

ПРОЕКТ ГЛУБОКОВОДНОГО БУРЕНИЯ НА БАЙКАЛЕ: ИСТОРИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

ПРОГНОЗ ПОГОДЫ на 8 млн лет назад

М. И. КУЗЬМИН



КУЗЬМИН Михаил Иванович — действительный член РАН, председатель Президиума Иркутского научного центра СО РАН, директор Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Лауреат Государственной премии РФ (1997). Руководитель координационного комитета международной программы «Байкал-бурение»

Климат Земли меняется буквально на наших глазах. За последнее столетие средняя температура поверхности повысилась примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$, что в масштабе планеты весьма весомо. Результатами стали сокращение поверхности снегового покрова и подъем уровня Мирового океана — в среднем на 10–20 см. Таяние современных льдов Антарктиды и Гренландии вследствие потепления климата может

привести к новому всемирному потопу — затоплению огромных территорий Европы и Юго-Восточной Азии.

Интерес исследователей, да и всего человечества, к причинам климатических катастроф понятен. Ключ же к пониманию настоящего и будущего планеты следует искать в ее прошлом. Необходимо расшифровать записи палеоклимата, заключенные в геологических

разрезах, выявить факторы разного масштаба, приводящие к изменению уровня океана и циркуляции воздушных масс, появлению и исчезновению ледникового покрова, теплых и холодных течений в океанах. И первое, что для этого требуется, — пробурить скважину в слоях осадочных отложений и извлечь керн. Правда, скважина эта может оказаться на дне самого глубоководного озера планеты...

Сейчас мы знаем, что ледниковые и межледниковые эпохи закономерно сменялись в последние десятки миллионов лет. Предположительная причина — изменение положения Земли при движении по орбите, благодаря чему она в различные периоды получала разное количество солнечной радиации. Эта гипотеза М. Миланковича подтвердилась при исследованиях морских осадков, в частности изо-



топного состава кислорода в ископаемых известковых раковинках *фораминифер* — простейших морских животных, родственников амёб.

Оказывается, что при накоплении огромных массивов льда происходит фракционирование изотопов кислорода в атмосфере и в морской воде. Молекулы воды, содержащие легкий изотоп кислорода, испаряются быстрее и «консервируются» в ледниковых щитах, а в атмосфере и в морской воде остаются молекулы, содержащие больше тяжелого изотопа. При таянии ледников вода обогащается тяжелым изотопом кислорода. На основе исследований соотношения разных изотопов кислорода в скелете фораминифер была создана эталонная изотопная кислородная кривая, отражающая изменения глобальных объемов льда.

Но проблема палеоклимата на этом не разрешилась, поскольку современными исследованиями было доказано, что климатические изменения, а также реакция окружающей среды и экосистем в различных районах мира индивидуальны и разновременны. На природную среду и климат оказывают влияние и многие геологические процессы. Например, выброс огромного количества вулканического пепла при извержении вулкана Кракатау в 1883 г. привел к понижению температуры на Земле в течение почти двух десятилетий.

Непрерывные долговременные климатические записи — не редкость для океанов, где постоянно накапливаются слои осадочных отложений. Этого нельзя сказать о континентах, чья климатическая летопись составляется как бы из отдельных коротких «разрезов» с разных точек континентов, что затрудняет их сопоставление. В этом отношении исключительно важным и перспективным объектом для изучения палеоклимата континентов вообще и огромного евроазиатского материка в частности является впадина Байкала — самого древнего и глубокого пресноводного водоема.

Озеро является центральной частью Байкальской рифтовой зоны, которая начала образовываться после столкновения Евразии с Индийской плитой, произошедшего около 40 млн лет назад. В результате образовалась глубочайшая Байкальская впадина. Озеро состоит из трех глубоких котловин. Северная котловина (глубины порядка 900 м) отделяется от Центральной, наиболее глубокой (максимальная глубина 1634 м), подводным Академическим хребтом. Центральная и Южная котловины (наибольшие глубины последней около 1400 м) разделены Селенгино-Бугульдейской перемычкой, образованной преимущественно осадками, выносимыми впадающей в Байкал рекой Селенгой.

« 5.01.1997. ...Утро не предвещало ничего опасного. Теплоход был на ходу, а за полем частично битого льда виднелась чистая вода. Казалось, что этот ледяной панцирь должен уйти на юг, и тогда мы сможем двинуться далее на север. Однако в полдень одна из крупных проходящих льдин столкнулась с береговым припаем, и начали расти ледяные торосы. Лыдина раскалывалась на куски, часть которых проскакивала под береговой лед, а часть выскакивала на поверхность. Судно начало крениться. Такой ледяной хаос длился около получаса. Когда все утихло, буровой комплекс оказался полностью захвачен торосами, где некоторые льдины достигали в высоту более двух метров. Баржа не изменила своего положения, но теплоход сильно накренился на левый борт. Сдвинуться с места и продолжить путь мы не могли, судьба намеченных буровых работ висела на волоске, поэтому пришлось думать о переносе этих работ в другое место. Одновременно мы устранили крен теплохода — выбивали майну, то есть скалывали лед вокруг теплохода. Толщина льда достигала трех метров, но через два дня этот изнурительный труд был окончен. Теплоход снова встал ровно.

28.01.1998. ...После трехнедельного дрейфа вместе с большой льдиной остановились в центре Южной котловины... Сразу же столкнулись с тем, что керноприемники постоянно заклинивало, потому что в верхнем слое донных осадков было много песка. Приходилось постоянно поднимать буровую колонну на борт баржи, а так как длина колонны более 1400 метров, эта операция была очень тяжелой.

*28.02.1998. ...Удалось пройти со сплошным отбором керна только 40 метров. На заседании координационного совета принято решение поднять со дна газогидраты — предполагается, что на Байкале они должны быть.**

**Здесь и далее курсивом по: Кузьмин М.И. Во льдах Байкала // Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 140 с.*



Для осмотра днищ буксира и баржи под воду регулярно уходил водолаз



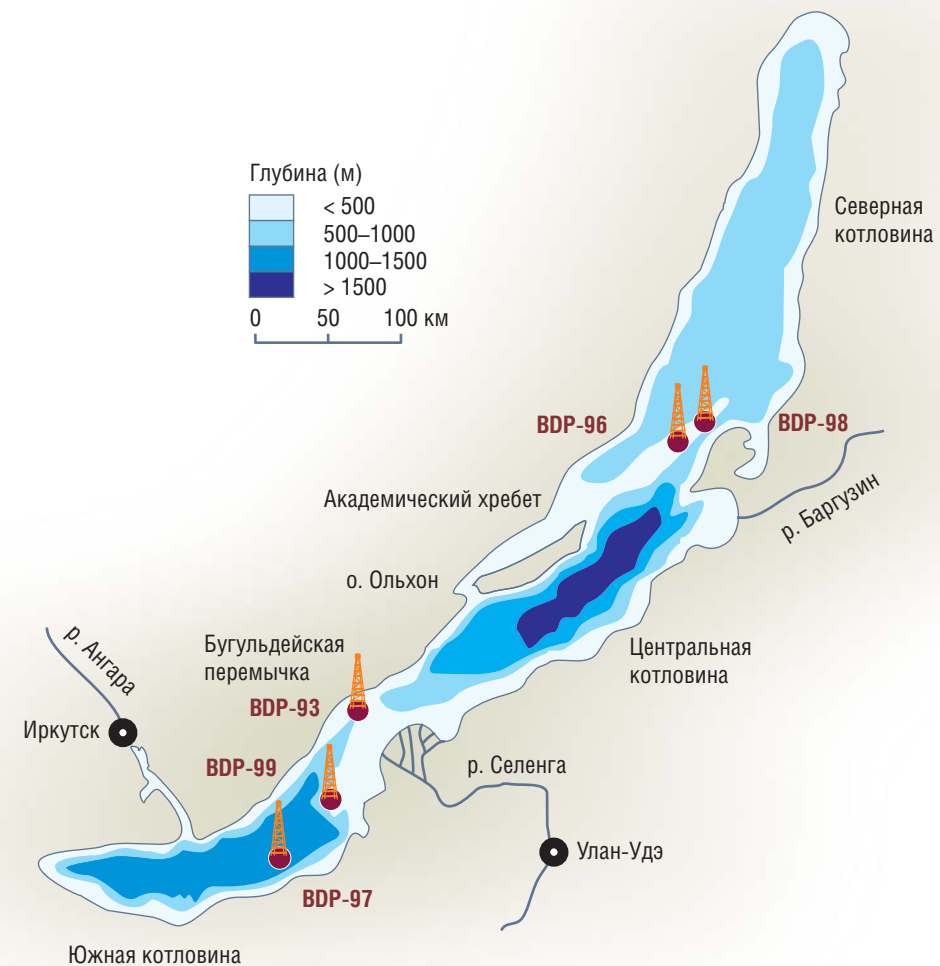


24.01.1996. ...Попали в центр ледяных торосов. Все, кто был на судне — члены команды и экспедиция, стояли у бортов, на носу или на мостике и молча созерцали то, что творила природа. Картина незабываемая! Мы находимся на маленьком пароходе среди живущих и движущихся льдов, которые, ломаясь и наползая друг на друга, образуют огромные поля торосов. Чувствуешь себя маленьким и незащищенным человечком в этом ледяном плену, чувствуешь свою беспомощность перед природой и понимаешь, что с ней шутить нельзя.

Замечательная особенность Байкала заключается в том, что он расположен в высоких широтах, где наклон орбиты планеты определяет наибольший размах колебаний поступающей на Землю солнечной радиации. Это делает водоем очень чувствительным к изменениям данного параметра. В то же время благодаря огромной массе воды и большим глубинам здесь не бывает покровного оледенения, перекрывающего все зеркало воды (что свойственно большинству мелких озер этих широт). Последнее обеспечивает непрерывность процесса осадконакопления и соответственно — непрерывность климатической записи. Расположение Байкала в центре Азиатского континента, где преобладает резко континентальный климат, делает озеро идеальным объектом и для изучения сезонных климатических колебаний.

В результате счастливого стечения всех обстоятельств дно древнего озера скрывает уникальный многокилометровый слой осадочных отложений. В нем содержится запись геологических и палеоклиматических изменений более чем за 30 млн лет, причем на протяжении, по крайней мере, последних 5—8 млн лет она является непрерывной! Уникальный архив изменения климата и природной среды Центральной Азии на протяжении практически всего кайнозоя, который наконец дождался своих исследователей...

Предыстория проекта «Байкал-Бурение» началась более 10 лет назад — с комплексной программы, предусматривающей широкие геологические и геофизические исследования, в том числе — с использованием подводных обитаемых аппаратов «Пайсис». Помимо прямого изучения вещества осадков, мощность и структура донных отложений были исследованы с помощью высокоразрешающего многоканального сейсмопрофилирования.



В результате исследований выяснилось, что наибольшей мощности (до 8 км) осадки достигают в Южной и Центральной котловинах, наименьшей (до 4 км) — в Северной. Верхние горизонты осадков характеризуются хорошей слоистостью, поэтому они могут успешно использоваться для палеоклиматического изучения. Скорость накопления осадков в различных частях озера меняется от 0,03 до 0,2 мм в год: наименьшие скорости отмечены на Академическом хребте, более высокие — на Селенгино-Бугульдейской перемычке и в глубоких котловинах озера.

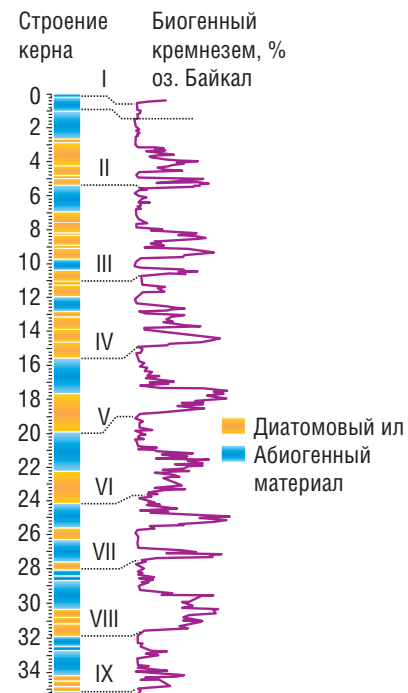
В 1989 г. один из учредителей Байкальского международного центра экологических исследований (VICER) проф. Д. Вильямс из Университета Южной Каролины (США) предложил российским уче-

ным начать работы по бурению на Байкале. Проект поддержал проф. Ш. Хорие из Японии, руководивший первым озерным бурением на оз. Бива. Позднее к проекту подключились большая группа японских специалистов во главе с доктором Т. Каваи, организовавших для этой цели специальную ассоциацию, и немецкие коллеги.

Разработку технической части проекта взяло на себя государственное предприятие «Недра», возглавлявшее в России программу глубокого континентального бурения и пробурившее самую глубокую в мире Кольскую скважину. С российской стороны в исследованиях активно участвуют сотрудники ряда организаций, в первую очередь Иркутского научного центра: Института геохимии, Лимнологического института, Института земной коры.



Сотрудник лаб. палеоклимата ИГХ СО РАН
Е. В. Иванов разрезает керн на две половинки
на специальном станке



I
из ритмично чередующихся слоев глинистого обломочного материала и плотных илов, содержащих биогенный кремний.
Римскими цифрами отмечены восемь полных литологических циклов, которые соответствуют морским кислородно-изотопным стадиям. Керн скважины BDP-96-2

Был создан комплекс «Байкал», осуществляющий экологически «чистое» бурение, что особенно важно для озера. Варианты постановки буровой на Байкале были разные. Однако наш опыт показал, что удобнее всего монтировать оборудование и бурить с баржи, которая выводится на место бурения теплоходом. Сам теплоход в дальнейшем служит базой экспедиции.

Установка комплекса в точку бурения — сложное дело. Нужно знать прогноз погоды и постоянно следить за становлением льда на Байкале. Этой информацией экспедицию обеспечивали сотрудники Института солнечно-земной физики СО РАН, которые постоянно получают и расшифровывают космические снимки Байкала.

Последний вариант комплекса, собранный в 1997 г. на основе 1000-тонной баржи, позволяет бурить скважины до 1000 м при глубине воды 900—1000 м. По мнению

специалистов по океаническому и континентальному бурению из США и Германии, методология и качество бурения на Байкале превосходят мировые образцы.

Всего же с 1993 г. по сегодняшний день проведено пять экспедиций, вскрывших семь скважин глубиной от 40 до 630 м, в результате чего получен «слоеный пирог» донных отложений озера длиной более 1,5 тыс. м и возрастом более 8 млн лет!

Благодаря бурению удалось установить условия накопления осадков в различных частях озера. Первая скважина, пробуренная недалеко от устья реки Бугульдейки, показала, что примерно 50 тыс. лет назад река вытекала из Байкала и впадала в Лену. Осадочная толща в районе бурения представляет собой плотные тонкозернистые илы, сложенные ритмично чередующимися слоями обломочного материала и материала, обогащенного биогенным кремнием. Характерная



особенность — увеличение грубозернистого материала в низах скважины, что, видимо, связано с формированием русла реки.

По-другому накапливались осадки на Академическом хребте, отделенном от берегов глубокими котловинами. Согласно данным бурения, последние существуют по крайней мере 5 млн лет. Котловины препятствуют поступлению грубого материала с берегов Байкала: на хребте осаждаются осадки только из водной толщи. Мощность осадков — около 1000 м, и они также характеризуются ритмичным чередованием осадочных слоев.

Другой тип разреза характерен для осадочной толщи глубоких котловин в центре Южной впадины. Здесь встречаются «пробои» гравийно-песчаного материала,



Байкальские газогидраты

источником которых были временные водные потоки, переносящие осадочный материал с берегов далеко в глубь озера. Подобные потоки известны для окраин океанов, где, по выражению акад. Л. П. Лисицина, происходит «лавинная» седиментация.

Такие потоки несут в глубь озера большое количество растительных остатков, которые после захоронения являются источниками углеводородов. При высоком же давлении в глубоких котловинах Байкала могут образовываться углеводородные «консервы» — *газогидраты*.

Таким образом, характер накопления осадков в различных озерных структурах существенно различается. Исследование осадков глубоких котловин имеет большое значение для определения динамики формирования рифтовых впадин и осадочных континентальных бассейнов, а также для изучения процесса образования в них углеводородов (в результате бурения 1997 г. со дна



Отпечаток древнего папоротника в керне

Байкала действительно были подняты — впервые в пресноводном водоеме! — образцы газогидратов).

На поднятиях, таких как Академический хребет, процесс накопления осадков меняется только под влиянием изменений природной среды, в первую очередь — климата. Поэтому такие отложения наиболее удобны для палеоклиматических исследований.

Разрезы Бугульдейской перемычки носят промежуточный характер. Их изучение позволяет детально описать историю рифтового бассейна, а главное — получить отрезки климатической летописи с более высоким разрешением, чем на Академическом хребте, так как скорости осадконакопления в них значительно выше.

И вот керн, в котором хранится информация из далекого прошлого, получен, теперь дело за расшифровкой палеосигналов. Из-за малой минерализации байкальской воды в озерных осадках отсутствуют биогенные карбонаты, используемые в качестве индикаторов палеоклимата в морях. В Байкале аналогом их стал *биогенный кремнезем*.

Как уже говорилось, байкальская толща осадков состоит из глинистых слоев, перемежающихся слоями ила биогенного происхождения. Основную часть биогенного кремнезема составляют содержащие кремний створки *диатомовых водорослей* — одних из самых древних и многочисленных обитателей Байкала. Было высказано предположение, что диатомовые илы формируются в теплые периоды межледниковья, а обломочные — в холодную ледниковую эпоху.

21.01.1999. ...Проводить бурение зимой на Байкале очень непросто, и каждый раз природа испытывает всех на прочность. Сегодня поставили баржу в лед, точно в нужное место. Пробили небольшую полынью, чтобы в случае сильного ветра ослабить движение льда на баржу. Однако в два часа дня началось быстрое образование торосов. Какая-то льдина, как молот, ударила по барже. Почти сразу шкипер сообщил, что в одном из трюмов появилась вода. Оказалось, что из бортовой пробоины бьет струя диаметром 15 см. Принесли брезент и попытались наложить пластырь, но пока этим занимались, отсек полностью затопило водой. Борт трюма был полностью деформирован. Трещина начиналась от самой палубы и доходила практически до самого днища. Пластырь наложить не удалось, попытались откачивать воду, но два буровых насоса с этим не справлялись. Стали заваривать верхнюю часть пробоины. Чуть позже увидели, что вода поступает в смежные трюмы по многочисленным трещинам. Из-за этого работы на основной трещине были прекращены, и началась заделка мелких повреждений.

22.01.1999. ...Капитан подошедшего на помощь теплохода со своим помощником нарубили кольев, досок, взяли всю имеющуюся ветошь и стали заделывать оставшуюся пробоину с внешней стороны. К часу дня она была заделана, буровики установили в трюме третий насос, и вода стала потихоньку убывать. Это была первая победа.

24.01.1999. ...Работы по устранению аварии вступили в решающую фазу. В трюме у пробоины решили сделать ящик, который надо было заварить и залить цементом. К вечеру ящик был готов, да такой удачный, что началась заделка второго, мелкого повреждения. Баржа пришла в порядок.

30.01.1999. ...Началось бурение.

*31.01.1999. ...Утром поднят первый качественный керн. Как выяснилось, скорость осадконакопления в этом месте составляет 30 см в тысячу лет — на таком материале климатическую историю Посольской банки можно рассматривать весьма детально, малейшие температурные колебания здесь ярко отражены в донной структуре. Несмотря на тридцатиградусный мороз и опасения насчет нехватки топлива, работа прошла дружно и успешно, скважина была пробурена на глубину 350,5 метров.»**



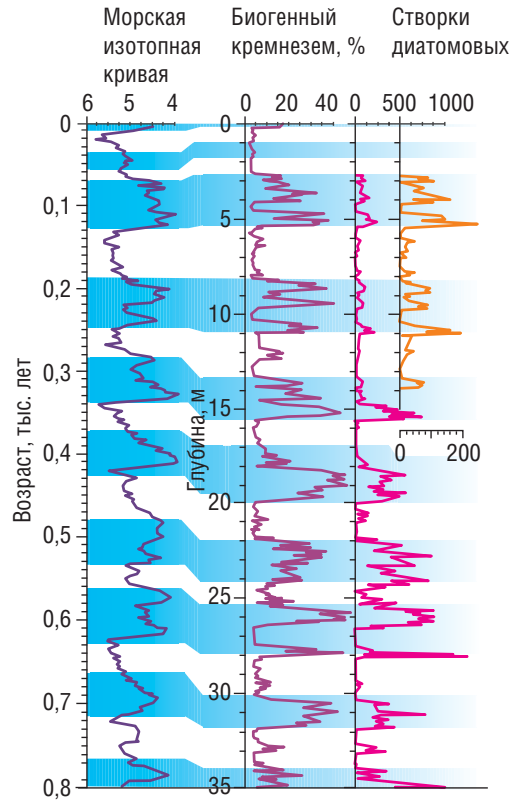
Для расшифровки сигналов палеоклимата необходимы точные измерения возраста осадков. Самые надежные данные можно получить с помощью палеомагнитных измерений, поскольку точно установлено, что на Земле существовали эпохи современной и обратной намагниченности, когда Южный и Северный магнитные полюса как бы меняются местами. Последнее такое изменение произошло около 800 тыс. лет назад. Глины же и диатомовые илы различаются по уровню магнитной восприимчивости. Поэтому палеомагнитологи смогли сравнить байкальские разрезы с кислородной морской кривой, хорошо фиксирующей изменения климата на Земле, обусловленные сменой орбитальных параметров, о чем упоминалось выше.

Что же удалось установить из анализа образцов керна, добытых из байкальских скважин? Важнейшим результатом исследований палеоклимата в Байкальском регионе стало получение первой непрерывной длительной записи, охватывающей отрезок до 8 млн лет. В этом отношении полученные климатические записи можно рассматривать в качестве модельных, которые могут служить основой для возрастной привязки различных континентальных разрезов.

Удалось полностью увязать палеоклиматическую континентальную и морскую летописи: графики содержания биогенного кремнезема (и остатков диатомовых водорослей соответственно) в осадках Байкала хорошо согласуются с тенденциями изменения климатических параметров в океанах. При сравнении этих записей можно выделить одинаковые 100-, 44-, 23- и 19-тысячелетние климатические циклы, которые связаны с положением Земли на солнечной орбите. Это означает, что изменение климата в разных областях планеты за последние 5 млн лет обусловлено единой астрономической причиной.

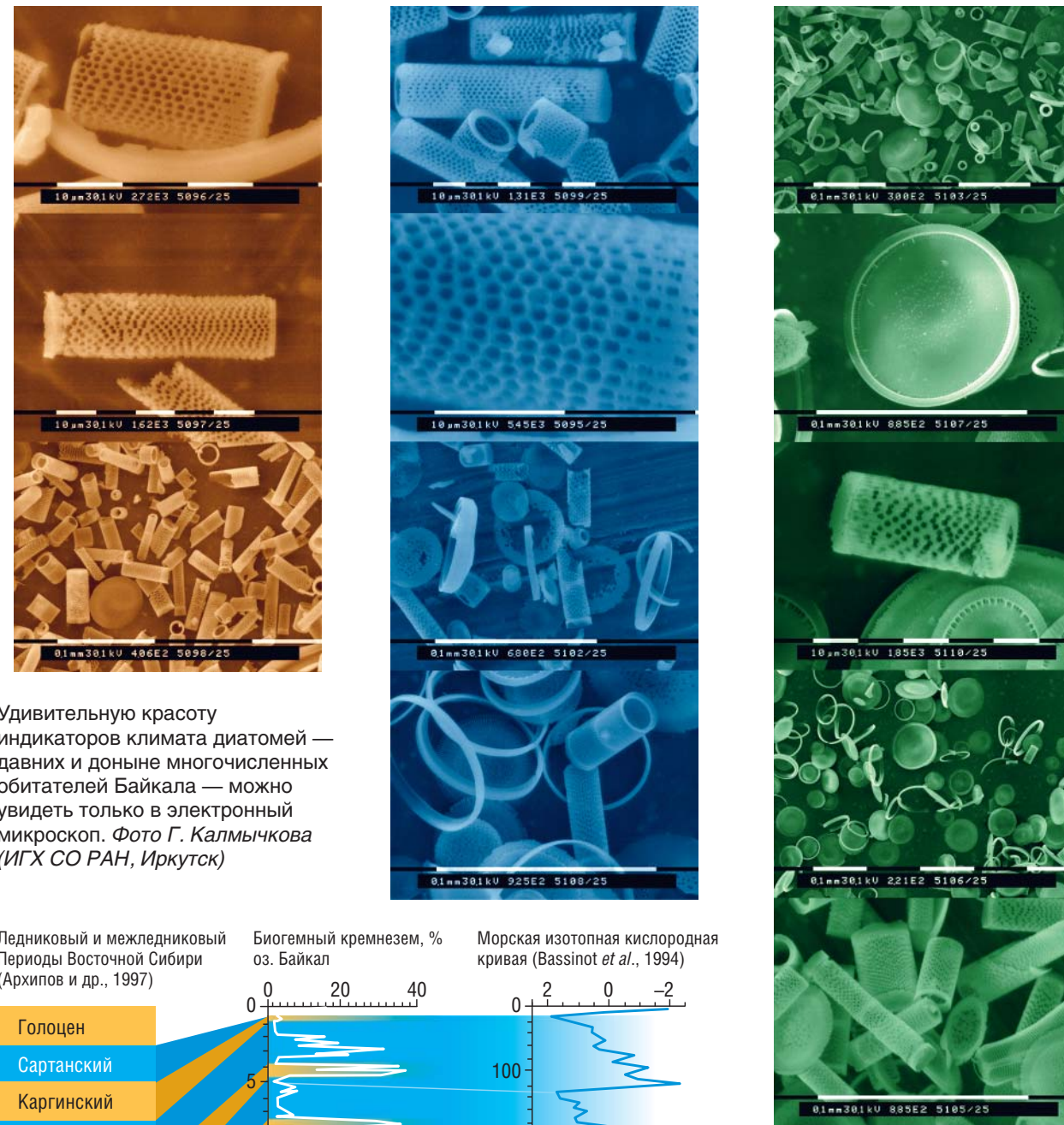
Общий палеоклиматический анализ, подтвержденный данными по видовому составу диатомей и пыльцеспорового анализа, выявил периоды значительного похолодания, произошедшего в позднем кайнозое в интервалах 2,8–2,5 и 1,8–1,4 млн лет назад. Важно подчеркнуть, что эти похолодания также отмечены в морских климатических записях, кроме того, они выявлены при исследованиях на Аляске, в Исландии, Европе, Западной Сибири и ряде других мест.

Благодаря климатическим записям, сохранившимся в осадках глубочайшего озера планеты, ученые смогли уточнить возраст и обстоятельства связанных с вулканическими процессами глобальных катастрофических изменений климата в кайнозое, затронувших не только Центральную Азию, но и в целом все Северное полушарие Земли.

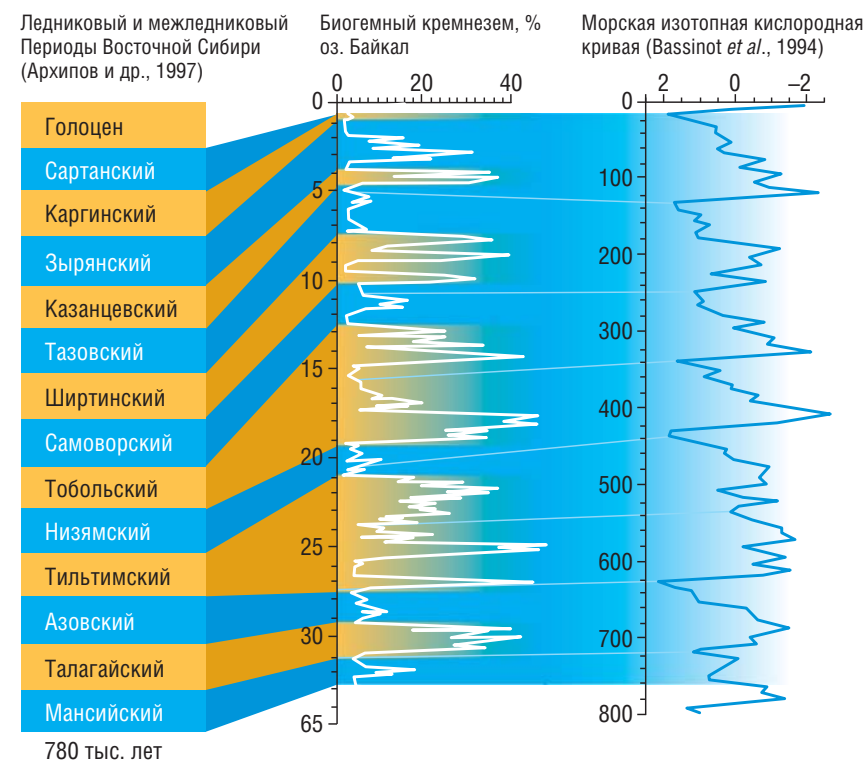


Климатические записи в осадках оз. Байкал (в виде распределения биогенного кремнезема, состоящего в основном из створок диатомовых водорослей) хорошо скоррелированы с морской изотопно-кислородной кривой (Shackleton, Berger et al., 1990). Справа показан отрезок записи распределения диатомовых створок с увеличенным масштабом. Керна скважины BDP-96-2

Здесь приведена только часть результатов, которые удалось получить благодаря бурению глубоководных байкальских скважин, но и они дают представление о масштабе и важности полученных данных. Ученые надеются, что глубоководное бурение на Байкале будет продолжено — планируется пробурить скважину до фундамента на Академическом хребте глубиной в 1 км, а также в одной из глубоких котловин озера — глубиной 3–3,5 км. И конечно, продолжается изучение уже поднятого керна. Исследователей, без сомнения, ждет еще немало открытий. Но есть вещи, о которых они не напишут в научных отчетах и планах. Например, о том, как хочется снова ощутить под собой вибрирующую палубу корабля, окунуться в незабываемую экспедиционную атмосферу мужского товарищества и взаимной поддержки. Снова взять в руки только что поднятый из бездны керн, ощутив под пальцами холод тысячелетий...



Удивительную красоту индикаторов климата диатомей — давних и доныне многочисленных обитателей Байкала — можно увидеть только в электронный микроскоп. Фото Г. Калмычкова (ИГХ СО РАН, Иркутск)



Число теплых и холодных эпох в байкальской и морских климатических записях совпадает, что указывает на большую полноту и точность байкальской летописи. Керна скважины BDP-96-2

В публикации использованы фотографии В. Короткоручко и участников проекта