

УДК 551.32(091)

К истории международного проекта бурения глубокой ледниковой скважины на станции Восток

© 2012 г. В.М. Котляков

Институт географии РАН, Москва

vladkot6@gmail.com

Статья принята к печати 26 сентября 2012 г.

Антарктида, глубокая скважина, международное сотрудничество, подледниковое озеро, станция Восток.
Antarctica, deep borehole, international cooperation, subglacial lake, Vostok station.

Рассказывается о становлении и развитии советского/российского проекта глубокого бурения в Центральной Антарктиде, об истории открытия подлёдного озера Восток и о многолетнем сотрудничестве СССР/России, Франции и США по этому проекту. Работы, продолжавшиеся несколько десятилетий, успешно завершились проникновением в подлёдное озеро, что следует признать крупнейшим достижением начала XXI в. в области наук о Земле.

Новейший этап антарктических исследований, начавшийся спустя десять лет после завершения Второй мировой войны, был связан с проведением Международного геофизического года (1957–1959). Именно в это время несколько стран, и прежде всего Советский Союз, США и Франция, начали беспрецедентные по размаху исследования на шестом континенте. Французские исследователи сосредоточили свои работы на станции Шарко, американцы подняли свой флаг на Южном географическом полюсе, а Советская антарктическая экспедиция основала станцию на Южном геомагнитном полюсе, который, как вскоре выяснилось, является также полюсом холода Земли (здесь была измерена самая низкая температура на земном шаре $-89,2^{\circ}\text{C}$). Эта станция, получившая название Восток (по имени шлюпа экспедиции Ф.Ф. Беллинсгаузена), была открыта в январе 1958 г. Второй континентальной антарктической экспедицией, где под руководством А.Ф. Трешникова посчастливилось работать и мне.

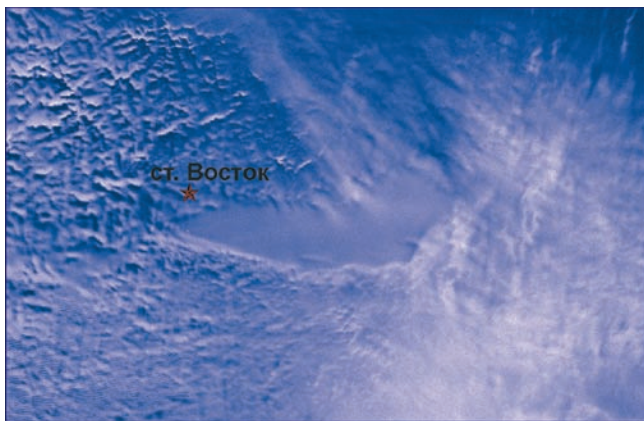
В начале 1960-х годов И.А. Зотиков [3, 26] научно обосновал заключение о том, что существует критическая толщина ледника, при превышении которой на ледниковом ложе начинается таяние льда. Расчёты показали, что на траверсе от Мирного уже в 350 км от берега реальная толщина льда начинает превышать её критическое значение, поэтому почти во всей Центральной Антарктиде, несмотря на очень низкие среднегодовые температуры, у ложа идёт непрерывное таяние и под мощным ледниковым покровом должен быть слой жидкой воды.

В 1959 и 1964 гг. при сейсмозондировании в Центральной Антарктиде А.П. Капица [4] получил сейсмограммы в районе станции Восток с двумя отражениями на глубинах 3730 и 4130 м. Тогда верхнее отражение приняли за отражение от подошвы ледника, а нижнее приписали границе ледниковых отложений и

коренных пород. Однако позже эти отражения были интерпретированы как отражения от толщ воды, находящейся подо льдом.

В 1970 г. были начаты работы по Международному антарктическому гляциологическому проекту (МАГП), продолжавшиеся около десяти лет. В этом проекте участвовали учёные из Австралии, СССР, США и Франции (спустя год к ним присоединились Великобритания и Япония). В 1970-х годах Британский полярный институт имени Р. Скотта выполнил большую программу полётов с радиозондированием в Центральной Антарктиде. Плотность полётных галсов в антарктические летние сезоны 1971/72 и 1974/75 гг. с зарегистрированными «водными отражениями» ото дна ледника в районе станции Восток была столь велика, что Г. Робин с коллегами [21] предположил существование в Центральной части Восточной Антарктиды большого подледникового озера с центром примерно в 150 км к северо-западу от станции Восток. Именно тогда в научный обиход вошёл термин «подледниковое озеро».

Ещё через некоторое время удалось получить данные со спутника ERS-1, орбита которого позволяла провести радарную съёмку Антарктического материка, за исключением самой центральной, околополюсной части. На картине, полученной со спутника, обозначилась крупная, необычная форма рельефа в районе станции Восток. Позже, на основе обработки данных радарной альтиметрии со спутника ERS-1, Дж. Ридли с коллегами [20] построил компьютерную карту высот поверхности Антарктиды, имея по одной точке на каждые 10 км². В 1990-х годах на снимках, сделанных спутником с полярной орбитой, удалось увидеть контуры озера (рисунок). Именно в статье Ридли с соавторами крупнейшее на планете подледниковое озеро получило своё географическое название «Восток» — по имени расположенной над его южной оконечностью российской внутриконтинентальной станции.



Космический снимок подледникового озера Восток
Subglacial Lake Vostok as seen from the space

В 1995–2008 гг. советские учёные путём наземного радиолокационного профилирования и сейсмического зондирования оконтурили границы озера и обнаружили его грандиозные размеры: около 260 км в длину, до 60 км в ширину, площадь поверхности около 15 тыс. км², мощность льда над озером 3600–4350 м, толщина воды в озере до 1200 м. [5, 6]. Возможная мощность осадков на дне озера 100–200 м; температура таяния донного льда на границе с водой от $-2,4$ до $-3,15$ °С; лёд в районе озера движется со скоростью до 2 м/год, ледниковый щит над озером находится в состоянии гидростатического равновесия.

Первая ледниковая скважина глубиной 371 м была пробурена в 1957 г. в Мирном силами гляциологического отряда Второй советской антарктической экспедиции под руководством проф. П.А. Шумского, а глубокое бурение льда на станции Восток было начато в 1970 г. по инициативе проф. Е.С. Короткевича. Техника и технология бурения льда на станции Восток разрабатывались в Ленинградском горном институте. На первом этапе (пока скважина не достигла глубины 900 м) изотопный анализ керн выполнялся в Москве в изотопной лаборатории Института географии АН СССР [1, 2].

В 1980 г. на Первом международном симпозиуме по антарктической гляциологии, состоявшемся в г. Колумбус (шт. Огайо), я договорился с тогдашним руководителем французских антарктических исследований Клодом Лориусом о совместных работах по бурению и обработке керн из глубокой скважины. К тому времени скважина на Востоке была пробурена уже более чем на тысячу метров, а Лаборатория гляциологии и геофизики окружающей среды в Гренобле переехала в новое здание, была прекрасно экипирована для проведения геохимических исследований и имела специальную лабораторию в подземном бункере с надёжной изоляцией, что позволяло вести тонкие исследования вне воздействия каких-либо химических или пылевых примесей. В Ленинграде же активно совершенствовалось буровое оборудование, что позволяло надеяться на

успешное бурение ледника на станции Восток вплоть до коренного ложа.

Официальное сотрудничество по исследованию ледяного керн со станции Восток между учёными ААНИИ и Лаборатории гляциологии и геофизики окружающей среды Национального центра научных исследований Франции началось в 1984 г., а через несколько лет к нему присоединились американцы. Объектом тройственного соглашения 1993–1998 гг. было исследование ледяного керн из скважины 5Г, бурение которой началось в 1990 г. В этот период поочерёдно в трёх странах проводились российско-франко-американские совещания Рабочей группы, на которых согласовывались конкретные взаимоотношения участников трёхстороннего проекта глубокого бурения на станции Восток:

обязательства российской стороны по передаче одной трети получаемого на станции Восток ледяного керн каждой из участвующих в проекте сторон;

обязательства американской стороны по авиационной поддержке полевых работ и смены зимовочного состава станции Восток через американскую базу Мак-Мёрдо;

обязательства французской стороны по материально-технической поддержке буровых и научно-исследовательских работ российских специалистов на станции Восток;

совместная публикация научных результатов проекта.

Объединение усилий трёх стран позволило выполнить комплексные исследования ледяного керн из скважины на станции Восток и получить уникальную информацию об изменении климата Земли за последние 420 тыс. лет. Зримым результатом этой работы стали более 150 совместных статей в международных рецензируемых журналах и десятки докладов на международных научных форумах [например, 8, 14, 15, 17–19]. Опубликованные работы получили высокую оценку мировой научной общественности, широко используются в отчётах ИРСС и рассматриваются как фундаментальный вклад трёх стран в исследование глобальных изменений климата на нашей планете.

Весь комплекс данных по ледяному керну из скважины на станции Восток показывает, что на протяжении последних 420 тыс. лет климат испытывал постоянные колебания, амплитуда которых не выходила за пределы стабильных границ климатической изменчивости. Концентрация парниковых газов и глобальная температура в прошлом изменялись параллельно, но если содержание газов за последние 100 лет резко возросло, то изменения температуры не выходят за рамки её естественных флуктуаций. Этот результат следует признать фундаментальным, свидетельствующим о безусловной связи этих двух явлений, имеющих разную природу. Наконец, голоцен, продолжающийся уже около 11 тыс. лет, оказывается намного длиннее предыдущих трёх межледниковых периодов и по многим признакам в ближайшем геологическом будущем сменится новой

ледниковой эпохой. Важно также отметить, что уровень климатического оптимума голоцена на 1,5 °C ниже максимальной температуры предыдущего межледникового, когда, естественно, никакого антропогенного влияния на Земле не было.

При непосредственном участии французских учёных российскими специалистами были получены важные результаты в области исследования физических и структурных свойств антарктического льда, в изучении воздушных включений (газовых пузырьков и клатратных гидратов воздуха) и общего содержания газа во льду, в моделировании процессов уплотнения, гидратообразования и тепло-массопереноса в ледниковом покрове, а также в датировании льда и температурной калибровке профиля изотопного состава керна, которые лежат в основе всех палеоклиматических реконструкций, получаемых на основе исследований ледяных кернов [10, 11, 12, 16, 22–25].

В мае 1995 г. на специальном семинаре в Кембридже специалисты из России, Великобритании, Франции, США, Германии, Италии и Японии обсуждали проблемы существования подлёдного озера в районе станции Восток, его биологии и геофизики, а также задачи сохранения его чистоты на заключительных этапах бурения. Было рекомендовано: приостановить бурение, пока не будет найдено инженерное решение проникновения в озеро через самые нижние слои льда; продолжить всесторонние исследования ледяного керна, включая поиски микроорганизмов во льду; обязательно взять пробы воды из озера и образцы озёрных отложений, чтобы провести их всесторонний минералогический, химический и микробиологический анализы. Эти пожелания были отражены в специальной рекомендации, принятой Международным комитетом по антарктическим исследованиям (SCAR) на заседании в Кембридже в августе 1996 г. Тогда же в научной печати была опубликована первая статья с характеристикой подлёдного озера Восток [9].

К 1998 г. глубина скважины 5Г достигла 3623 м. Уже с глубины 3539 м, по данным изотопного анализа льда, было установлено, что ниже этой отметки лёд образован из замёрзшей воды озера, а не за счёт уплотнения атмосферного снега. Сопоставление микробиологических и геофизических данных позволило выдвинуть гипотезу о рифтогенном происхождении озёрной котловины. На тот момент, в соответствии с российскими сейсмическими и радиолокационными данными, до кровли озера оставалось 130–150 м.

В 1998–2006 гг., т.е. на протяжении восьми лет, буровые работы на станции Восток были приостановлены. Российско-французское сотрудничество возобновилось в 2004 г. в рамках Европейского научно-исследовательского объединения (ЕНИО «Восток»). С российской стороны в нём участвуют шесть учреждений — ААНИИ, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (СПГГИ), Институт микробиологии РАН, Институт географии РАН, НИЦ «Курчатовский инсти-

тут ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова и Казанский государственный университет. С французской стороны в состав ЕНИО входят: Лаборатория гляциологии и геофизики окружающей среды, г. Гренобль; Лаборатория изучения климата и окружающей среды, г. Сакле; Лаборатория микробиологии экстремальных сред, г. Лион; Лаборатория инфекционной экологии, г. Брест. В настоящее время ЕНИО «Восток» преобразована в российско-французскую ассоциированную лабораторию.

Бурение глубокой скважины 5Г на станции Восток возобновилось в декабре 2005 г., но в конце 2007 г. на глубине 3666 м произошла техническая авария, на два года задержавшая углубление скважины. В конце летнего сезона 2008/09 г. на глубине 3590 м было начато бурение новой ветви от основного ствола скважины. В полевой сезон 2010/11 г. за месяц буровых работ было пробурено более 70 м, а в течение месяца сезона 2011/12 г. — ещё 49 м.

5 февраля 2012 г. буровой снаряд достиг поверхности озера и, что очень важно, в него не попала буровая жидкость, поэтому озеро осталось чистым. Технология бурения глубокой скважины во льду, разработанная в Санкт-Петербурге, оказалась чрезвычайно удачной. Она позволила успешно завершить бурение скважины на станции Восток и достичь, наконец, нижней кромки ледника, располагающегося над обширным подлёдным озером. Теперь возникают новые задачи, в решении которых будут участвовать институты Росгидромета и Академии наук: изучить режим этого уникального природного объекта и доказать присутствие или, наоборот, отсутствие в нём органической жизни.

Озеро, очевидно, перенасыщено кислородом, так как над ним тает ледник, который питает его воздухом, содержащимся во льду. А озёрный лёд, который замерзает медленно, газов не содержит, поэтому кислород накапливается в озере. Согласно расчётам, в оз. Восток может быть растворено до 0,7–1,3 грамма кислорода на литр воды, а известные нам бактерии не могут существовать в таких условиях [13]. Кроме того, давление в озере может достигать 400 атмосфер, здесь почти нет органических веществ, а свет в озеро не проникает, т.е. фотосинтез невозможен. Поэтому организмы здесь могут существовать только за счёт хемосинтеза. Жизнь в озере возможна также на дне, в осадочных породах, где кислорода нет, так как он расходуется на процессы окисления в минеральном субстрате. Кроме того, на дне озера могут быть горячие источники, создающие среду для органической жизни [7].

Таким образом, в связи с проникновением в озеро перед учёными открываются новые горизонты. Впереди нас, безусловно, ждут важные открытия, так как любой результат из возможных двух — в озере есть органическая жизнь или, наоборот, она отсутствует — станет открытием глобального значения. Ведь до сих пор на Земле нет ни одного места, где бы ни присутствовала органическая жизнь.

В планах Российской антарктической экспедиции — продолжение исследований оз. Восток. В последующем предполагается разбурить 600-метровый слой замёрзшей озёрной воды и опустить специально разработанные приборы для взятия проб воды и проведения биофизических исследований. Учёные Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова предполагают подсчитать количество живых клеток в озёрной воде и методом полимеразной цепной реакции выделить ДНК, чтобы попытаться определить видовую принадлежность организмов. Исследование изотопного и геохимического состава воды озера и ряд других анализов воды и льда будут выполняться в новой лаборатории, недавно открытой в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте.

Литература

1. Барков Н.И., Гордиенко Ф.Г., Короткевич Е.С., Котляков В.М. Первые результаты изучения ледяного керна из скважины со станции Восток (Антарктида) изотопно-кислородным методом // ДАН. 1974. Т. 214. № 6. С. 1382–1386.
2. Барков Н.И., Гордиенко Ф.Г., Короткевич Е.С., Котляков В.М. Изотопные исследования ледяного керна со станции Восток (Антарктида) до глубины 950 м // ДАН. 1976. Т. 230. № 3. С. 656–659.
3. Зотиков И.А. Тепловой режим ледника Центральной Антарктиды // Антарктика. Доклады Комиссии 1961 г. М., 1962. С. 27–40.
4. Каница А.П., Сорехтин О.Г. Измерения толщины ледникового покрова в походе по маршруту Восток — Молодежная // Информ. бюл. Советской антаркт. экспедиции. 1965. № 51. С. 19–22.
5. Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В. Озеро Восток, Восточная Антарктида: мощность ледника, глубина озера, подлёдный и коренной рельеф // Лёд и Снег. 2011. № 1 (113). С. 25–35.
6. Попов С.В., Черноглазов Ю.Б. Подледниковое озеро Восток, Восточная Антарктида: береговая линия и окружающие водоемы // Лёд и Снег. 2011. № 1 (113). С. 13–24.
7. Bulat S.A., Alekhina I.A., Blot M., Petit J.R., de Angelis M., Wagenbach D., Lipenkov V.Ya., Vasilyeva L.P., Wloch D.M., Raynaud D., Lukin V.V. DNA signature of thermophilic bacteria from the aged accretion ice of Lake Vostok, Antarctica: implications for searching life in extreme icy environments // Intern. Journ. Astrobiology. 2004. V. 3. № 1. P. 1–12, doi:10.1017/S1473550404001879.
8. Jouzel J., Barkov N.I., Barnola J.M., Bender M., Chappellaz J., Genthon C., Kotlyakov V.M., Lipenkov V., Lorius C., Petit J.R., Raynaud D., Raisbeck G., Ritz C., Sowers T., Stievenard M., Yiou F., Yiou P. Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period // Nature. 1993. V. 364. № 6436. P. 407–412; Month. Nature. 1993. V. 1. № 7. P. 71–75.
9. Kapitsa A.P., Ridley J.K., Robin G. de Q., Siegert M.J., Zotikov I.A. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // Nature. 1996. V. 381. № 6584. P. 684–686.
10. Lipenkov V.Ya. Air bubbles and air-hydrate crystals in the Vostok ice core / Ed. T. Hondoh // Physics of Ice Core Records. Sapporo: Hokkaido University Press, 2000. P. 327–358.
11. Lipenkov V.Ya., Barkov N.I., Duval P., Pimienta P. Crystalline texture of the 2083 m ice core at Vostok Station // Journ. of Glaciology. 1989. V. 35. № 121. P. 392–398.
12. Lipenkov V.Ya., Salamatin A.N., Duval P. Bubbly-ice densification in ice sheets: II. Application // Journ. of Glaciology. 1997 V. 43. № 145. P. 397–407.
13. Lipenkov V.Ya., Istomin V.A. On the stability of air clathrate-hydrate crystals in subglacial lake Vostok, Antarctica // МГИ. 2001. № 91. P. 138–149.
14. Lorius C., Jouzel J., Ritz C., Merlivat L., Barkov N.I., Korotkevich Y.S., Kotlyakov V.M. A 150,000-year climatic record from Antarctic ice // Nature. 1985. V. 316. № 6029. P. 591–596.
15. Lorius C., Jouzel J., Raynaud D., Hansen J., Le Treut H. The ice core record: climate sensitivity and future greenhouse warming // Nature. 1990. V. 347. № 6289. P. 139–145.
16. Martinerie P., Lipenkov V.Ya., Raynaud D., Chappellaz J., Barkov N.I., Lorius C. Air content paleo record in the Vostok ice core (Antarctica): A mixed record of climatic and glaciological parameters // Journ. of Geophys. Research. 1994. V. 99. № D5. P. 10565–10576.
17. Petit J.R., Basile I., Leruyet A., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Stievenard M., Lipenkov V.Y., Barkov N.I., Kudryashov B.B., Davis M., Salzman E., Kotlyakov V.M. Four climate cycles in Vostok ice core // Nature. 1997. V. 387. P. 359–360.
18. Petit J.P., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V.Y., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Salzman E., Stievenard M. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature. 1999. V. 399. P. 429–436.
19. Raynaud D., Chappellaz J., Barnola J.M., Korotkevich Y.S., Lorius C. Climatic and CH₄ cycle implications of glacial-interglacial CH₄ change in the Vostok ice core // Nature. 1988. V. 333. № 6174. P. 655–657.
20. Ridley G.P., Gudlip W., Laxon S.W. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter // Journ. of Glaciology. 1993. V. 39. № 133. P. 625–634.
21. Robin G. de Q., Drewry D.J., Meldrum D.T. International studies of ice sheet and bedrock // Phil. Trans. Royal Soc. of London. Ser. B. 1977. V. 279. № 963. P. 185–196.
22. Salamatin A.N., Lipenkov V.Ya., Duval P. Bubbly-ice densification in ice sheets: I. Theory // Journ. of Glaciology. 1997. V. 43. № 145. P. 387–396.
23. Salamatin A.N., Lipenkov V.Ya., Barkov N.I., Jouzel J., Petit J.R., Raynaud D. Ice-core age dating and palaeothermometer calibration based on isotope and temperature profiles from deep boreholes at Vostok Station (East Antarctica) // Journ. of Geophys. Research. 1998. V. 103. № D8. P. 8963–8977.
24. Salamatin A.N., Lipenkov V.Ya., Hondoh T. Air-hydrate crystal growth in polar ice // Journ. of Crystal Growth. 2003. V. 257. P. 412–426.
25. Salamatin A.N., Tsyganova E.A., Lipenkov V.Ya., Petit J.R. Vostok (Antarctica) ice-core time-scale from datings of different origins // Annals of Glaciology. 2004. V. 39. P. 283–292.
26. Zotikov I.A. Bottom melting in the central zone of the ice shield on the Antarctic continent and its influence upon the present balance of the ice mass // Intern. Assoc. Scient. Hydrology. 1963. № 1. P. 36–44.

Summary

This article describes a history of revealing the Antarctic sub-glacial Lake Vostok as well as organization and further progress of the Soviet/Russian deep drilling project in the Central Antarctica and, thus, the long-standing co-operation between USSR/Russia, France, and the USA under this project. The works lasted for several decades and were successfully completed with penetration into the lake that should be recognized as a major achievement in the field of the Earth sciences in the early XXI century.