

Микробиология озера Восток в Антарктике: результаты исследований

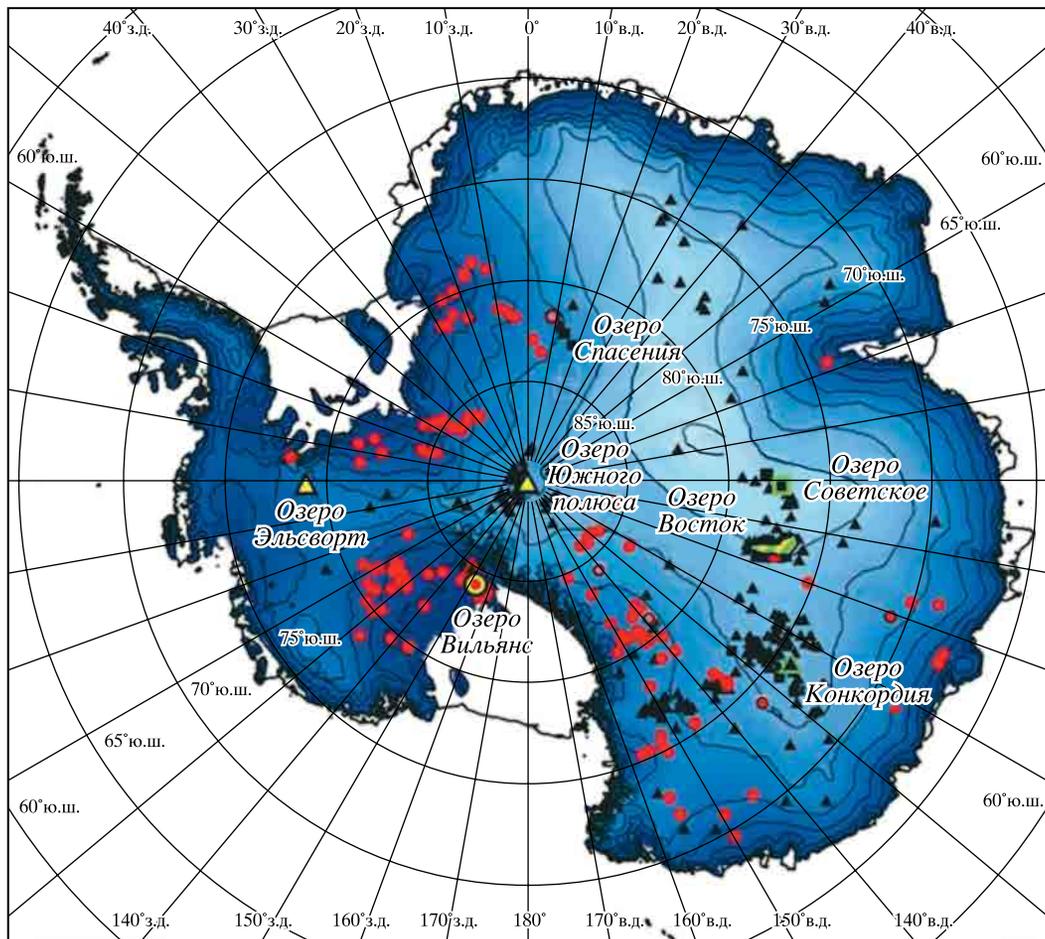
С.А. БУЛАТ,
кандидат биологических наук
Петербургский институт ядерной физики
им. Б.П. Константинова
НИЦ “Курчатовский институт”

В статье исследуется вопрос возможного существования микробной жизни в подледниковом озере Восток, погребенном под 4-км ледовым щитом в Антарктике. Представлены результаты молекулярно-микробиологического анализа пока единственно доступных проб озерной воды, которая вошла в скважину после первых двух вскрытий озера, замерзла в ней и была “разбурена” в виде керна льда. Для сравнения приводятся результаты ранее выполненных исследований природного озерного льда, в которых автор нашел бактерию, которую до сих пор не удалось идентифицировать. В результате



ДНК анализа проб озерной воды, которые в разной степени оказались загрязненными жидкостью для бурения, обнаружена новая неизвестная (неидентифицированная и неклассифицированная) бактерия w123–10, которая прошла контроль на загрязнение и показала отдаленное

родство с вышеупомянутой неидентифицированной бактерией. Эти две бактерии могут представлять неизученную микробную жизнь, существующую в водной толще подо льдом озера Восток; гипотеза требует подтверждения. Отметим, что данное открытие оказалось возможным благодаря использованию “чистых” лабораторных помещений и собственной библиотеки контаминантов, с которой все находки сравниваются. Впервые дано детальное описание трех вскрытий озера и обсуждаются технологии чистого (без загрязнения буровой жидкостью) отбора проб озерной воды.



ОЗЕРО ВОСТОК

Подледниковое озеро Восток – одно из гигантских озер (размер 70×270 км, площадь зеркала $15\,800$ км², объем воды $6\,100$ км³, максимальная глубина 1220 м), располагается в Восточной Антарктике под российской станцией “Восток”. О нем впервые было заявлено в 1994 г. на конференции (23-я сессия) Научного комитета по исследованиям Антарктики (SCAR) в Риме. Мировое же признание его

существования пришло в 1996 г., когда в журнале “Nature” была опубликована статья члена-корреспондента РАН А.П. Капицы с соавторами, внесшего основной вклад в обнаружение озера Восток по сейсмограммам, полученным им еще в 1964 г., но неверно тогда истолкованным.

Много исследований было выполнено для прояснения геофизики, геологии, газового содержания, биогеохимии и биологии озера

Карта подледниковых антарктических озер и водоемов. В 2012 г. их количество составляло 379 (журнал “Antarctic Science”, 24(6), с. 659–664); а в 2016 г. – уже 402 (М. Зигерт, личное сообщение). Открытия разных авторов обозначены красными кружками, черными квадратами и треугольниками. Рисунок М. Зигерта (Великобритания).

Восток – в частности микробиологии, ибо другой жизни здесь трудно ожидать. Основной

Вид на российскую станцию "Восток" с высоты птичьего полета. Видны буровые вышки, домики специалистов, метеостанция. Во врезке вверху – карта Антарктиды с указанием расположения российских станций: 1 – "Беллинсгаузен", 2 – "Новолазаревская", 3 – "Молодежная", 4 – "Союз", 5 – "Дружная-4", 6 – "Прогресс", 7 – "Мирный", 8 – "Восток", 9 – "Ленинградская", 10 – "Русская". Во врезке внизу – радиолокационное изображение подледникового озера Восток, полученное с помощью канадского метеоспутника "Радарсат". Красной стрелкой указано расположение станции "Восток" относительно поверхности озера. Коллаж – автора; фото станции А.А. Екайкина (ААНИИ, Санкт-Петербург).

научной задачей изучения озера является поиск необычной микробной жизни, которая могла бы "противостоять" его экстремальным условиям – давлению до 400 атм, температуре, близкой к точке замерзания, отсутствию света и растворенных соединений органического углерода; крайне незначительной минерализации (содержанию основных химических ионов), длительной изоляции от поверхностной (земной) биоты (по крайней мере, на протяжении последних 14 млн лет) и, главное, очень вероятному избытку раст-

воренного кислорода (700–1300 мг/л; значение для холодных горных источников – 14 мг/л). Ряд параметров озера Восток характеризует его как единственного земного аналога сходных сред на ледовых спутниках Юпитера (Европа) и Сатурна (Энцелад), и озеро тем самым может служить полигоном для отработки технологий и методов поиска внеземной жизни. Поэтому поиск жизни в озере Восток приравнивается к поиску "внеземной" жизни на Земле.

Очень вероятно, что озеро Восток существовало до оледенения Антарктики, более 32 млн





лет назад, – это следует из геологических палеоклиматических данных. В связи с этим представляется, что в нем процветали разные формы жизни (от низших бактерий до многоклеточных – рыб и выше). Поэтому поставлена большая и сложная задача – обнаружить в озере жизнь, которая могла сохраниться в воде и осадочных породах после постепенного покрытия озера льдом.

Современная технология проникновения в озеро, разработанная в Горном университете Санкт-Петербурга, основывается на электро-механическом бурении льда с использованием керосина с добавкой фреона (как «утяжелятеля») в качестве буровой жидкости; она химически и микробиологически «грязная». В настоящее время производится бурение сверхглубокой скважины 5Г (до этого были сделаны четыре, менее глубокие скважины, на

которых отрабатывали бурение во льду), ведущей к озеру. Буровые работы были начаты в 1990 г. с целью проведения палеоклиматических исследований. В результате анализа керна атмосферного (осадки) льда из скважины 5Г впервые в мире были открыты четыре глобальных цикла оледенения и потепления на Земле (каждый по 100 тыс. лет; статья в журнале «Nature», 1999 г.), последние 10 тыс. лет мы живем в периоде потепления – в голоцене.

За прошедшие 16 лет буровики сменили много марок и производителей авиационного керосина и фреона, которые, по мере углубления скважины, «нестерильно» вливали в нее. К тому же керосин, особенно в условиях отрицательных температур (на входе в скважину до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, внизу, на забое до $-2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$), никак не влияет на клетки микроорганизмов и, тем более, на сохранность их ДНК. В результате существует

Марс и спутники Юпитера Ганимед, Европа, а также спутники Сатурна Титан и Энцелад. На этих телах обнаружены водоемы, где могут существовать микроорганизмы. Поиск внеземной жизни – одна из целей астробиологии. Рисунок из журнала «Nature», 2012, № 488. С. 160.

угроза загрязнения буровой жидкостью (микроорганизмами в ней) образцов замерзшей озерной воды, которая была с ней в контакте при вскрытии озера. Как ожидается, озерная вода содержит крайне незначительное количество микробных клеток в озерном льду природного происхождения; максимальные значения составляли 24 клетки на миллилитр.

Дальнейшие исследования озера требуют разработки специальных, экологически «чистых» технологий его вскрытия, проникновения в воды, а также строгих протоколов деконтаминации (удаления/разруше-



Образец природного озерного льда первого типа, полученного с глубины 3607 м. Отчетливо видны три минеральных включения, находящиеся в матрице монокристаллического льда. Фото автора.

ния микроорганизмов и их органических молекул, в основном ДНК) оборудования в контакте с водой. Не менее важно найти пути предотвращения загрязнения биофизических приборов, которые будут погружаться в скважину с буровой жидкостью; их планируется использовать для измерения физико-химических параметров водной толщи озера (в частности, крайне важного для биологии показателя – содержания растворенного кислорода). И – главное – “чистый” отбор проб воды и осадочных

пород для лабораторных исследований.

Керн озера Восток, взятый из скважины 5Г, составляет 3769 м. Начиная с отметки 3539 м, и до поверхности озера (раздела лед – вода), он состоит из озерного льда, образованного путем медленного (около 1 см в год) намерзания озерной воды на подошву ледника, “скользящего” над озером (около 3 м в год на поверхности). Бурение этого слоя льда было начато почти 20 лет назад, и много образцов озерного льда керна озера Восток было предоставлено для различного рода исследований (в том числе французским и американским ученым). Озерный лед сложен большими монокристаллами льда и состоит из двух слоев. Верхний, толщиной около 70 м (на глубине 3539–3608 м) – это лед

так называемого первого типа, с минеральными включениями (глина–сляда с обломками твердых пород), “захваченными” намерзающей водой у береговой черты озера по мере движения ледника. Нижний, толщиной около 160 м (на глубине 3608–3769 м) – лед второго типа в виде очень чистых монокристаллов льда гигантского (метрового) размера, образующихся над глубоководной частью озера.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ АНАЛИЗЫ ОЗЕРНОГО ЛЬДА

Тщательный анализ, выполненный по правилам работы с “древней” ДНК (оставшейся от организмов, живших в прошлом, для микробов – до 700 тыс. лет) в условиях “чистых” помещений (сертифицированных по классам чистоты, с использованием

материалов и реагентов, не содержащих ДНК), показал, что микробная биомасса озерного льда в целом очень мала. Только в озерном льду первого типа (с минеральными включениями) удалось по генам 16S рибРНК (эволюционно консервативные гены, РНК которых составляет остов рибосом – “машин” по синтезу белковых молекул) обнаружить несколько видов (филотипов) бактерий, прошедших все виды контроля на контаминацию (привнесение земных микроорганизмов в материал для исследования – в воду озера). Они включают хорошо известную хемолитоавтотрофную термофильную бета-протеобактерию *Hydrogenophilus thermoluteolus* (имеющую 100%-ное сходство с аналогичными представителями в мировом банке ДНК данных) и актинобактерию, показавшую 95% сходства (уровень рода) с *Ilumatobacter fluminis*. Также найдена была неидентифицированная и неклассифицированная бактерия, показавшая 92% сходства (уровень семейства) с ближайшими родственниками в мировом банке данных и зарегистрированная в нем (№ AF532061).

Напротив, в более глубоко (ближе к воде озера) и очень чистом озерном льду второго типа не

удалось выявить ничего: либо не были получены “сигналы” ДНК-анализов, либо выявленные виды бактерий оказались контаминантами – земными микроорганизмами, которые присутствовали в нашей библиотеке контаминантов. Их ДНК была зарегистрирована в реагентах и материалах для анализа, в ультрачистой воде, буровой жидкости или в “пыли” в чистых помещениях (на июль 2016 г. в ней насчитывалось 300 видов бактерий). Важно отметить, что, несмотря на поиски ДНК архей (другого вида царства микроорганизмов), они не были обнаружены в озерном льду обоих типов.

ВСКРЫТИЕ ОЗЕРА ВОСТОК: РЕЗУЛЬТАТЫ

Первое вскрытие озера Восток российские буровики осуществили 6 февраля 2012 г. на глубине 3 769,3 м. Событие вызвало бурю эмоций: ожидалось возможное открытие неизвестной жизни в озере, погребенной под 4-км шапкой льда на протяжении как минимум 14 млн лет; пробурена самая глубокая скважина во льду, выполнено первое в мире вскрытие подледникового водоема в Антарктике! (США год спустя стали вторыми, а Великобритания, вследствие технических неполадок, так и не реализовала своих

планов до настоящего времени). После вскрытия вследствие значительной недокомпенсации (разницы в давлении озерной воды и буровой жидкости – в скважине давление меньше, вода поступает в скважину, а не наоборот, буровая жидкость идет в озеро) горного давления в скважине озерная вода вошла в скважину на высоту 363 м над уровнем озера и замерзла в ней (первопроходцам быть трудно!) Однако на буровой коронке снаружи, извлеченного из скважины, была обнаружена “гроздь” намерзшей озерной воды, которая “обмыла” буровой снаряд в момент подъема и вытолкнула его из скважины. Одна четверть этой “грозди” была предоставлена для комплексных биогеохимических исследований; это была первая проба, названная “drill-bit” (“буровая коронка”), вода в ней значительно загрязнена керосином.

На следующий день после вскрытия команда буровиков покинула станцию “Восток” и вернулась туда через год, чтобы продолжить буровые работы. В сезон 2012–2013 гг. им удалось получить 32 м замерзшей в скважине озерной воды, после чего бур (вследствие геометрии скважины) отклонился и вошел в массив природного атмосферного

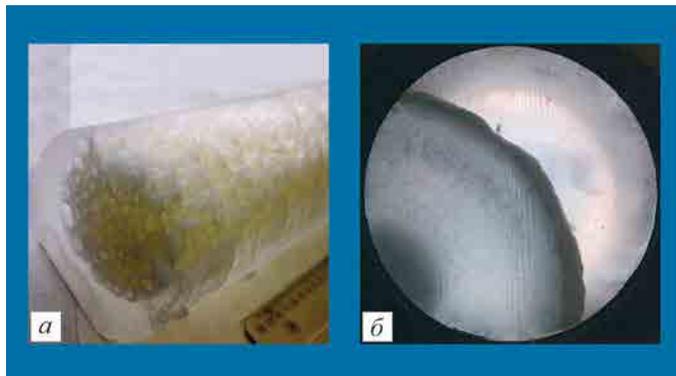
Сегмент керна льда с образцами замерзшей “borehole-frozen”; получены с глубины 3 425 м – а, и с глубины 3450 м; на выходе из старого ствола скважины – б. Фото автора.

льда (вода поднялась выше слоя озерного льда). Из этих 32 м керна льда замерзшей воды три образца (от самого верха – до выхода из ствола старой скважины: от полного цилиндра льда с полостями, содержащими керосин, – до серповидного “молочного” цвета льда) были предоставлены для биогеохимических исследований. Это была вторая проба, которую назвали “borehole-frozen” (“замерзшая в скважине”); в ней вода оказалась более чистой в нижней части керна, по сравнению с первой пробой и верхней частью 32-м керна.

Три года спустя, 25 января 2015 г., практически на той же глубине (3769,15 м) произошло второе вскрытие озера. Озерная вода вновь “вошла” в скважину (но на высоту около 70 м) и была оставлена для замерзания.

Отметим, что используемая российская техно-

Взятие с буровой коронки фрагмента образца замерзшей воды “drill-bit”. Отчетливо видны струйки стекающей бурой жидкости. Фото А.А. Екайкина (ААНИИ, Санкт-Петербург).



логия вскрытия озера всегда предполагает недокомпенсацию горного давления в скважине для того, чтобы не произошло проникновения химически и биологически “грязной” буровой жидкости в озеро (то есть не допустить загрязнения вод озера).

Через четыре дня буровые работы были возобновлены. В результате было получено около 12 м нового керна льда “borehole-frozen”, пока вода вновь не хлынула в скважину 3 февраля 2015 г. (третье вскрытие озера) и не поднялась на





Сегмент керна льда с образцом замерзшей воды “clean borehole-frozen”; получен с глубины 3709 м. Отчетливо видны немногочисленные извилистые каналы, выходящие на поверхность сегмента льда (керна): они заполнены буровой жидкостью. Фото автора.

65–67 м, где и замерзла. Нижняя часть (10 см) нового 12-м керна льда была предоставлена для биогеохимических исследований; это была третья проба (после второго вскрытия озера) – “clean borehole-frozen” – практически не загрязненная буровой жидкостью по сравнению с двумя предыдущими пробами.

Отметим, что в сезон 2016–2017 гг. (предыдущий сезон был прерван) буровые работы в скважине 5Г будут возобновлены. Ожидается, что будет произведено четвертое вскрытие озера Восток – теперь уже с использованием химически инертной и биологически чистой

кремнийорганической жидкости соответствующей плотности, позволяющей залить ее в забой и удерживать там между водой и буровой жидкостью в момент вскрытия. Поднявшаяся в скважину вода под слоем кремнийорганической жидкости будет отобрана специальным пробоотборником, разработанным и изготовленным в петербургском Институте ядерной физики им. Б.П. Константинова Научно-исследовательского центра “Курчатовский институт”. Принцип отбора воды – замещение ультрачистой воды “Millipore Milli-Q Element”, залитой в прибор озерной водой путем выдавливания грузом.

Несмотря на то, что российские инженеры-буровики были первыми, кто проник в подледниковое Антарктическое озеро на глубине под шапкой льда (3769 м) и сделали это уже трижды; используемая технология бурения (электромеханический бур с буровой жидкостью, состоящей из керосина) оказалась трудно реализуемой для чистого (без керосина) отбора жидких проб воды и последующего исследования толщи вод озера. В короткий летний сезон на станции “Восток” (декабрь–январь)

на разбуривание пробки льда (замерзшей воды) и подготовки скважины для научных исследований уходит почти все время. На “науку” остается 1–2 недели, что явно недостаточно. Спуск обора в скважину и его подъем занимают не менее пяти часов, а задачи “большой науки” требуют длительной работы в огромном и глубоком озере. Необходимы новые разработки, включая создание герметичного обогреваемого транспортного модуля, который предотвращал бы загрязнение помещений в модуль приборов и пробоотборников буровой жидкостью при транспортировке по скважине. По-видимому, для ускорения буровых работ возможно также использование термобура непосредственно перед вскрытием озера.

НАХОДКИ В ЗАМЕРЗШЕЙ В СКВАЖИНЕ В ВОДЕ ОЗЕРА

Основная задача проводимого исследования – выявить наличие микробной жизни в подледниковом озере Восток, изучая верхний слой воды (глубина под скважиной около 680 м), после первого и второго вскрытия в сравнении с ранее изученным природным озерным льдом; образцы включали “drill-bit”-, “borehole-frozen”- и “clean borehole-frozen”-воду.



“Чистое” лабораторное помещение класса “10 тысяч”, в котором проводились работы по молекулярно-микробиологическому анализу образцов замерзшей воды подледникового озера Восток. Фото автора.

Все образцы воды оказались загрязненными жидкостью для бурения, но в разной мере. Наиболее “грязным” оказался образец воды с буровой коронки (“drill-bit”) с соотношением воды к буровой жидкости 1:1. Образцы “borehole-frozen”-воды были гораздо чище, но содержали многочисленные микрокапли (размером до 10 мкм) буровой жидкости; довольно

“стабильные” в суспензии (неделя жизни в расплавленной воде), они придавали льду “молочный” оттенок. Наиболее “чистым” оказался образец “clean borehole-frozen”-воды, в кристаллах которого тем не менее наблюдались немногочисленные каналы, заполненные буровой жидкостью, удалить которые технически не представлялось возможным.

Степень загрязнения образцов явно коррелировала со скоростью подъема воды в скважину и ее смешением с буровой жидкостью после вскрытия; скорость определялась разницей в давлении – мерой недокомпенсации горного давления в скважине.

В случае “clean borehole-frozen”-воды, полученной после второго вскрытия озера, скорость ее подъема была незначительной. Тем не менее произошло загрязнение, по-видимому, обусловленное сохранением “капель” буровой жидкости в неровностях стенки скважины, которые затем попадали в постепенно замерзающую воду в направлении от стенок скважины к центру. Все это означает, что фактически нельзя работать с водой, замерзшей в скважине после контакта с буровой жидкостью. Воду, еще незамерзшую, следует отбирать на выходе из скважины в озеро или в скважине, но



Сегмент керна льда с образцом замерзшей воды "borehole-frozen"; получен с глубины 3429 м. В нем обнаружена бета-протеобактерия с 93% сходства с *Janthinobacterium sp.* (из семейства *Oxalobacteriaceae*). На просвет лед непрозрачный, имеет "молочный" оттенок из-за присутствия многочисленных микрокапель керосина. Фото автора.

после контакта, к примеру, с инертной и "стерильной" кремнийорганической жидкостью.

Клеточные концентрации были измерены методом проточной лазерной цитофлуорометрии – лабораторного метода абсолютного и относительного подсчета концентраций микроорганизмов (вирусов, частиц) в водном потоке. Они составили для проб воды: "drill-bit" – 167 клеток на миллилитр, "borehole-frozen" – от 5,5 до 38, "clean

borehole-frozen" – 16–29 клеток на миллилитр. Как видно, чем "чище" проба воды (меньше буровой жидкости), тем меньше в ней клеток, которые могут привноситься жидкостью для бурения. Так, в самой буровой жидкости в нижних горизонтах скважины (близко к забою) было обнаружено не менее 100 клеток микроорганизмов на миллилитр (для сравнения: в океане – от миллиона до миллиарда клеток на миллилитр).

Образцы замерзшей воды были строго и тщательно деконтаминированы (очищены) в холодных помещениях: проведены удаление поверхностного слоя сегментов льда, обмывка пентаном для смывания (растворения) керосина и озонирование для разрушения биоорганических молекул – ДНК. Плавление образцов после обмывки ультрачистой водой проводили в "чистых" помещениях. Там же воду фильтровали через мембраны 5-10 килоДальтон (соответствует порам около 45 нм), и полученный материал (вплоть до 1/10 части гена бактерий) использовали для выделения геномной ДНК методом механического разрушения клеток. Реакции амплификации (полимеразная цепная реакция – избирательно мультиплицирует гены) различных

областей генов 16S рибРНК собирали также в "чистых" помещениях, тогда как продукты реакции (амплифицированные участки генов – называются ампликонами) анализировали в удаленных лабораториях для предотвращения загрязнения места обработки льда. Полученные ампликоны клонировали и для клонов определяли последовательность ДНК, по которой как по отпечаткам пальцев идентифицировали вид микроорганизма.

В образцах "drill-bit" и "borehole-frozen" - воды всего было выявлено 49 видов бактерий, но только два из них успешно прошли все типы контроля на загрязнение, включая нами созданную библиотеку контаминантов (см. выше). Без такого подхода и без использования "чистых" помещений работать с образцами с малой клеточной биомассой бессмысленно.

Первый оставшийся вид микроорганизма ("drill-bit"-вода), названный w123-10, оказался до сих пор неизвестной бактерией, показавшей менее 86% сходства с известными видами. Попытка поместить его на филогенетическое "дерево" и приписать к известным бактериальным разделам также оказалась безуспешной. Вместе с тем вид w123-10, неидентифицированный

и неклассифицированный, показал отдаленное родство с ранее упомянутой неидентифицированной бактерией AF532061, обнаруженной нами в природном льду.

Второй оставшийся вид (“borehole-frozen”-вода с глубины 3429 м) все еще находится под сомнением: есть подозрение на его чужеродное происхождение. Он показал лишь 93% сходства (уровень семейства) с бета-протеобактерией *Janthinobacterium* sp из семейства *Oxalobacteriaceae* – хорошо известными “водных”, или гидробактерий. Исходя из известных физико-химических условий водной толщи озера Восток, мы не ожидаем встретить гетеротрофных (питающихся органикой) представителей этого семейства в озере. Отметим, что (как и в случае с природным озерным льдом) нам не удалось обнаружить в образцах замерзшей озерной воды археа – представителей другого царства микроорганизмов, которые, как правило, не заселяют кожные покровы человека,

а, значит, в гораздо меньшей степени могут быть источником загрязнения.

Что касается образца “clean borehole-frozen”-воды, полученного после второго “вскрытия” озера, то он также был обработан и проанализирован. В результате удалось получить продукты реакции амплификации лишь для одной области генов 16S рибРНК, которые, после клонирования и прочтения последовательности ДНК, дали лишь четыре вида бактерий, все они присутствовали в нашей библиотеке контаминантов. Анализ этого образца продолжается в настоящее время, однако проверка его на содержание вида w123-10 пока ничего не дала.

В ПОИСКАХ ОБИТАТЕЛЕЙ ОЗЕРА ВОСТОК

Таким образом самым важным результатом микробиологии подледникового озера Восток на данный момент стало обнаружение неидентифицированного и неклассифицированного вида w123-10, который (совместно с ранее

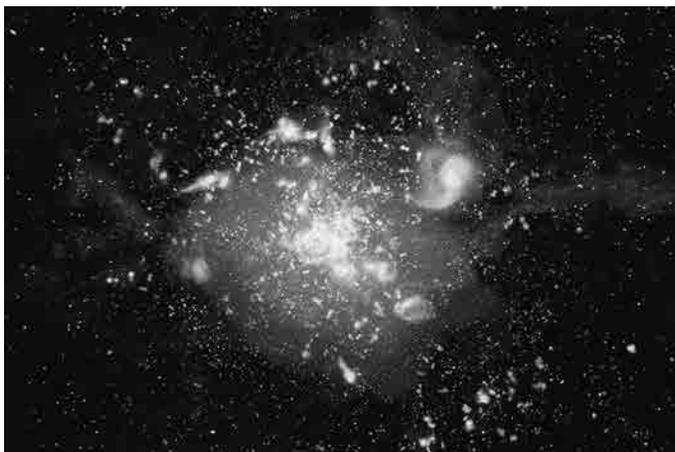
обнаруженным в озерном льду также неидентифицированным видом AF532061) могут быть признаны истинными его обитателями озера; однако их существование возможно при условии “противостояния” крайне высокому содержанию растворенного в воде кислорода (по последним расчетам, не менее 320 мг на литр), а значит, и высоко окисленной среде, что является основным препятствием для существования земной микробной жизни.

Следует заметить, что существует небольшая надежда обнаружить активные (размножающиеся) микробные популяции в верхнем слое озерной переохлажденной (до минус 2–3° С) воды в контакте с ледником, которая при вскрытии “входит” в скважину. Представляется более правильным искать жизнь в пробах воды, взятых с разных горизонтов водного столба (680 м) и, особенно, у дна, где вода (как ожидается) теплее и насыщена минеральными “солями”. Но это – дело отдаленного будущего.

ГАЛАКТИКА, ОКУТАННАЯ ОБЛАКОМ ХОЛОДНОГО ГАЗА

Космической обсерваторией “Чандра” (“Chandra”) совместно с телескопом UltraVISTA Европейской Южной Обсерватории и радиотелескопом ALMA в Чили получен снимок самого далекого скопления протогалактик CL J1001 + 0220 ($z = 2,506$) сразу после его рождения. Оно находится в созвездии Секстант, на расстоянии примерно 11,1 млрд св. лет от нас. Астрономы, изучающие скопление протогалактик, находящихся в процессе образования, обнаружили гигантскую эллиптическую галактику в центре этого скопления; она формируется из удивительно плотного облака молекулярного газа.

Галактики в скоплениях в близлежащих областях Вселенной увеличиваются в размерах, поглощая другие галактики. В отличие от них, гигантская галактика в CL J1001 + 0220 растет за счет поглощения окружающего ее холодного газа. Ядро скопления содержит 17 галактик, 9 из которых массивные; они переживают всплеск



Скопление протогалактик CL J1001 + 0220 (11,1 млрд св. лет от нас в созвездии Секстант), обнаруженное сразу после его рождения. Снимок получен в августе 2016 г. космической обсерваторией “Чандра”. Фото NASA.

звездообразования. В течение года в ее центре возникают примерно 3 тыс. звезд массой $3400 M_{\odot}$ — слишком высокое значение для молодого скопления (в 300 раз больше, чем в нашей Галактике). Полученные данные свидетельствуют о том, что в галактиках, подобных CL J1001, звезды появляются в результате более коротких и интенсивных вспышек чаще, чем в спиральных. Кроме того, это открытие позволяет предположить, что появление светил в таких галактиках происходит после того, как они попадают в скопление, но не раньше.

Сравнивая результаты наблюдений с компьютерным

моделированием, обнаружено, что в звездах сосредоточена неожиданно большая масса, по сравнению с общей массой скопления. Это может означать, что образование звезд в далеких скоплениях происходит быстрее, чем предполагалось, или подтверждает предположение о том, что скопления, подобные CL J1001, очень редки. CL J1001 сформировалось примерно за 700 млн лет до того, как это считалось возможным для скопления протогалактик, и должно привести к изменению космологических теорий.

*Пресс-релиз NASA,
1 декабря 2016 г.*