

ПУТЬ К ИЗУЧЕНИЮ ВОД ОЗЕРА ВОСТОК ОТКРЫТ

начальник Российской антарктической экспедиции В.В.ЛУКИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, lukin@aari.ru

5 февраля 2012 г. на российской антарктической станции Восток было осуществлено проникновение в поверхностные воды подледникового озера через глубокую ледяную скважину. В статье рассматриваются основные этапы данных работ, которые были начаты еще в 1995 г., технические характеристики скважины и параметры технологии проникновения в водный слой подледникового озера, основные этапы в открытии и изучении подледникового озера Восток. Приводятся сведения об основных научных направлениях будущих исследований озера Восток, охарактеризована их значимость для научного сообщества.

Ключевые слова: антарктическая станция Восток, подледниковое озеро Восток, глубоководная ледяная скважина, технологии проникновения в водный слой, научные направления будущих исследований подледникового озера Восток.

5 февраля 2012 г. в 20.25 МСК буровой снаряд в глубокой ледяной скважине 5Г-2 на станции Восток вошел в контакт с водным слоем подледникового озера Восток. Произошло долгожданное событие, которое в течение нескольких последних лет держало в напряжении международное антарктическое сообщество, отечественные и зарубежные средства массовой информации и непосредственных исполнителей работ – сотрудников Санкт-Петербургского государственного горного университета и Арктического и антарктического НИИ. Перед началом сезонных операций 57-й Российской антарктической экспедиции (РАЭ) в конце ноября 2011 г. до границы лед–вода, которая разделяет ледниковый щит и водный слой подледникового озера Восток, оставалось около 30 ± 20 м льда. Это означало, что данная граница раздела находилась где-то в слое 3730–3770 м. Сказать более точно о ее положении было невозможно. 6 февраля 2012 г. заканчивался период летних сезонных операций 57-й РАЭ. Температура наружного воздуха устремлялась к отметке -50 °С, поэтому полеты любых типов самолетов на станцию Восток становились невозможными. При более низкой температуре воздуха перестает работать гидравлическая система управления шасси, поэтому самолет не может выполнить нормальную посадку. В связи с этим 6 февраля буровые работы в скважине на станции Восток должны были завершиться независимо от полученных результатов.

Во второй половине января 2011 г. у буровиков команды Николая Ивановича Васильева возникли некоторые технические проблемы, которые резко сократили скорость суточной буровой проходки ледника электромеханическим снарядом. Причиной тому стал достаточно «теплый» лед с температурой около $-5...-6$ °С и малая производительность насоса бурового снаряда, который производит откачку буровой жидкости, содержащей ледяную стружку, перед режущей кромкой резцов буровой коронки. Эти проблемы удалось решить непосредственно на станции Восток, и последнюю неделю буровых операций скорость проходки достигла 1,8 м/сут. Учитывая

это обстоятельство, можно было предположить, что оставшийся для бурения слой льда толщиной от 10 до 50 м можно пройти в течение января 2012 г.

Скорое приближение факта проникновения в озеро Восток создало предпосылки для возникновения многочисленных мифов, легенд и абсолютно ненаучной фантастики. В декабре 2011 г. – феврале 2012 г. отечественные и зарубежные средства массовой информации, а также интернет были заполнены огромным количеством публикаций и телевизионных сюжетов, не имеющих ничего общего с реальным развитием событий. Подобный подход не привлекает дополнительного внимания к интереснейшей работе российских специалистов, а создает лживые гипотезы о лидерстве в этой проблематике других государств (в первую очередь США), порождает у обывателя различные уфологические предположения.

Озеро Восток, находящееся под слоем ледника толщиной от 3500 до 4200 м, было открыто международным коллективом ученых из России, Великобритании и США в 1994 г. На открытой конференции Научного комитета по антарктическим исследованиям (СКАР), которая проходила в июле 1994 г. в Риме, член-корреспондент Российской академии наук Андрей Петрович Капица сделал первый публичный доклад об открытии этого уникального природного объекта. Сообщение базировалось на комплексном изучении данных сейсмических зондирований, авиационных радиолокационных наблюдений за толщиной ледника и характером подстилающей поверхности, данных альтиметрических измерений видимой поверхности ледника с искусственных спутников Земли. Сопоставление этих данных показало наличие крупного водного тела, располагающегося под ледником Антарктического плато, с площадью зеркала, сопоставимой с размерами Ладожского озера или озера Онтарио. Первая научная публикация о подледниковом озере Восток появилась в британском журнале «Nature» в 1996 г. Среди ее авторов были российские ученые Андрей Петрович Капица и Игорь Алексеевич Зотиков [Kapitsa, Zotikov et al., 1996].

Справедливости ради необходимо указать, что вывод о наличии водного слоя под станцией Восток был сделан на основании единственного сейсмического зондирования, выполненного автором сообщения А.П.Капицей в 1959 г. Более того, при первой интерпретации полученных сейсмических измерений А.П.Капица отождествлял выделенный слой не с водной толщей, а с рыхлыми осадками. Это обстоятельство требовало проведения специальных опытно-методических работ по сейсмическому зондированию ледяного покрова и подстилающей его поверхности методом отраженных волн, что подтвердило бы наличие воды под ледником и определило толщину такого слоя. В связи с этим уже в сезоне 1995/96 г. по инициативе автора этой статьи и начальника Антарктической партии Полярной и морской геологоразведочной экспедиции (ПМГРЭ, г. Ломоносов) Валерия Николаевича Масолова были организованы такие работы в районе станции Восток, которые впоследствии проводились уже на регулярной основе. В сезоне 1998/99 г. сейсмические зондирования были дополнены наземным радиолокационным профилированием тела ледника с определением характера подстилающей его поверхности (вода или коренные породы). Комплекс таких геофизических исследований дал возможность определить положение и изрезанность береговой черты озера, наличие в озере «островов», измерить толщину ледника, водной толщи и осадочных пород на дне озера, а также получить пространственную картину их распределения [Масолов и др., 2001]. Сейсмические данные с 1995 по 2011 г. собирались специалистами ПМГРЭ А.М.Попковым, Н.Н.Кондратьевым и В.А.Шумиловым, а

радиолокационные – специалистами этого же научно-производственного предприятия А.Н.Шереметьевым, С.В.Поповым и Ю.Б.Черноглазовым.

СКАР проявил большую заинтересованность в комплексном изучении подледникового озера Восток и летом 1994 г. собрал Международную конференцию в г. Кембридж (Великобритания). Западные участники конференции (Великобритания, Франция, США) выразили большую озабоченность темпами ледовой проходки, которые были достигнуты к этому времени российскими буровиками, и быстрым приближением забоя скважины 5Г к предполагаемой границе (лед–вода), образованной толщей ледника и водным телом озера. К началу февраля 1995 г. глубина скважины 5Г на станции Восток достигла 3058 м. Этот гляциологический проект был начат в 1990 г. с задачами палеоклиматических реконструкций по данным ледяного керна, с целью определения изменчивости климатических характеристик антарктической атмосферы за последние несколько сотен тысяч лет. Понятно, что проект бурения ледника никак не был связан с изучением подледникового водоема, о существовании которого перед началом бурения не имелось никакой информации. Сам факт наличия глубокой ледяной скважины создавал заманчивую перспективу использования этого гляцио-инженерного сооружения для проникновения в подледниковое озеро, тем более что для исследования данного водного объекта в этом случае не требовалось создания дополнительной логистической инфраструктуры, что во многом ускоряло возможность перехода к реальному изучению водного тела озера и его донных отложений. С другой стороны, наличие в скважине заливочной жидкости, состоящей из смеси керосина и фреона, вызывало глубокую озабоченность экологов в связи с возможным загрязнением реликтовых вод озера Восток. В связи с этим СКАР разработал Рекомендацию, которая призывала Российскую антарктическую экспедицию приостановить бурение на безопасной глубине в несколько десятков метров до разработки экологически чистой технологии проникновения в воды озера и широкого обсуждения ее международным антарктическим сообществом.

Указанные обстоятельства потребовали по возможности надежно определить толщину ледника в районе скважины 5Г. С этой целью были использованы три независимых метода измерения этого параметра. Два из них были традиционны: радиолокационное профилирование и сейсмическое зондирование методом отраженных волн. Однако первый из них был дополнен методикой определения скорости распространения электромагнитных волн в данной точке ледника методом «наклонного зондирования», когда расположение передатчика и приемника радиолокационной станции разносилось на фиксированные расстояния на горизонтальной поверхности ледника. Второй (сейсмический) был дополнен методом сейсмического каротажа скважины 5Г, при котором сейсмоприемник погружался на различные глубины скважины, включая ее забой, а возбуждение импульсов (взрывов) выполнялось в соседних неглубоких скважинах. Данный метод дал возможность определить не только вертикальную эпюру распределения модуля скорости сейсмической волны, но и величину толщины льда от забоя скважины до границы лед–вода. Наконец, третий метод заключался в экстраполяции данных распределения температуры льда на забое скважины до расчетной точки его плавления на вышеназванной границе. Сопоставление этих измеренных и расчетных данных показало, что вышеназванная граница находится на глубине 3750 ± 20 м. В конце антарктических сезонов 1995/96, 1996/97 и 1997/98 гг. глубина ледяной скважины 5Г достигла отметок 3335 м, 3523 м, 3623 м соответственно. Таким образом, до верхней границы водного слоя озера в февра-

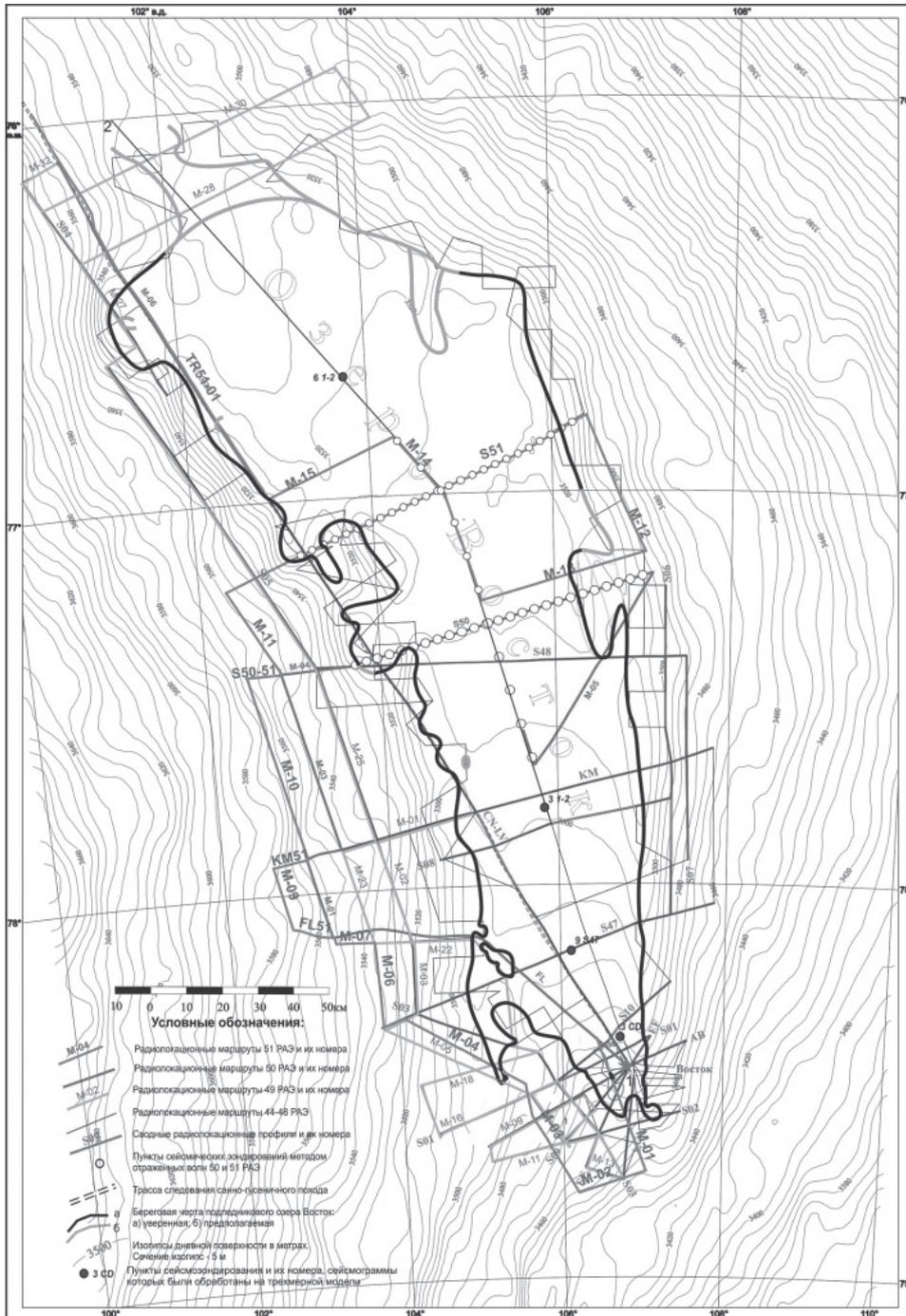


Рис. 1. Схема расположения маршрутов геофизических исследований в районе озера Восток.

ле 1998 г. оставалось около 130 ± 20 м льда. Отметим, что это очень высокая точность геофизических методов измерения. Как правило наблюдениями высочайшего качества считаются те, которые имеют погрешность 1 % от измеренной величины, в нашем случае это $\pm 37,5$ м. Повысить точность измерений позволили дополнительные методические работы по интерпретации сейсмических и радиолокационных измерений, о которых было сказано выше.

Согласно полученным геофизическим данным, протяженность береговой черты озера Восток составляет 1030 км, включая 70 км, приходящиеся на острова; площадь водного зеркала равна 15,5 тыс. км², исключая 70 км² территории островов. Было выяснено, что водное зеркало располагается на абсолютных высотах, приблизительно от –800 м в северной части и до –200 м в южной по отношению к уровню моря. Его уклон составляет около $0,12^\circ$. На момент исследований это был первый в своем роде подобный природный объект: водный резервуар с наклонной верхней поверхностью.

В результате работ над акваторией подледникового озера Восток было выполнено в общей сложности 318 сейсмических зондирований методом отраженных волн (МОВ) и 5190 погонных км радиолокационных маршрутов [Масолов и др., 2010]. Схема расположения указанных геофизических работ приведена на рис. 1. Толщина водного тела определялась посредством сейсмических измерений.

Как следует из рис. 2, средняя толщина водного слоя подледникового озера Восток составляет около 410 м; объем водного тела – около 6343 км³. В генеральном плане оно подразделяется на две неравные по размерам части. Первая из них (южная) является наиболее глубоководной, но меньшей по размеру. Она занимает территорию приблизительно 70×30 км. Преимущественные толщины водного слоя здесь составляют около 800 м. Вторая часть (северная) является относительно мелководной. Она занимает территорию приблизительно 180×60 км. Средняя толщина водного слоя – около 300 м. Рассмотренные выше толщины водного слоя озера Восток полностью находят свое отражение в рельефе дна. Он представлен на рис. 3. Комплекс геоморфологических признаков (крутые, более 15° , склоны котловины, их значительная высота, местами превышающая 1500 м, при значительном ее размере, около 310×100 км) указывает на приуроченность этой структуры к глубинному разлому, а также на относительно молодой в геологическом отношении его возраст. Кроме того, с позиций геоморфологической терминологии эту структуру правильнее называть желобом («длинная и узкая впадина с крутыми склонами»), нежели котловиной («впадина округлых или почти округлых очертаний»), поскольку соотношение ее длины и ширины более чем 3:1.

Рельеф желоба Восток в целом представляет собой холмистую равнину со средней абсолютной высотой около –900 м. Относительные превышения, по всей видимости, весьма незначительные и не превышают 100 м при максимальных уклонах до 4° . Холмистая равнина занимает территорию около 5800 км², что составляет более трети всей территории (рис. 3) [Антарктика, 2011; Масолов и др., 2010].

Учитывая большую обеспокоенность международного научного антарктического сообщества, которая неоднократно выражалась в выступлениях на Консультативных совещаниях по Договору об Антарктике (КСДА) и на открытых Конференциях СКАР, руководство РАЭ в 1998 г. приняло решение о временном прекращении бурения льда в скважине 5Г.

В конце этого же года министерство науки и технологий Российской Федерации по инициативе Бориса Ивановича Имярекова объявило открытый конкурс на разработку

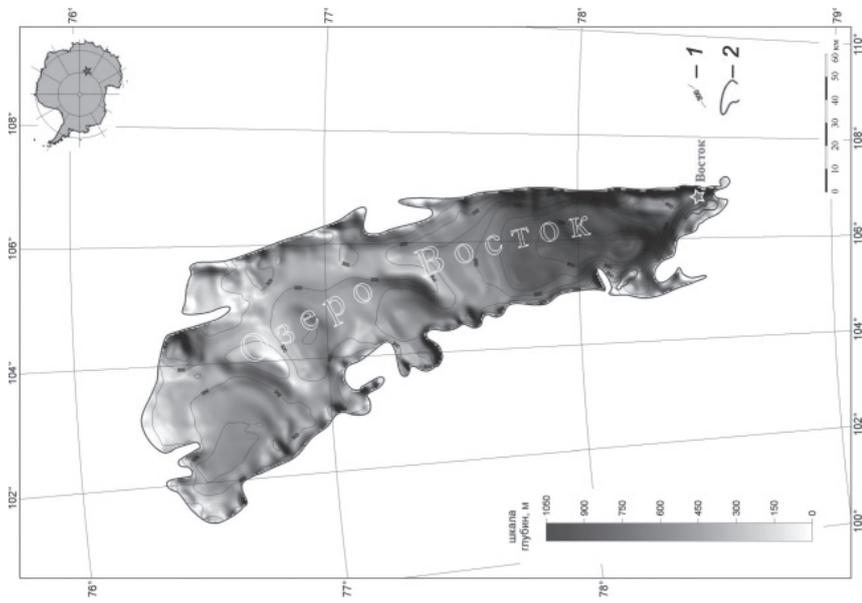


Рис. 2. Глубина подледникового озера Восток: 1 – изобаты в метрах; сечение изолиний – 150 м; 2 – береговая линия озера Восток.

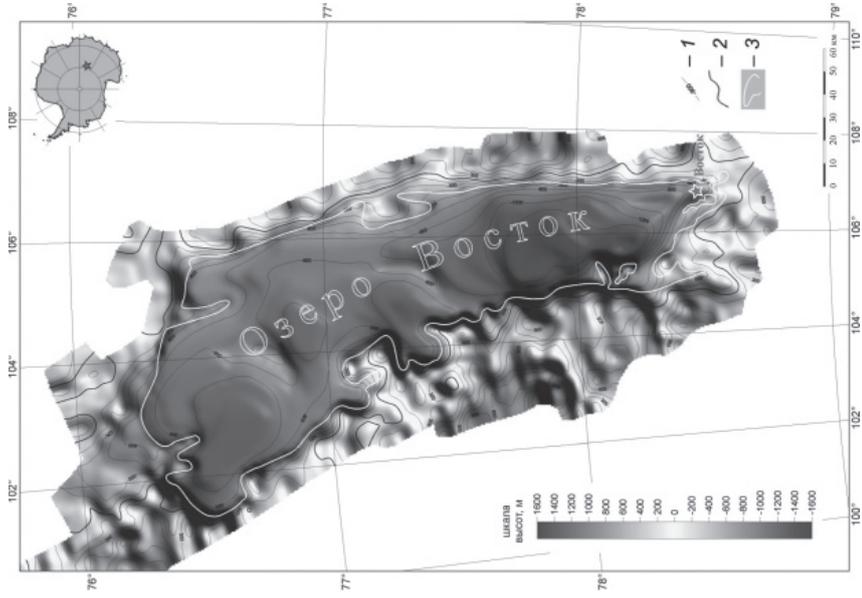


Рис. 3. Коренной рельеф района подледникового озера Восток: 1 – изогипсы коренного рельефа в метрах; сечение изолиний – 150 м; 2 – уровень моря; 3 – береговая линия озера Восток.

экологически чистой технологии отбора проб воды из поверхностного слоя подледникового озера Восток через глубокую скважину 5Г. Данный конкурс выиграл совместный коллектив специалистов Санкт-Петербургского горного института (СПб ГИ) и Арктического и антарктического НИИ (ААНИИ), под руководством профессора СПб ГИ Бориса Борисовича Кудряшова, который в то время заведовал кафедрой бурения скважин. Работы по этой проблематике выполнялись в период 1999–2000 гг. Отбор проб воды из поверхностного слоя озера Восток предусматривал технологию экологического чистого проникновения в озеро из ледяной скважины 5Г, заполненной смесью керосина и фреона. Эта заливочная жидкость обеспечивает невозможность развития эффекта «горного давления», который начинает действовать в незаполненных скважинах ниже отметки 500 м. При бурении ледника данная жидкость не должна быть замерзающей, а по плотности она должна равняться величине плотности льда ($0,91 \text{ г/см}^3$). Известно, что плотность керосина $0,78 \text{ г/см}^3$, плотность фреона – $1,54 \text{ г/см}^3$, последняя жидкость применяется в качестве утяжелителя. После вступления в силу 1 января 1989 г. Монреальского Протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, в работах РАЭ стал применяться разрешенный требованиями Протокола тип фреона – F 141В. Авторами технологии предусматривалось, что в поверхностном слое ледяной скважины перед осуществлением проникновения в водный слой озера будет искусственно создан эффект недокомпенсации давления заливочной жидкости (верхний уровень жидкости в скважине будет понижен до 30–50 м от поверхности скважины). В результате контакта с буровым снарядом вода, находящаяся под давлением около 375 атмосфер, устремится вверх по стволу скважины, вытесняя заливочную жидкость на величину недокомпенсации давления. Плотность воды составляет $1,0 \text{ г/см}^3$, а плотность заливочной жидкости – $0,91 \text{ г/см}^3$, поэтому вода всегда будет находиться под заливочной жидкостью. Последняя, созданная на основе керосина, является гидрофобной жидкостью, которая ни при каких условиях не смешивается с водой. Таким образом, контакт заливочной жидкости с реликтовой водой озера будет регистрироваться только в стволе скважины, площадь которой составляет $0,014 \text{ м}^2$, и заливочная жидкость никак не сможет распространиться под ледяным покровом.

В марте 2001 г. Государственная экологическая экспертиза Российской Федерации дала положительное заключение на этот проект, а в начале июля того же года на XXIV Консультативном совещании по Договору об Антарктике (КСДА) в Санкт-Петербурге делегация Российской Федерации впервые представила эту технологию международному сообществу. Простая и одновременно эффективная российская технология экологически чистого проникновения в водный слой озера Восток вызвала настоящий шок среди лидеров научных антарктических исследований того времени, среди которых особенно выделялись США. Они понимали, что оставшиеся для бурения 130 м льда могут быть преодолены РАЭ за один-два летних сезона. Ситуация была похожа на «лунную гонку», когда космические программы США и СССР встретились в остром соперничестве за право обладания первенством в высадке человека на Луну. Тогда выиграла американцы, и в нашей стране были вынуждены переориентироваться многие научно-исследовательские институты, проектные и конструкторские бюро, производственные предприятия. Американцы всегда и во всем стремятся быть первыми, поэтому ситуация с проникновением в озеро Восток российскими полярниками их никак не устраивала. В сезоне 2000/01 г. Антарктическая программа США провела широкомасштабные геофизические исследования с помощью авиации над акваторией озера Восток. Был объявлен конкурс на разработку быстрой технологии бурения льда, результаты которого докладывались в

сентябре 2002 г. в калифорнийском университетском городе Санта-Круз. Авторы проекта предлагали использовать для бурения льда горячую воду, температурой около +90 °С. Бурение осуществляется методом плавления ледника с помощью электронагревательного элемента. Для бурения ледника толщиной 3750 м на его поверхности следует создать электростанцию мощностью 1 МВт. Такая мощность необходима не только для процесса плавления льда, но и для организации вертикальной циркуляции воды от нагревательного элемента в поверхностные слои ледника по всему стволу скважины, где намечается резко отрицательная температура, чтобы вода в пробуренной скважине не замерзла. Оказалось, что данный метод может дать эффективный результат только в том случае, когда температура поверхности ледника выше, чем –35 °С. Как известно, на поверхности ледника в районе станции Восток круглый год она составляет –55 °С, поэтому бурение ледника горячей водой в этом районе Антарктиды возможно только при многократном увеличении мощности электростанции. С экономической и особенно логистической точек зрения в условиях станции Восток организация работ по бурению ледника методом горячей воды становится абсолютно невозможной. В связи с этим американцы потеряли какой-либо интерес к изучению подледникового озера Восток, сосредоточив свои научные и экспедиционные планы на других более мелких подледниковых водных объектах этого региона. В то же время следует отметить, что специалисты США никогда официально не критиковали российскую технологию проникновения в озеро Восток. Эта сфера деятельности стала делом некоторых европейских государств и международных природоохранных организаций.

В сентябре 2002 г. делегация Российской Федерации на XXV КСДА в г. Варшаве (Польша) представила на рассмотрение проект Всесторонней оценки воздействия на окружающую среду в случае применения вышеназванной российской технологии отбора проб вод из поверхностного слоя подледникового озера Восток. Практически это был первый проект такой Всесторонней оценки, который рассматривался в рамках вступившего в силу в 1998 г. Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике. Вокруг российского документа возникло достаточно горячее обсуждение, которое имело не только технологический и природоохранный, но и явный политический характер. Многие страны–участники Договора об Антарктике не желали осознавать, что после практически полного прекращения деятельности российской науки в 1990-е годы эта страна находит в себе столь мощные инженерные и научные силы, чтобы совершить прорыв в неведомый мир. По решению XXV КСДА была образована межсессионная контактная группа для обсуждения российского проекта и подготовки дополнительных вопросов к российской стороне. Такие вопросы и замечания были сформулированы в декабре 2002 г., и наша страна подготовила ответы на них, которые были включены в пересмотренную Всестороннюю оценку на возможность применения технологии проникновения в озеро Восток. Эта пересмотренная оценка более чем за 90 суток до начала рассмотрения, как это требует регламент Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике, была представлена участниками очередного XXVI КСДА в г. Мадриде (Испания). После рассмотрения этого документа Россия получила окончательные замечания, которые уже не могли быть пересмотрены, а ответ на них давал возможность подготовки заключительной Всесторонней оценки. На большую часть полученных замечаний можно было ответить только после продолжения бурения в глубокой скважине 5Г на станции Восток, которое было приостановлено на глубине 3623 м в конце января 1998 г. Более сложным являлось требование предварительного испытания российской технологии на другом небольшом природном объекте, моделирующем условия озера Восток, выполнить его в условиях

дефицита финансирования деятельности РАЭ было очень сложно, т.к. организация буровых работ над другим небольшим подледниковым озером в Антарктиде требовала огромных дополнительных логистических и финансовых затрат.

Решение последней проблемы возникло совсем неожиданно, в 2004 г. гляциологи из Дании осуществляли проект глубокого бурения ледяного щита в северной части о. Гренландия. Концептуально европейская технология бурения ледников, разработанная инженерами из этой скандинавской страны, ничем не отличается от российской. Более того, в качестве буровой жидкости, которая заливается в буровую скважину для устранения эффекта «горного» давления, также используется керосиново-фреоновая смесь. Неожиданно на глубине свыше двух километров ледяной бур попал в водную линзу. К этому моменту в верхней части скважины существовал дефицит уровня заливочной жидкости, который планировался и в российской технологии проникновения в озеро Восток. Датские буровики сумели поднять буровой снаряд на поверхность сразу же после его контакта с водой и проследили за величиной подъема уровня заливочной жидкости в скважине. Через год они вновь разбурили «свежезамороженный» ледяной керн, который образовался в результате подъема воды по стволу скважины и ее последующего замерзания, и передали его в исследовательские лаборатории различных стран. Оказалось, что загрязненным керосином и фреоном стал только верхний 10-сантиметровый участок ледяного керна, далее лед был стерильно чистым, как с химической, так и с биологической точек зрения. Таким образом, наши коллеги из Дании провели независимое тестирование российской технологии проникновения в подледниковое озеро Восток, доказав ее экологическую чистоту. Российская Федерация привела эти материалы в своем очередном документе, представленном на XXIX КСДА в июне 2006 г. в г. Эдинбурге (Великобритания) [Российские исследования..., 2006]. Одновременно нами была подготовлена Первоначальная оценка воздействия на окружающую среду процесса продолжения бурения новых 75 м ледяного керна (участок в слое 3623–3700 м) [Бурение..., 2006]. Данная оценка также была представлена в российскую «Межведомственную комиссию по рассмотрению заявок на деятельность российских физических и юридических лиц в Антарктике и выдаче заключения по ним» и получила Официальное разрешение № 039 от 20 ноября 2006 г. на проведение этих работ. В летнем антарктическом сезоне 2006/07 г. буровые операции в скважине 5Г на станции Восток были возобновлены после 8-летнего перерыва. Отечественные буровики совершили, казалось бы, невозможное – они расконсервировали скважину и создали все необходимые условия для продолжения бурения. Из-за серьезных временных ограничений сезонных работ на станции Восток (не более двух месяцев: декабрь–январь) и больших объемов подготовительных операций по расконсервированию скважины, в этот сезон удалось пробурить только 27 м нового льда (бурение было остановлено на отметке 3650 м). На следующий год планировалось провести бурение льда в годовом цикле с включением в зимовочный состав станции Восток двух буровых специалистов. 13 января 2008 г. произошел обрыв грузонесущего кабеля буровой лебедки. В результате снаряд застрял на забое скважины, находящейся на отметке 3658,26 м. Ценой исключительных усилий и благодаря огромному опыту инженерных способностей начальника гляцио-бурового отряда на станции Восток профессора Н.И.Васильева удалось в станционных условиях изготовить специальное устройство для захвата верхней концевой части оторвавшегося бурового снаряда, зацепить его в скважине диаметром 135 мм и поднять

на поверхность. После модернизации снаряда и приведения в надлежащее состояние призабойного участка скважины бурение было продолжено в течение зимовки.

К 28 октября 2007 г. глубина ледовой скважины составила 3668 м. Однако новая техническая авария привела к потере бурового снаряда на забое скважины. Предпринятые в сезонах 2007/08 и 2008/09 гг. попытки извлечь аварийный снаряд из скважины не увенчались успехом, поэтому в январе 2009 г. было принято решение обойти аварийный участок, используя методику отклонения ствола скважины от вертикали. Данная методика была разработана в Санкт-Петербургском горном институте и уже успешно применялась в Антарктиде. Отклонение ствола скважины было начато с глубины 3590 м, что давало возможность отклониться от положения аварийного снаряда по горизонтали на удалении в 1,5 м. Кроме того, данная процедура позволяла получить повторные образцы ледяного керна с минеральными включениями, которые ранее были обнаружены в слое 3607–3611 м. На конец января 2010 г. глубина новой скважины 5Г-2 составила 3650 м. В сезоне 2010/11 г. бурение было продолжено, несмотря на серьезные технические трудности, возникающие при бурении «теплого» льда, за январь 2011 г. было пробурено 70,5 м нового льда. 5 февраля 2011 г. (конец сезонных операций на станции Восток в сезоне 2010/11 г.) глубина скважины составила 3720,47 м.

Таким образом, перед началом сезона 2011/12 г. до границы лед–вода оставалось 30 ± 20 м льда. Учитывая, что скорость ледовой проходки за последнюю неделю сезона 2010/11 г. составляла 1,8 м/сутки, предполагалось, что оставшиеся 10–50 м льда можно будет преодолеть в течение января 2012 г.

28 ноября 2011 г. самолет DC-3 ВТ67 «Турбобаслер» совершил первую в новом сезоне посадку на станции Восток, доставив туда семь специалистов гляцио-бурового отряда из сезонного состава 57-й РАЭ во главе с профессором Николаем Ивановичем Васильевым, заведующим кафедрой бурения скважин Санкт-Петербургского государственного горного университета.

30 ноября, завершив короткий период акклиматизации к условиям высокогорья (станции Восток находится на высоте 3488 м над уровнем моря), коллектив отряда приступил к работе по расконсервированию бурового комплекса и ледяной скважины. За декабрь им предстояло выполнить ремонт некоторых технических узлов и агрегатов буровой лебедки, проверить и восстановить работоспособность электронного оборудования, модернизировать буровой снаряд новыми деталями, привезенными из Петербурга. Кроме того, требовалось проверить изменение диаметра ствола скважины по вертикали, разбурить места его сужения, возникающие за счет горизонтальных деформаций пластов ледника в результате неравномерности скоростей его движения по вертикали, произвести отбор проб заливочной жидкости с различных горизонтов всего ствола скважины, измерить плотность этой жидкости и при необходимости внести коррективы, приближая значения плотности к величине $0,91 \text{ г/м}^3$, измерить значения вертикального профиля распределения температуры и давления в слое заливочной жидкости. Только после завершения всех этих операций было возможно продолжение бурения нового льда. Бурение льда в скважине началось 2 января 2012 г.

На 13 января глубина скважины достигла отметки 3738,5 м. После этого возникли некоторые технические проблемы в грузонесущем кабеле, что привело к вынужденной остановке бурения. В этот период были выполнены новые геофизические наблюдения за температурой и давлением на забое скважины, а также разбурен участок скважины до диаметра 136 мм в слое 3720–3738,5 м. Непосредственно буровые рабо-

ты были начаты только 20 января. До 31 января средняя суточная скорость буровой проходки составляла 1,5–2 м/сутки, и на последний день января глубина скважины находилась на отметке 3760 м. С этого момента начались самые напряженные дни в буровой программе. Формально максимально глубокая граница лед–вода по данным сейсмических и радиолокационных наблюдений должна была находиться в 10 метрах от вышеназванной отметки. Новые данные по температуре льда на забое скважины показывали, что место, где может происходить расчетное плавление льда при данном давлении, должно находиться на отметке 3766 ± 16 м. Буровой сезон предстояло завершить не позднее 5 февраля 2012 г., когда со станции Восток должен был улететь последний в этом сезоне самолет с участниками проекта. Изменить эту дату не представлялось возможным, т.к. сотрудников станции Восток из сезонного состава 57-й РАЭ на рейде российской антарктической станции Прогресс ожидало научно-экспедиционное судно «Академик Федоров» ААНИИ Росгидромета. На участников экспедиции, ожидающих возвращения на родину на борту судна из порта Кейптаун, были приобретены авиабилеты, изменение даты вылета которых было невозможно. Кроме того, полеты самолетов DC BT-67 «Турбобаслер» на станцию Восток были тесно увязаны с межконтинентальными полетами самолета Ил-76 из Кейптауна на станцию Новолазаревская и обратно по международной авиационной программе ДРОМЛАН. В связи со всем этим у участников проекта появилась неуверенность в его успешном завершении в начале февраля 2012 г. по срокам выполнения проекта.

Другой важной проблемой стал вопрос целесообразности перехода на бурение нижних горизонтов льда термобуровым снарядом с добавлением в нижнюю часть скважины специальной кремнийорганической жидкости. Дело в том, что переход на термобуровую снаряд предполагает бурение в безостановочном цикле и предусматривает полное отсутствие операции спуска-подъема снаряда. Переход на новый тип бурения, а также внесение нового компонента заливочной жидкости на основе силиконовых соединений требовали остановки бурового процесса как минимум на 2–3 дня. Это означало, что практическое выполнение бурения тепловым способом в летнем сезоне 2011/12 г. становилось принципиально невозможным из-за строгого временного лимита. Поэтому исполнителями работ было принято решение продолжить бурение электромеханическим снарядом до последней возможности – сообщения о вылете самолета на Восток со станции Прогресс.

4 февраля, когда забой скважины находился на глубине 3766 м, возникли серьезные проблемы с отрывом пробуренного полутораметрового керна от основного тела ледника. Было решено разломать этот керн на две примерно равные части по 70–80 см каждая. Если верхний участок керна по своему внешнему виду ничем не отличался от расположенных над ним аналогичных ледяных образцов, то боковые стенки нижней части керна были «отглазированы», как будто керн был опущен в более теплую воду. После очередного спуска бурового снаряда оказалось, что дальнейшее бурение льда не происходит. Только после откачки 3–4 л жидкости из призабойнойго участка скважины бурение льда возобновилось. Поднятая на поверхность жидкость оказалась замерзшей водой, о чем сигнализировал и датчик электропроводимости, установленный на буровом снаряде. Замерзание воды произошло в верхних горизонтах скважины, где температура боковых стенок около -55 °С. Таким образом, на глубине 3766 м буровой снаряд в скважине 5Г попал в водную линзу. Согласно предположениям Н.И.Васильева, данная водная линза образовалась в результате гидростатических напряжений в призабойной части скважины в момент попыток отрыва керна от тела ледника. В образовавшиеся на боковых стенках

скважины микротрещины вода из подледникового озера, находящаяся под давлением около 3 атм., устремилась в нижнюю часть скважины и в результате была поднята на поверхность. Таким образом, российские исследователи получили первые образцы озерной воды, которые были отобраны в специально стерилизованную лабораторную посуду. Как и во все дни января, буровые операции в скважине продолжались в круглосуточном режиме, и 20.25 МСК на отметке глубины 3769,3 м (по длине ледяного керна) произошло долгожданное событие. Факт контакта буровой коронки снаряда с водным телом озера был зафиксирован датчиками электропроводимости, давления и момента упора при вращении буровой коронки в процессе резания льда. В этот момент главной задачей буровых операторов был немедленный подъем бурового снаряда на поверхность. Дело в том, что диаметр буровой коронки составляет 135 мм, такой же диаметр имеет и ледяная скважина. Однако между поверхностью керновой трубы бурового снаряда и боковыми стенками скважины существует микронный зазор, который будет немедленно заполняться водой под давлением. Стенки скважины находятся в отрицательном диапазоне температур, поэтому просочившийся сверхтонкий слой воды вода практически немедленно замерзнет и тогда поднять снаряд на поверхность станет невозможным, т.к. он примерзнет к боковым стенкам скважины. Операция была выполнена на «отлично». На вахте в буровом комплексе станции Восток в это время находились самые опытные из буровых мастеров – начальник гляцио-бурового отряда Н.И.Васильев и ведущий инженер В.М.Зубков. На высоте около 30–40 м от нижней поверхности ледника удалось оторвать буровой снаряд от озерной воды, поднявшейся на эту величину по стволу скважины. Одновременно поднялся и уровень заливочной жидкости. Около 1,5 м³ ее вылилось через верхний край в специальные поддоны, после чего она была перекачана в пустые бочки. Реальное значение величины подъема воды в скважине и уровня заливочной жидкости в ней будут измерены после начала интенсивного замерзания озерной воды, поднявшейся по стволу скважины 5Г. Зимой 2012 г. двумя специалистами-буровиками из состава 57-й РАЭ на станции Восток будет осуществляться мониторинг состояния этой скважины.

В настоящее время скважина 5Г представляет собой сложное многоступенчатое сооружение (рис. 4). В ее верхней части установлена обсадная колонна до глубины 120 м с внутренним диаметром 165 мм. До глубины 2200 м (скважина пройдена термобуром ТБЗС-152 с наружным диаметром 152 мм) минимальный диаметр скважины равен 153 мм. Минимальный диаметр скважины по интервалам глубин составляет: 2200...3095 м – 139 мм; 3095...3321 м – 138,4 мм; 3321...3500 м – 137,9 мм; 3500...3570 м – 136,2 мм; 3570...3650 м – 135 мм.

Перед началом бурения механическим способом этот участок скважины был расширен до диаметра 139 мм. В процессе бурения механическим способом (максимальный наружный диаметр коронки по резцам 135 мм) пройденные участки скважины периодически расширялись, в результате чего скважина имеет ступенчатую форму. Общий объем заливочной жидкости (смесь авиационного топлива ТС-1, Jet-1А и фреона F-141b) в скважине составляет около 65 м³.

Продолжение буровых работ в скважине 5Г на станции Восток и результаты экспериментального исследования в глубокой ледяной скважине на севере Гренландии дали возможность специалистам ААНИИ разработать Заключительную Всестороннюю оценку на Проект экологически чистого отбора проб воды из поверхностного слоя подледникового озера Восток, полностью ответив на все вопросы и замечания, сделанные международным антарктическим сообществом на XXVI КСДА в Мадриде

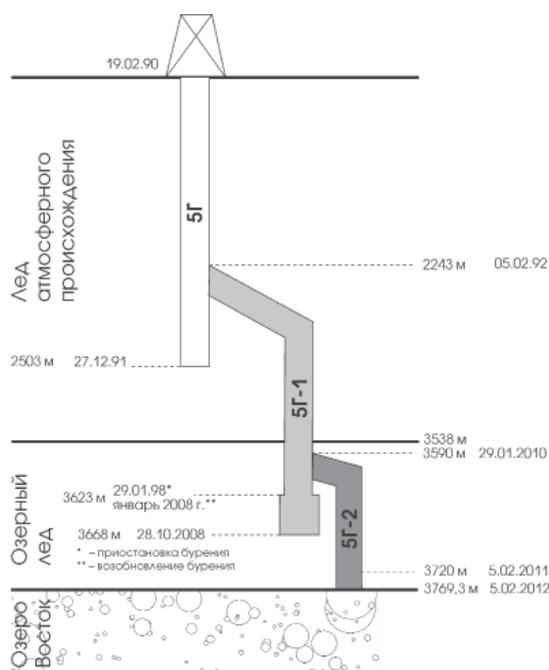


Рис. 4. Схема бурения скважины 5Г.

в 2003 г. Официальные ответы на эти замечания были доложены делегацией России в рабочем документе, представленном на XXXIII КСДА в Уругвае в мае 2010 г. [Отчеты, 2010]. По существующей в нашей стране процедуре РАЭ получила официальное Разрешение на выполнение этой операции 23 ноября 2010 г. № 067. Данная Оценка была переведена на английский язык и 30 ноября 2010 г. официально распространена среди Консультативных сторон Договора об Антарктике. Таким образом, наша страна полностью выполнила все природоохранные процедуры, предусмотренные в требованиях Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике.

Проект проникновения в подледниковое озеро Восток является чисто российским, никакие зарубежные страны не участвуют в его осуществлении, не передают для работ своего оборудования и приборов и не могут свободно пользоваться результатами данных исследований. Зарубежные национальные антарктические программы уже более 10 лет не проводят самостоятельных работ по изучению этого природного объекта. Исключение составляют российско-германские геодезические измерения дрейфа движения и вертикальных колебаний поверхности ледника над акваторией озера Восток.

Согласно разработанной и принятой технологии в сезоне 2012/13 г. РАЭ будет проводить операции по разбуриванию «свежезамороженного» ледяного керна, образованного из поверхностной воды подледникового озера Восток, которая поднялась по стволу скважины 5Г. На этот раз, зная реальную толщину ледника, бурение будет остановлено на высоте 5–10 м от нижней кромки ледника, после чего в скважину будет долита керосиново-фреоновая смесь для продолжения нового цикла исследований озера. Данный этап изучения этого подледникового водного объекта будет связан

с изучением водной толщи озера, находящейся непосредственно под скважиной 5Г. По данным сейсмических измерений, толщина этого слоя составляет 650 м.

Реализация этого вида работ будет проводиться по технологии и с помощью инженерных решений, которые были разработаны в Санкт-Петербурге, под руководством специалистов Петербургского института ядерной физики им. Константинова.

Технология предусматривает доставку измерительного оборудования в реликтовые воды озера без его контакта с заливочной жидкостью в скважине для того, чтобы обеспечить стерильность измерительных и пробоотборных средств при их использовании в водной толще озера. Были созданы гидрофизический и биохимические зонды, пробоотборник, а также транспортировочный узел для доставки данных приборов в водный слой озера через заливочную жидкость. Все приборы и внутренняя поверхность транспортировочного узла предварительно будут стерилизованы жестким гамма-излучением в условиях стационара, а перед каждым спуском будут обрабатываться озоном непосредственно в условиях бурового комплекса станции Восток. Впервые данная технология и конструктивные особенности разработанных технических средств были представлены российской стороной на международной конференции в г. Балтиморе (США) в марте 2010 г. и впоследствии опубликованы в монографии Американского геофизического союза в 2011 г. [Lukin, Bulat, 2011].

В настоящее время в Антарктике насчитывается более двухсот подледниковых озер. Озеро Восток является крупнейшим из них и наиболее изученным, в основном благодаря усилиям российских специалистов и ученых. Классическое географическое определение озера – «естественный водоем на поверхности суши, не связанный непосредственно с Мировым океаном, отличающийся своеобразным термическим режимом». Подледниковое озеро определяется как скопление воды во впадине коренного ложа под ледником [Котляков, Комарова, 2007]. На этом основании практически любые объемы подледниковой воды могут отождествляться с подледниковыми озерами. Подавляющее большинство из таких объектов обнаружены по данным воздушной радиолокации и альтиметрических измерений высоты поверхности ледников с искусственных спутников Земли. При этом не существует данных о береговой черте подобных водоемов, толщине водного слоя в них и т.д. Наиболее изученными подледниковыми антарктическими озерами являются Восток, Элсуорт и Конкордия. В сезоне 2012/13 г. Британская антарктическая служба планирует организовать бурение ледяного покрова над озером Элсуорт с использованием американской технологии быстрого бурения льда горячей водой с последующим спуском в его водную толщу комплексного измерительного средства. Диаметр ледяной скважины для этих целей будет превышать 90 см. По измеренным сейсмическим данным толщина водного слоя данного озера составляет около 200 м, а его размеры – 14×8 км. Таким образом, этот природный подледниковый объект, расположенный в Западной Антарктиде, практически ничем не похож на озеро Восток. Однако тот комплекс исследований, который планируют осуществить британские коллеги, безусловно, даст новые представления о подледной водной среде шестого континента.

Основными направлениями исследований таких систем являются:

- изучение биоразнообразия флоры и фауны, обитающих в подобных природных объектах;
- исследование законов эволюции живых организмов, которые на протяжении нескольких миллионов лет не имели контакта с атмосферой;

– исследование земной коры под ледяным щитом Антарктиды с целью познания ее состава и структуры до начала процесса оледенения южного полярного региона (30–40 млн лет назад);

– отработка технологий и инженерных решений в земных условиях для их последующего применения в космических исследованиях по поиску живых организмов на других объектах Солнечной системы.

Наиболее перспективными космическими объектами для этих целей являются полярные шапки Марса и один из спутников Юпитера – планета Европа.

Такие перспективы открываются перед российскими исследователями после проникновения в водный слой подледникового озера Восток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антарктика. Геоморфологический атлас. СПб.: Изд-во «Карта», 2011. 255 с.
2. Бурение дополнительных 75 метров глубокой скважины 5Г-1 на станции Восток. Первоначальная оценка окружающей среды. ИД-69. Представлен делегацией России на XXIX КСДА г. Эдинбург, 2006 г. URL: http://www.ats.aq/documents/ATCM29/ip/ATCM29_ip069_r.doc [дата обращения 1.02.2012].
3. Котляков В.М., Комарова А.И. География. Понятия и термины: Пятиязычный академический словарь. М.: Наука, 2007. 859 с.
4. Масолов В.Н., Лукин В.В., Шереметьев А.Н., Попов С.В. Геофизические исследования подледникового озера Восток в Восточной Антарктиде // ДАН. 2001. Т. 379. № 5. С. 680–685.
5. Масолов В.Н., Попов С.В., Лукин В.В., Попков А.М. Рельеф дна и водное тело подледникового озера Восток, Восточная Антарктида // ДАН. 2010. Т. 433. № 5. С. 693–698.
6. Ответы на замечания по ВООС «Отбор проб воды подледникового озера Восток». РД-59. Представлен делегацией России на XXXIII КСДА, г. Пунта-дель-Эсте, 2010 г. URL: http://www.ats.aq/documents/ATCM33/wp/ATCM33_wp059_r.doc [дата обращения 1.02.2012].
7. Российские исследования подледникового озера Восток в сезоне 2005–2006 гг. и планы работ на сезон 2006–2007 гг. ИД-68. Представлен делегацией России на XXIX КСДА, г. Эдинбург, 2006 г. URL: http://www.ats.aq/documents/ATCM29/ip/ATCM29_ip068_r.doc [дата обращения 1.02.2012].
8. Kapitsa A.P., Ridley J.R., Robin G. De Q., Siegert M.J., Zotikov I.A. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // Nature. 1996. Vol. 381. P. 684–686.
9. Lukin V., Bulat S. Vostok subglacial lake: details of Russian plans/activities for drilling and sampling // Antarctic Subglacial Aquatic Environments / M.Siegert, M.Kennicutt and R. Bindschadler eds / Geophysical Monograph 192 (Washington, DC: American Geophysical Union Press). 2011. P. 187–197.

V.V.LUKIN

A WAY TO LAKE VOSTOK STUDIES IS NOW OPEN

On February 5, 2012, surface waters of the sub-glacial lake were penetrated via deep ice borehole drilled at Russian Antarctic Vostok station. The article focuses on the main stages of studies started back in 1995, technical parameters of the borehole, characteristics of the technique of penetration to the water layer of sub-glacial lake and most significant stages in discovery and studies of Lake Vostok. Main trends of future studies of Lake Vostok and their significance for the scientific community are considered.

Keywords: Antarctic research station Vostok, sub-glacial Lake Vostok, deep-water ice borehole, water layer penetration techniques, scientific trends of future studies of the sub-glacial lake Vostok.