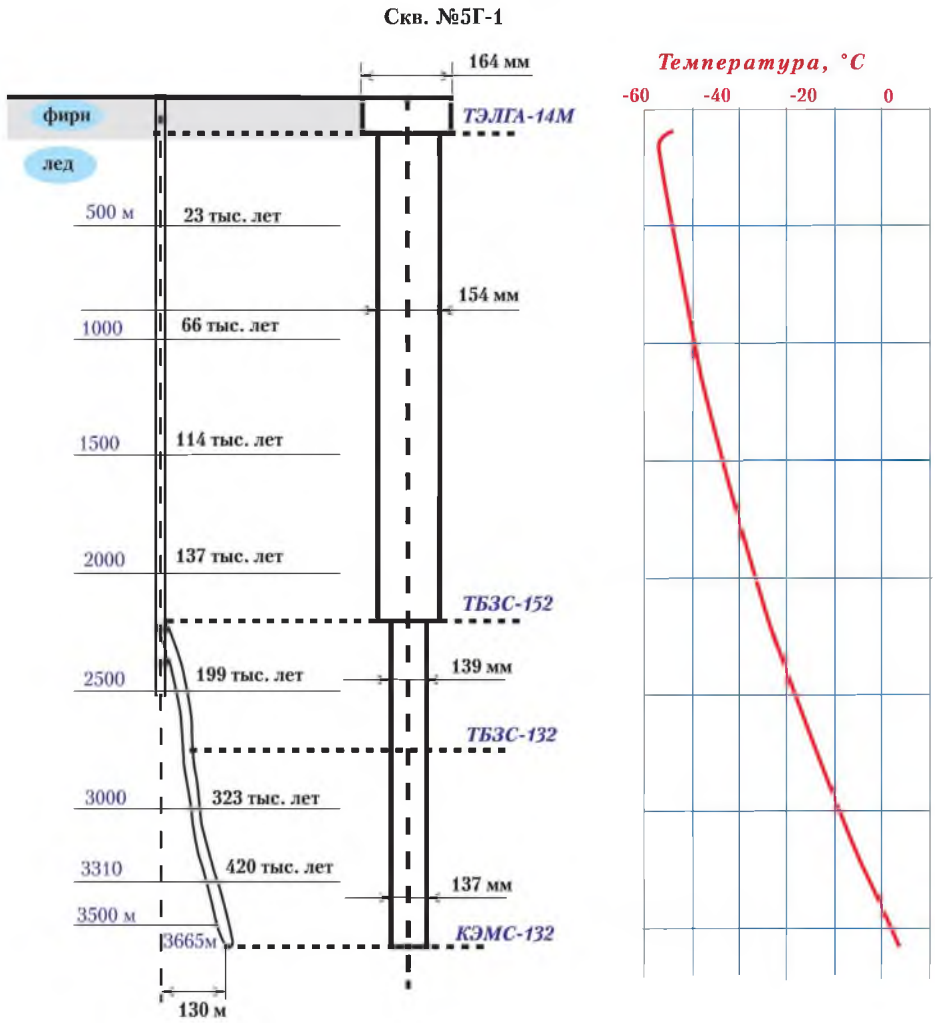


Рис.6. Бурение сверхглубокой скважины 5Г «Имени Б.Кудряшова» на станции «Восток»

Исследования глубоких скважин на станции «Восток» и непрерывной колонки ледового керна, возраст которого превышает 500 тыс. лет, извлеченного из скважины 5Г-1 и 5Г-2, позволили получить ряд выдающихся научных результатов:

1) по изотопным и гляциологическим исследованиям ледового керна впервые выполнена палеоклиматическая реконструкция климата Земли на протяжении четырех ледниковых и межледниковых периодов и установлена цикличность изменения климата на Земле;

2) разработана методика асептического отбора микробиологических проб из керна льда и доказана длительность анабиоза микроорганизмов более 200 тыс. лет;

3) впервые для центральной части Антарктиды получены данные о температурном режиме ледникового покрова, которые легли в основу математического моделирования процессов тепломассопереноса в леднике;

4) установлены вертикальная зональность и закономерности метаморфизма льда по глубине.

На технологии и технические решения, разработанные Горным университетом для бурения льдов и проникновения в подледниковые водоемы, получено более 100 авторских свидетельств и патентов как в Российской Федерации, так и в США.

UNIQUE ENGINEERING AND TECHNOLOGY FOR DRILLING BOREHOLES IN ANTARCTIC ICE

LITVINENKO V.S., *Dr of Engineering Science, Professor, Rector, spmi@mail.wplus.net. National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia*

As the result of many years of research into the processes of the transfer of ice as a rock mass on a global scale, concerning the Antarctic ice sheet at the ultra-deep 5G borehole, a discovery has been made that is of international significance in the areas of glaciology and geodynamics. Those who created the theory of thermal and mechanical penetration into ice and loose sediments have developed unique technology and engineering processes in order to drill boreholes using thermal and mechanical methods.

***Key words*:** thermal drilling, borehole, ice, Lake Vostok, Antarctica, unique engineering and technology.