

МИКРООРГАНИЗМЫ В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЛЕДНИКЕ

С.С. Абызов, И.Н. Мицкевич, М.В. Иванов
Институт микробиологии РАН им. С.Н. Виноградского
e-mail: abyzov@inmi.host.ru

Ледяной купол Антарктиды, толщина которого в его центральной части достигает более 4000 м, хранит сведения об изменениях климата и состава атмосферы Земли на протяжении сотен тысяч лет [1, 2]. В его слоях наряду с пузырьками древнего воздуха и частицами атмосферной пыли, принесенными на поверхность ледника воздушными потоками и с течением времени замурованными в его толщу, оказались и микроорганизмы, часть из которых сохранила жизнеспособность после длительного пребывания в анабиотическом состоянии [3].

В результате исследований, проводившихся в Антарктиде с конца XIX века, был накоплен большой материал об особенностях распространения различных групп микроорганизмов в воздухе, грунтах и снеговом покрове этого материка. Полный список бактерий, выделенных из почв и воздуха Антарктиды, приведен в работе Cameron et al. [4]. Наибольшее число видов относилось к *Bacillus* и *Corynebacterium*. Далее по числу представленных видов шли *Micrococcus*, *Arthrobacter* и *Brevibacterium*. Меньшим числом видов были представлены *Flavobacterium*, *Achromobacterium* и *Cytophaga*. Таким образом, в микробном населении оказались представлены почти все крупные современные группы микроорганизмов — неспорообразующие и спорообразующие палочки, кокки, микобактерии, актиномицеты, миксобактерии, дрожжи, микроскопические мицелиальные грибы.

По мнению ряда исследователей [5–7], снежные поля континента могут служить естественной чашей-ловушкой для атмосферных осадков и частиц, выпадающих с этими осадками. Их отложение в толще ледника является уникальным историческим документом древних космических и земных событий.

Кроме того, толща вечных ледников Антарктиды и Гренландии, этих древнейших объектов, является удачным природным материалом для решения проблемы сверхдлительного анабиоза. Удаленность от районов интенсивного антропогенного воздействия, стабильность температурного фактора в режиме отрицательных значений и надежная защищенность сформировавшихся в геологическом прошлом горизонтов толщи

ледника от последующих влияний окружающей среды делают эти ледниковые щиты идеальным объектом для экспериментального решения проблем существования в природе сверхдлительного анабиоза.

В связи с экстремальными условиями существования микроорганизмов (низкие температуры, сухость, повышенная солнечная радиация и т.д.) многие исследователи рассматривают Антарктиду как модель при решении таких проблем, как поиск жизни на других планетах, разработка мероприятий по карантину планет и Земли при межпланетных контактах [8–11], а также проблем охраны окружающей среды [12].

Институтом микробиологии РАН в начале 70-х годов прошлого столетия были впервые начаты микробиологические исследования глубоких горизонтов ледника Антарктиды. Объектом своих исследований в Центральной Антарктиде микробиологи выбрали ледниковую толщу в районе южнополярной станции Восток, расположенной на Полюсе холода нашей планеты ($78^{\circ}27'$ ю.ш., $106^{\circ}52'$ в.д.). Здесь, начиная с 1970 г., производится сверхглубокое бурение с отбором ледяного керна. Буровая скважина находится над реликтовым подледниковым озером Восток, водное зеркало которого, как предполагается, находится на глубине 3750 м. Температура ледниковой толщи меняется от минус $57,13^{\circ}\text{C}$ на глубине 48 м до минус $53,56^{\circ}\text{C}$ на глубине 507 м, постепенно повышаясь по мере углубления, и достигает минус $2,4^{\circ}\text{C}$ у ледникового ложа [13].

С самого начала исследований большое внимание было уделено разработке методов асептического отбора проб из ледниковой толщи. Совместно с сотрудниками Санкт-Петербургского горного института была создана установка, позволяющая проводить отбор проб путем выплавления из центральной части керна. Прямые микробиологические контрольные исследования на забое скважины показали, что возможность проникновения посторонней микрофлоры из талой воды в керн в процессе бурения полностью исключена и достоверность материалов, полученных из центрального стержня керна, не вызывает сомнений [14].

На начальном этапе микробиологических исследований толщи ледникового щита Антарктиды были применены методы культивирования. Запаянные на месте отбора проб из ледника колбы с питательной средой после их доставки в Институт микробиологии РАН (Москва) вскрывались в настольном боксе для стерильных работ. Из них делались высевы на агаризованные питательные среды [3].

Анализ полученных данных по распределению жизнеспособных микроорганизмов в

различных слоях толщи ледника показал, что распространение обнаруженных микроорганизмов имеет неравномерный и случайный характер. По мере углубления в ледник, примерно со 114 м (возраст около 3000 лет), вероятность обнаружения микроорганизмов в пробах снижается. Дальнейшие анализы керн из сверхглубокой скважины до глубины 2405 м подтвердили первоначальный вывод о снижении вероятности обнаружения жизнеспособных микроорганизмов по мере углубления в древнейшие слои ледника [15].

Данные по изменению содержания жизнеспособных микроорганизмов по мере углубления в древнейшие слои ледника приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количество жизнеспособных микроорганизмов в толще ледника Центральной Антарктиды по мере углубления в древнейшие слои

Исследованные слои ледника			Кол-во обслед. отрез- ков керн	Общее кол-во проб, посеян. на питат. среды	Кол-во проб, давших рост	% проб, давших рост
Интервалы глубин, м	Длина обследо- ванного керн, м	Примерный возраст, лет				
0-105,10	105,10	0-3000	26	144	29	20
105,10-206,70	101,60	3000-7400	57	129	18	14
206,70-320,80	113,10	7400-12500	86	250	24	10
330,00-1500,00	1170,00	12500-107000	62	207	14	6
1500,00- 2405,00	905,0	107000- 200000	39	176	6	3

Показано, что по мере углубления в ледник с отбором проб через определенные интервалы наблюдается снижение количества жизнеспособных микроорганизмов, обнаруживаемых в обследованных отрезках керн. Так, если в поверхностном 100-метровом слое ледника количество проб, давших рост в процентах к общему количеству посевов из этого слоя, составляло 20%, то при углублении в ледник, примерно до 200, затем до 300 м содержание проб, давших рост микроорганизмов, снизилось

соответственно до 14 и 10%. В наиболее глубоких слоях ледника, от 330 до 1500 м и от 1500 до 2405 м, процент проб, давших рост микроорганизмов, не превышал 6 и 3% соответственно [3].

Таким образом, по мере углубления в древнейшие слои ледника вероятность обнаружения жизнеспособных микроорганизмов на питательных средах снижается, и многие посевы дают отрицательные результаты. Однако впоследствии с помощью эпифлуоресцентной и сканирующей электронной микроскопии в пробах талой воды, полученной из тех же горизонтов ледника, в которых отсутствовал рост микроорганизмов на питательной среде, были обнаружены микроорганизмы, принадлежащие к различным таксономическим группам и отличающиеся большим морфологическим разнообразием.

СОСТАВ ЖИЗНЕСПОСОБНОЙ МИКРОФЛОРЫ В ТОЛЩЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЕДНИКА

Первичную оценку морфологического разнообразия полученных штаммов и проверку чистоты выделенных культур проводили непосредственно путем микроскопирования.

Исследования показали, что распределение жизнеспособных представителей различных систематических групп микроорганизмов в толще ледника имеет неравномерный и случайный характер, по-видимому тесно связанный с биологическими особенностями обнаруженных микроорганизмов. Так, жизнеспособные дрожжи встречаются только в верхних, относительно более молодых горизонтах ледника. Мицелиальные грибы обнаружены до глубины свыше 600 м.

Неспорообразующие бактерии преобладают в поверхностных горизонтах ледника. В горизонтах, превышающих 2000 м, спорообразующие бактерии являются преобладающими формами, выявленными среди микроорганизмов, растущих на питательных средах.

Дрожжи. Присутствие дрожжевых организмов в различных субстратах Антарктиды отмечается уже в работах первых исследователей микрофлоры этого континента [16 – 18].

Нами из 100-метрового интервала глубин ледника было выделено шесть штаммов дрожжей, отнесенных к двум видам *Cryptococcus albidus* и *Rhodotorula glutinis*. Все изученные штаммы одинаково хорошо росли при температуре от 18 до 24°. Однако крайние границы температуры роста двух видов четко отличались. Если штаммы

дрожжей, отнесенных к виду *Rh.glutinis*, можно считать психротолерантными организмами, то штаммы вида *Cr.albidus* отличаются мезофильными свойствами.

Мицелиальные грибы. Жизнеспособные мицелиальные грибы были обнаружены на разных глубинах в интервале от верхних горизонтов до 651-метрового слоя, возраст которого составляет примерно 35–40 тыс. лет. В пробах керн из слоев ледника в интервале глубин от 651 до 2405 м жизнеспособные мицелиальные грибы выделить не удалось.

Описывая встречающиеся в Антарктиде виды мицелиальных грибов, авторы некоторых работ допускают возможность привнесения этих микроорганизмов из других районов планеты экспедициями, активно работающими в последние десятилетия на этом континенте [4]. По нашим данным, обнаружение тех же видов мицелиальных грибов в древних слоях ледника свидетельствует, что занос этих микроорганизмов воздушными потоками в центральные районы континента является естественной, многовековой закономерностью, а описанные исследователями некоторые виды были занесены на материк задолго до появления здесь человека.

Среди обнаруженных в толще ледника видов мицелиальных грибов особый интерес представляет *Alysidiun resinae*, черный гриб, образующий пигмент меланин, характерный для многих аборигенных форм.

Выделенные из ледника мицелиальные грибы отличаются некоторыми морфологическими и культуральными особенностями. Так, в сравнении с теми же видами мицелиальных грибов умеренных широт, у видов, обнаруженных в толще ледника, несколько подавлено спороношение, а ряд морфологических признаков нечетко выражен, что создавало определенные сложности при идентификации этих организмов [19]. По-видимому, мицелиальные грибы, как и дрожжевые организмы, являются формами, приспособившимися к жизни в суровых условиях ледяного континента.

Выделенные из ледника штаммы, как и музейные штаммы тех же видов, растут при довольно широком диапазоне температуры. Однако большинство штаммов, выделенных из ледника, растет при более низкой температуре, при которой музейные штаммы тех же видов еще не растут. Очевидно, штаммы из толщи ледника обладают более психротолерантными свойствами, чем музейные штаммы тех же видов. Штамм, обладающий явно психрофильными свойствами, выделенный из толщи ледника, принадлежит к виду *Aspergillus repens*. Оптимум роста этого штамма +15 °C; при

+20 °C рост этого штамма замедляется, а при +35,5 °C полностью отсутствует.

Ряд исследователей отмечают, что истинные психрофилы среди антарктических микроорганизмов встречаются только у дрожжей. По нашим же данным, с большой вероятностью можно утверждать, что и среди мицелиальных грибов встречаются штаммы, обладающие явными признаками психрофильности.

По данным [20], при сравнительном изучении роста дрожжевых организмов, выделенных в Антарктиде, и тех же видов, выделенных в умеренных широтах, оптимальная температура роста для антарктических дрожжей была смещена в сторону более низкой температуры. В аналогичном опыте с мицелиальными грибами мы наблюдали такую же тенденцию. При максимальной температуре 30–35,5 °C штаммы, выделенные из ледника, росли хуже, чем музейные штаммы тех же видов, а при 40 °C не рос ни один штамм, выделенный из ледника.

Субантарктические острова, прибрежные зоны континента или грунты сухих долин Антарктиды могли быть теми местами, откуда психротолерантные и психрофильные микроорганизмы вместе с воздушными потоками были привнесены в центральные районы материка. Не исключено, что родиной мезофильных штаммов, выделенных из толщи ледника, являются острова и континенты умеренных широт Южного полушария.

Неспорообразующие бактерии. Наиболее подробно в этой группе микроорганизмов были изучены представители широко распространенного в природе рода *Pseudomonas*. По нашим данным, бактерии этого рода составили примерно 7% от общего количества микроорганизмов, обнаруженных в 100-метровом слое ледника.

Отличительной особенностью всех выделенных из ледника культур *Pseudomonas* являлась способность продуцировать темно-коричневый меланиноподобный пигмент на средах, содержащих тирозин. В отличие от эндогенных меланинов дрожжей, грибов и актиномицетов, бактерии рода *Pseudomonas* синтезируют экзогенный водорастворимый бурый пигмент, для которого было предложено название "пиомеланин" [21].

Значительный интерес представляют данные по влиянию температуры выращивания на рост изучаемых бактерий. Штаммы, хорошо растущие при относительно высоких температурах (28 и 35°), были не способны расти при низкой температуре (4°), т.е. вели себя как типичные мезофилы. Другие штаммы, изолированные с горизонтов ледника 90,8 – 92,1 м, проявили явно психрофильные признаки, предпочитая низкие температуры (до 16°).

Следует особо подчеркнуть тот факт, что мезофильные и психрофильные штаммы были обнаружены в разных горизонтах толщи ледника. Это может свидетельствовать об их разном происхождении. Согласно определению, данному Стоксом [22], психрофильные штаммы, вполне вероятно, принадлежат к аборигенной микрофлоре. Что же касается мезофильных штаммов, изолированных из горизонта ледника 79,6 – 81,1 м, скорее всего, они были привнесены в Центральную Антарктиду воздушными течениями из умеренных широт.

Кокковые формы, растущие на питательных средах, были обнаружены преимущественно в относительно молодых слоях ледника до глубины 320 м, возраст которых составляет примерно 13000 лет. Среди них такие виды, как *Streptococcus albicans*, *Micrococcus roseus*, *Micrococcus albus*, *Sarcina lutea*.

Спорообразующие бактерии. Если присутствие спорообразующих бактерий в различных антарктических субстратах является общепризнанным, то в отношении количественного содержания этих бактерий имеются различные точки зрения. В подавляющем большинстве работ указывается либо на малое содержание спорообразующих бактерий в различных антарктических субстратах, либо на их полное отсутствие [9, 23–26].

По мнению исследователей, занимающихся проблемой устойчивости спорообразующих бактерий, именно резко меняющиеся условия, характерные для антарктического климата, являются главной причиной гибели спорообразующих форм, поскольку резкий дефицит влаги не дает этим бактериям достаточного времени для формирования спор, а также лимитирует их размножение. По наблюдениям Фридмана [27], проведенным в разгар антарктического лета 25 декабря 1980 г., в течение 43 минут температура на поверхности грунта колебалась от минус 1,8 °С до плюс 5,9 °С с амплитудой 7,7 °С, переходя через нулевую температуру не менее 14 раз!

Преобладание спорообразующих бактерий среди жизнеспособных в пробах из древнейших слоев антарктического ледника не противоречит установившимся представлениям о месте и биологических особенностях существования этих организмов в различных субстратах ледяного материка.

Исследователи давно обратили внимание на способность бактериальных спор восстанавливать жизнедеятельность после длительного пребывания в состоянии анабиоза.

Многие исследователи [28–31] указывают на исключительную способность

бактериальных спор к реактивации после длительного анабиоза в природных условиях, оценивая эти сроки от сотен тысяч до миллионов лет, особенно если споры находятся при низких температурах и надежно защищены от различных факторов вредного воздействия окружающей среды. Не удивителен поэтому обнаруженный нами факт преимущественного сохранения жизнеспособности этих организмов в самых древних слоях толщи ледника, где имеются идеальные условия для их длительного анабиоза [32, 33].

Температурный диапазон обильного роста изучаемых штаммов весьма широк, от +4 до +50 °С, что не свойственно многим современным штаммам мезофильных спорообразующих бактерий.

Выделенные из толщи ледника штаммы синтезировали обычные для этой группы микроорганизмов ферменты – дегидрогеназу, амилазу, протеазу и эстеразу [33]. Однако активность этих ферментов была в 2–3 раза ниже, чем у аналогичных видов, выделенных в умеренных широтах, что соответствует ранее установленному факту ослабления физиологической активности микроорганизмов после длительного анабиоза [34].

По всей вероятности, указанные виды спорообразующих бактерий были занесены воздушными потоками на снежно-ледяную поверхность Антарктиды задолго до появления здесь человека и, будучи замурованными в леднике, сохранили свою жизнеспособность в состоянии анабиоза при постоянных низких температурах порядка -55 °С.

Самый глубокий слой ледника, из которого была выделена спорообразующая бактерия, находится на глубине 2395 м; приблизительный возраст его, по данным гляциологов, оценивается примерно в 200000 лет.

Актиномицеты. Из общего числа выделенных из толщи ледника 160 штаммов микроорганизмов, принадлежащих к различным таксономическим группам, только 5 штаммов при идентификации оказались актиномицетами, что составляет примерно 3% от общего количества обнаруженных жизнеспособных микроорганизмов. Эти результаты указывают на незначительное содержание актиномицетов в толще ледника.

Хотя присутствие этих микроорганизмов в пробах различных антарктических субстратов отмечается почти всеми исследователями, нет единого мнения относительно распространения актиномицетов в различных субстратах как по количественному содержанию, так и по их принадлежности к аборигенной микрофлоре.

Проведенное нами детальное таксономическое изучение штамма, выделенного из

слоя ледника с глубины 85 м (имеющего возраст приблизительно 2200 лет), позволило предположительно выделить его в новый вид *Nocardiopsis antarcticus* [35]. Среди отличительных свойств нового вида весьма интересным для нас фактом являлась способность данного вида к синтезу меланоидного пигмента.

Обнаружение представителя нового вида *Nocardiopsis antarcticus* в столь уникальном материале – слое ледника Антарктиды, возраст которого превышает 2000 лет, открывает перспективу обнаружения новых видов микроорганизмов, которые в условиях других континентов могли исчезнуть или выявлению которых могло помешать обилие конкурентной микрофлоры.

Таким образом, среди выделенных нами жизнеспособных микроорганизмов из ледника встречались представители различных таксономических групп: прокариоты – неспорообразующие и спорообразующие бактерии и актиномицеты; эукариоты – дрожжи и мицелиальные грибы.

Обнаружение указанных видов в древних слоях ледника (160–9400 лет и даже 47000 лет) свидетельствует, что эти организмы существовали на ледяном континенте задолго до появления здесь человека.

Особого интереса заслуживает факт, что продуцирование меланиноподобных пигментов является характерным для представителей различных таксономических групп микроорганизмов (дрожжей, мицелиальных грибов, актиномицетов, неспорообразующих бактерий), обнаруженных в леднике Антарктиды. Эта физиологическая особенность связана с защитными функциями организмов, приспособившихся к экстремальным условиям Антарктиды (резкие колебания температуры, повышенная солнечная радиация и др.).

СООТНОШЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОЙ МИКРОФЛОРЫ И ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА КЛЕТОК МИКРООРГАНИЗМОВ В ТОЛЩЕ ЛЕДНИКА

На следующем этапе исследований были применены методы прямого микроскопирования. С помощью методов эпифлуоресцентной и сканирующей электронной микроскопии в пробах талой воды, полученной из отрезков ледяного керна, во всех обследованных горизонтах ледника до максимальной глубины 3611 м были обнаружены микроорганизмы, принадлежащие к различным таксономическим группам и отличающиеся большим морфологическим разнообразием. По всей толще исследуемых

интервалов глубин ледника встречались представители прокариотных и эукариотных микроорганизмов. Среди них были кокки, диплококки, палочки разной длины и толщины, прямые и изогнутые, а также клетки овальной формы. Обнаруживались также актиномицеты.

Среди эукариотных организмов встречались различные виды дрожжей, как почкующихся, так и делящихся. В некоторых пробах наблюдали обрывки мицелия различных грибов, гифы которых иногда были частично или полностью лизированы. В отличие от мицелия обнаруженные конидии грибов сохранились достаточно хорошо.

В пробах часто обнаруживалась пыльца высших растений и большое разнообразие микроскопических водорослей. Наблюдения в сканирующем электронном микроскопе позволили выявить хорошо сохранившиеся остатки панцирей диатомовых водорослей, количество которых было особенно высоким в пробах с некоторых горизонтов.

Прямое микроскопирование проб из всех обследованных горизонтов выявило высокое содержание микроорганизмов порядка 10^2 – 10^3 клеток на 1 см^3 льда во всех пробах, в то же время значительная часть проб из тех же горизонтов при посевах на питательные среды дала отрицательные результаты.

В табл. 2 приведены результаты учета жизнеспособных микроорганизмов из глубоких горизонтов ледника, выявляемых на питательных средах, и прямого счета под микроскопом общего количества клеток в пробах из тех же горизонтов ледника. Результаты, приведенные в таблице, показывают, что только в 6 пробах из общего количества 40 посевов на жидкие и плотные питательные среды имелся рост микроорганизмов, тогда как во всех пробах из тех же горизонтов при подсчете общего количества клеток под микроскопом обнаруживалось довольно высокое содержание клеток в 1 мл пробы. Эти данные свидетельствуют о том, что значительная часть микробных клеток, попадавших в толщу ледника, не растет на применяемых нами питательных средах.

Дополнительные анализы с применением в качестве питательного субстрата меченого C^{14} гидролизата белка, поглощаемого жизнеспособными микроорганизмами при инкубации проб в течение от 4 до 40 часов, показали присутствие жизнеспособных клеток почти во всех пробах из керна глубоких слоев ледника.

В значительной части проб талой воды из керна наблюдалось заметное потребление субстрата. На основании этого можно предположить, что даже в самых древних глубоких

горизонтах ледника, возраст которых превышает 240 тыс. лет, имеются жизнеспособные клетки, которые, очевидно, можно выделить, совершенствуя методы анализа.

Таблица 2

Количество микроорганизмов в толще ледника по данным эпифлуоресцентной микроскопии и метода проращивания на жидкой и плотной картофельной среде

Глубина, м	Рост на питательных средах		Кол-во клеток в 1 мл ($\times 10^3$)	Глубина, м	Рост на питательных средах		Кол-во клеток в 1 мл ($\times 10^3$)
	Жидкая	Плотн.			Жидкая	Плотн.	
1502	0	0	1,40	2002	0	0	1,00
1525	0	0	1,10	2025	0	0	1,00
1548	+	0	1,78	2055	0	0	1,40
1575	0	0	1,10	2074	0	0	0,43
1599	0	0	1,30	2100	0	0	0,47
1625	0	0	0,34	2125	0	0	0,79
1650	0	0	0,65	2149	0	0	0,72
1675	0	0	0,38	2176	0	0	-
1699	0	0	1,00	2200	0	0	0,83
1726	0	0	1,20	2224	0	0	0,46
1749	0	0	0,76	2250	0	1	1,50
1775	0	0	1,20	2275	0	1	2,20
1798	0	0	1,50	2300	0	0	1,30
1824	0	0	0,58	2326	+	1	0,79
1850	0	0	0,54	2349	0	0	0,86
1875	0	0	1,40	2375	0	0	0,83
1899	0	0	1,30	2395	+	0	1,40
1925	0	0	3,90	2402	0	0	6,80
1949	0	0	1,90	2405	0	0	0,86
1975	0	0	1,40				

Примечание. "+" – рост микроорганизмов на жидкой среде, "0" – отсутствие роста. На плотной среде указано количество выросших колоний.

Детальный анализ данных микробиологических и гляциологических исследований при их сопоставлении показал, что наибольшая концентрация пыли, а также микробных клеток приходится на периоды глобального похолодания на Земле (рис. 1).

Очевидно, что максимумы, соответствующие наибольшему количеству пылевых частиц (1в), а также клеток микроорганизмов (1б), относятся к горизонтам,

расположенным на глубине примерно 2000–2150 м, а также 2300–2400 м. Следует отметить, что в пробах, полученных с этих же горизонтов, с помощью сканирующего электронного микроскопа было обнаружено наиболее высокое содержание остатков диатомовых водорослей и пыльцы высших растений [36].

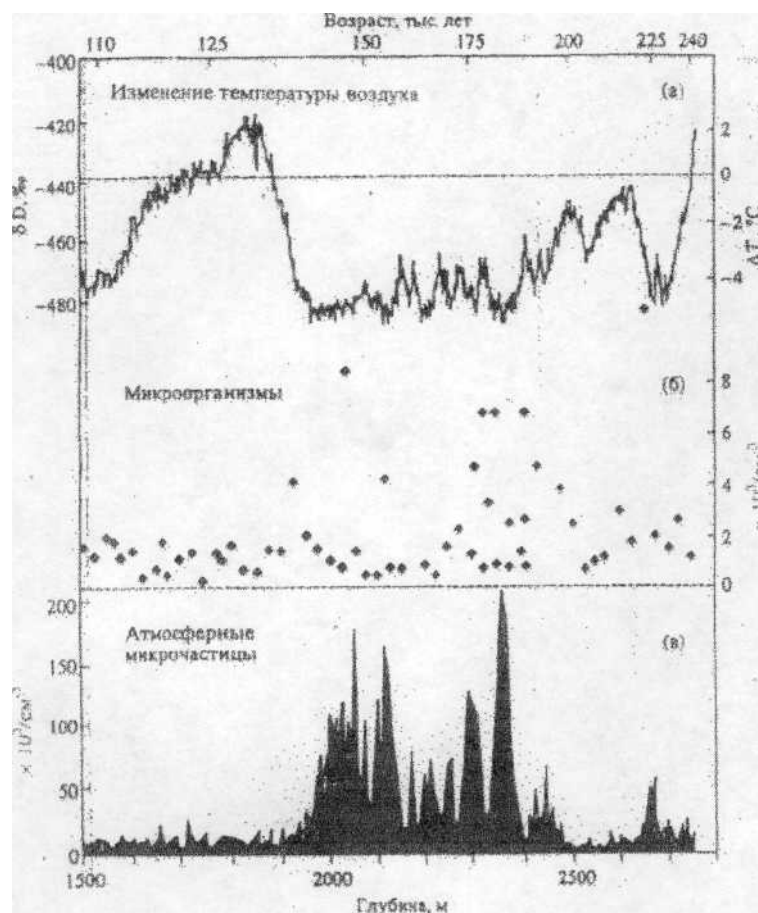


Рис. 1. Количество клеток микроорганизмов и пылевых частиц в толще ледника в различные климатические периоды

В периоды максимального похолодания, обеспечившие наибольшую концентрацию пылевых частиц и биологических объектов, происходило увеличение аридных территорий, соответствующих обнажившимся участкам шельфа Мирового океана, а также усиление ветровой активности и меридионального перемещения воздушных масс. Эти условия, по всей вероятности, способствовали интенсивному поступлению биологических и минеральных частиц в атмосферу, их дальнейшему переносу и стоку на поверхность

ледникового покрова, тем более что размеры большинства микробных клеток (0,4–1,5 мкм) и водорослей (15–30 мкм) примерно соответствуют размерам мелких пылевых частиц. Наблюдаемые нами картины адгезии бактерий на пылевых частицах [36] также подтверждают предположение о том, что перемещение микрочастиц и биологических объектов в атмосфере определяется в основном одними и теми же факторами. Впервые установленная корреляция распределения микрочастиц пыли и микроорганизмов по горизонтам в соответствии с климатическими условиями, существовавшими в периоды формирования различных слоев ледника, позволяет смотреть с определенным оптимизмом на перспективу возможной реконструкции экологических ситуаций, при которых происходило распространение микроорганизмов на Земле в различные периоды ее геологической истории.

Сравнительные исследования древнейших горизонтов ледника Центральной Антарктиды показали, что происходит постоянный занос на поверхность внутриконтинентального ледника большого количества клеток микроорганизмов, которые обнаруживаются преимущественно методами прямой микроскопии и в меньшей степени методами проращивания. По-видимому, большая часть занесенных микроорганизмов либо погибает в результате длительного пребывания в толще ледника, либо не выявляется на применяемых нами питательных средах.

Использование прямых методов микроскопии с привлечением флуоресцентной и сканирующей электронной микроскопии оказалось более плодотворным для получения общего представления о существовавшей в прошлые времена микрофлоре и путях ее распространения по сравнению с методами посева проб на питательные среды (на первом этапе исследований), позволявшими судить лишь о той части микроорганизмов, которые сохранили способность расти на применявшихся средах.

Все изложенное выше позволяет сделать заключение о том, что мы являемся свидетелями появления новой отрасли науки – гляциомикробиологии, которая открывает уникальные перспективы исследований на стыке гляциологии и микробиологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барков Н.И., Липенков В.Я. // Проблемы Арктики и Антарктики. 1995. № 69. С. 92-107.
2. Petit J.K., Moutier L., Jouzel J., Korotkevich Je.S. et al. Paleoclimatological and

- chronological implications of the Vostok core dust record // *Nature*. 1990. Vol. 343. P. 56.
3. Abyzov S.S. Microorganisms in the Antarctic ice // *Antarctic microbiology* / ed. E.I. Friedmann, N.Y.: Willey-Liss Inc., 1993. P. 265-295.
 4. Cameron R.E. Microbial and ecological investigations in Victoria Valley, Southern Victoria Land, Antarctica // *Antarctic terrestrial biology* / ed. G.A. Llano. Washington, 1972. P. 195-260. (Antarctic Research Series; Vol. 20).
 5. McLean A.L. Bacteriological and other researches, Austral-asian Antarctic expedition, 1911-1914. Scientific Reports. Sydney, 1919. Series C-7. P. 15-44.
 6. Llano G. Antarctic conservation: prospects and retrospects // *Processing of the colloquium on conservation problems in Antarctica* / ed. B.C. Parker. Lawrence (Kansas): Allen Press, 1972. P. 1-12.
 7. Лозина-Лозинский Л.К. Очерки по криобиологии. Л.: Наука, 1972. 288 с.
 8. Vishniac W.V., Mainzer S.E. Antarctica as a Mars model // *Life Sciences and Space Research*. 1973. N 2. P. 25-31.
 9. Cameron R.E., Honour R.C., Morell F.A. Antarctic microbiology – preparation for Mars life detection, quarantine, and back contamination // *Extreme environments: Mechanisms of microbial adaptation* / ed. M.R. Heinrich. N.Y.: Acad. Press, 1976. P. 57-87.
 10. McKay C.P. Relevance of Antarctic microbial ecosystems to exobiology // *Antarctic microbiology* / ed. E.I. Friedmann. N.Y.: Willey-Liss Inc., 1993. P. 593-601.
 11. Friedmann E.I. The Antarctic cold desert and the search for traces of life on Mars // *Advances in Space Research*. 1986. N 12. P. 167-172.
 12. Draggan S. Protection of Antarctic microbial habitats // *Antarctic microbiology* / ed. E.I. Friedmann. N.Y.: Willey-Liss Inc., 1993. P. 603-614.
 13. Кудряшов Б.Б., Чистяков В.К., Васильев Н.И., Волков А.Б., Барков Н.И. Бурение и исследование глубокой скважины на станции Восток // *Результаты исследований Антарктики: Сб. ст. / ред. В.М Котляков, А.И. Данилов. СПб.: Гидрометеиздат, 1995. Вып. 1. С. 80-82.*
 14. Абызов С.С., Липенков В.Я., Бобин Н.Е., Кудряшов Б.Б. Микрофлора ледника Центральной Антарктиды и методы контроля стерильного отбора ледяного керна для микробиологических анализов // *Изв. АН СССР. Сер. биол.* 1982. № 4. С. 537-548.

15. Абызов С.С., Бобин Н.Е., Короткевич Е.С., Кудряшов Б.Б. Микробиологические исследования ледяного керна из глубоких скважин ледника Центральной Антарктиды // Информ. бюл. САЭ. 1989. № 111. С. 86-91.
16. Tsiklinsky P.V. // Exped. Antarct. Francaise 1903 – 1905. Paris: Masson et Cie, 1908. Vol. 3. P. 34.
17. Di Menna M.E. Yeasts in Antarctic soils // Antonie van Leeuwenhoek. 1966. N 32. P. 29-38.
18. Baker J.H. Yeasts, moulds and bacteria from an acid peat on Signy Island // Antarctic Ecology. 1970. N 2. P. 717-722.
19. Абызов С.С., Белякова Л.А. Мицелиальные грибы из толщи ледника Центральной Антарктиды // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1982. № 3. С. 432-435.
20. Atlas R.M., Di Menna M.E., Cameron R.E. Ecological investigations of yeasts in Antarctic soils // Antarctic Research Series. 1978. N 30. P. 27-34.
21. Yabunchi E., Ohya A. Characterization of "pyomelanin" producing strains of *Pseudomonas aeruginosa* // Inter. J. Systemat. Bacteriol. 1972. Vol. 22. P. 53-64.
22. Stokes J.L. General biology and nomenclature of psychrophilic microorganisms // Recent Progress in Microbiology. 1963. N 8. P. 187-192.
23. Meyer G.H., Morrow M.B., Wyss O., Berg T.E., Littlepage J.L. Antarctica: the microbiology of unfrozen saline pond // Science. 1962. Vol. 138. P. 1103-1104.
24. Jizuka H. On the microflora of the Antarctic zone // J. Gener. Appl. Microbiol. 1961. N 2. P. 7.
25. Meyer G.H., Morrow M.B., Wyss O. Bacteria, fungi and other biota in the vicinity of Mirnyi Observatory // Antarct. J. 1967. Vol. 2, N 6. P. 248-251.
26. Cameron R.E., King I., David C.N. Microbiology, ecology and microclimatology of soil sites in dry valleys of Southern Victoria Land, Antarctica // Antarctic ecology / ed. M.W. Holdgate. L.: Acad. Press, 1970. P. 702-716.
27. Friedmann E.I. Endolithic microorganisms in the Antarctic cold desert // Science. 1982. Vol. 215, N 4536. P. 1045-1053.
28. Sneath K.H. Longevity of microorganisms // Nature. 1962. Vol. 19. P. 643-646.
29. Weber R., Greenberg J.M. Can spores survive in interstellar space? // Nature. 1985. Vol. 316. P. 403-407.
30. Аксенов С.И. О предельной продолжительности анабиоза у микроорганизмов //

- Микробиология. 1982. Т. 51, № 5. С. 877-880.
31. Seaward M.R.D., Cross T., Unsworth B.A. Viable bacteria spores recovered from an archaeological excavation // Nature. 1976. Vol. 261. P. 407-408.
 32. Gest H., Mandelstam J. Longevity of microorganisms in natural environments // Microbiol. Sci. 1987. N 4. P. 69-71.
 33. Абызов С.С., Кириллова Н.Ф., Черкесова Г.В. Длительный анабиоз у спорообразующих бактерий в толще ледника Центральной Антарктиды // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1988. № 6. С. 885-891.
 34. Беккер М.Е., Дамберг Б.Е., Рапопорт А.И. Анабиоз микроорганизмов. Рига: Зинатне, 1981. 252 с.
 35. Абызов С.С., Филиппова С.Н., Кузнецов В.Д. *Nocardiopsis antarcticus* – новый вид актиномицета, выделенный из толщи ледника Центральной Антарктики // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1983. № 4. С. 559-569.
 36. Абызов С.С., Мицкевич И.Н., Поглазова М.Н. Микрофлора глубоких горизонтов ледника Центральной Антарктиды // Микробиология. 1998. Т. 67, № 4. С. 547-555.