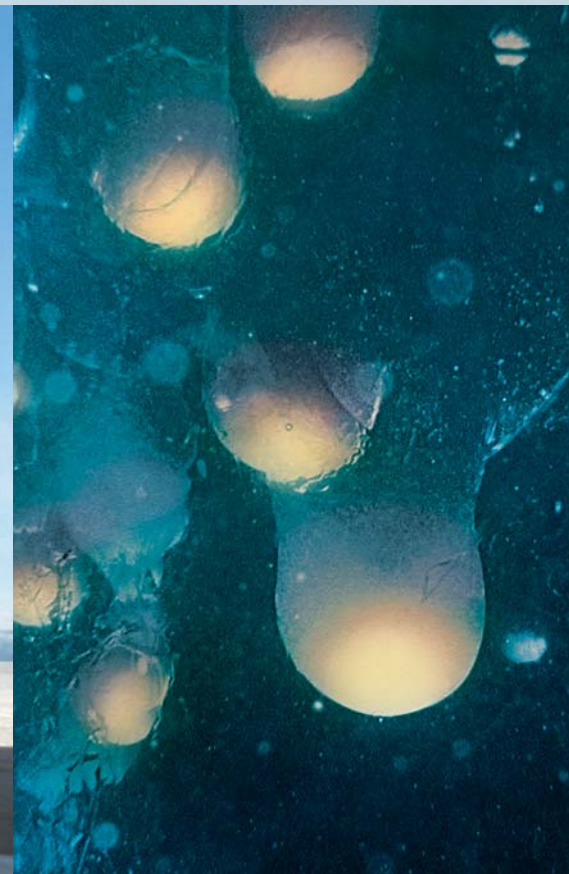


Веками человек воспринимал ледяное царство как безжизненный мир — мир белого безмолвия и застывшего времени. Именно таким предстает образ Севера в известной сказке о Кае и Герде. Зима для нас — это время, когда природа замирает и погружается в сон до весны. Но так ли это на самом деле? Может быть, и нам правильно увидеть действительность мешает осколок волшебного зеркала Снежной королевы?

Лед — хранитель жизни

Фото В. Короткоручко



БОНДАРЕНКО Нина Александровна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологии водных беспозвоночных Лимнологического института Сибирского отделения РАН (г. Иркутск)

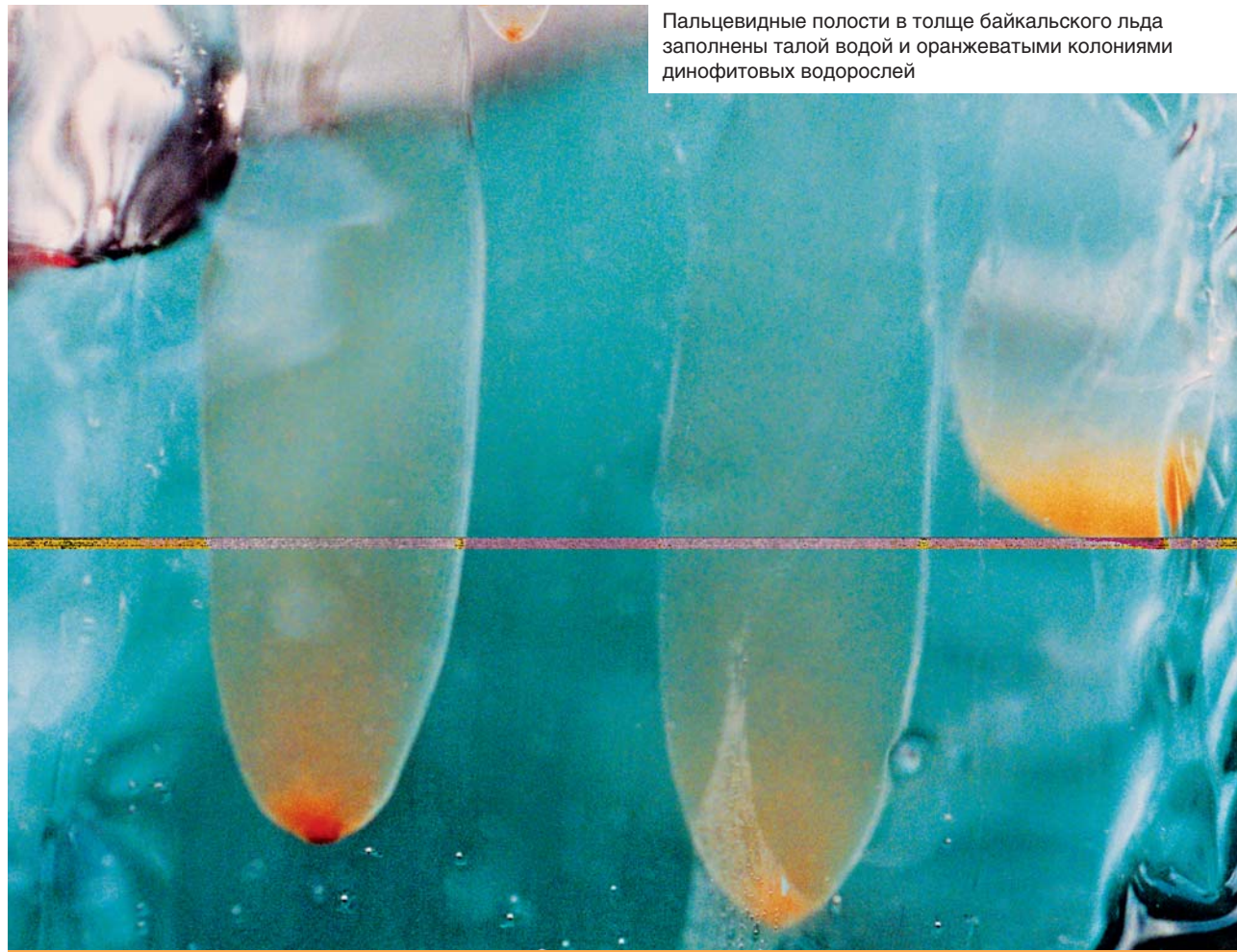


ОБОЛКИНА Любовь Александровна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биологии водных беспозвоночных Лимнологического института Сибирского отделения РАН (г. Иркутск)



ТИМОШКИН Олег Анатольевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биологии водных беспозвоночных Лимнологического института Сибирского отделения РАН (г. Иркутск)

Биологическая наука до последнего времени мало интересовалась поисками жизни в условиях холода, так как считалось, что жизненные процессы протекают лишь при положительных температурах. При температуре 0°C вода замерзает, поэтому полагали, что никакие формы жизни не могут быть в ней активными. Они большей частью должны либо погибнуть, либо впасть в состояние анабиоза. Однако постепенно стали накапливаться сведения о пригодности мерзлых сред для жизни. Используя антифризы или находясь в жидких капсулах и капиллярах, организмы смогли приспособиться к суровым условиям существования. Удивительно, но жизнь была обнаружена в высокогорных снегах, арктических и антарктических льдах и ледниках



Пальцевидные полости в толще байкальского льда заполнены талой водой и оранжеватыми колониями динофитовых водорослей

«Живой» лед

Открытия последнего времени позволили по-иному взглянуть на возможности льда как среды для обитания живых существ. Оказалось, что на вопрос: «Возможна ли жизнь во льду?», можно ответить: «Возможна, да еще какая бурная!».

Это явление впервые было обнаружено в морских льдах в конце XIX века экспедицией Ф. Нансена. Летом 1894 г. знаменитый исследователь и путешественник обнаружил на краях ледяных глыб скопления водорослей, спускающиеся в морскую воду. Сейчас мы многое узнали о полярном «кровавом» снеге, приобретающем эту удивительную окраску благодаря развивающимся в нем организмам, о богатом населении морских льдов Антарктиды и Арктики. Вместе с тем долгое время считалось, что в пресных льдах живые существа функционировать

не могут, поэтому эти льды содержат только вмерзшие организмы. Предполагалось, что эти существа находятся там в состоянии анабиоза или в стадии покоя (споры, цисты, покоящиеся яйца и т. д.), и могут «оживать» только после таяния льда. В отличие от населения морских льдов эти пресноводные сообщества были выделены в специальный класс, получивший название *анабиоценоз*.

Причина неудач в исследовании жизни в пресных льдах кроется в следующем. Лед является сложной структурой и состоит из трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Жидкая фаза морского льда представляет собой насыщенный солевой раствор, образующийся при замерзании морской воды. Он занимает относительно большой объем, заполняя развитую сеть полостей и каналов, и представляет собой хорошо защищенное, специфическое местообитание для живого сообщества.

В отличие от морского пресный лед монолитен. В обычном состоянии его жидкая фаза занимает слишком маленький объем, недостаточный для развития в нем организмов крупнее бактерий. В этом монолитном

(«черном») льду активная жизнь практически отсутствует. Однако в пресных ледовых покровах, где жидкая фаза занимает относительно большой объем (как, например, в снежно-ледовой «каше» Альпийских и Пиренейских озер), недавно было обнаружено ледовое сообщество, в которое входят разнообразные микроорганизмы, водоросли и простейшие.

Хорошо развитая система пор и каналов, заполненных талой водой, возникает между ледяными кристаллами и в рыхлом, тающем льду. Именно в период таяния «черного» льда возникает совершенно необычный биотоп, в котором способны развиваться пресноводные организмы. Кроме того, в период между интенсивным намерзанием и таянием пресного льда его нижняя поверхность может обрастать водорослями, что было впервые обнаружено на реке Амур. Недавно и в байкальском льду нами были обнаружены *криофильные* (греч., *крио* — холод, *фило* — любящий) организмы, успешно размножающиеся в межкристаллической воде. Кстати сказать, до этого ледяной покров Байкала не привлекал к себе пристального внимания исследователей, так как по вышеупомянутым причинам считалось, что жизни там быть не может.

Байкальские полярники

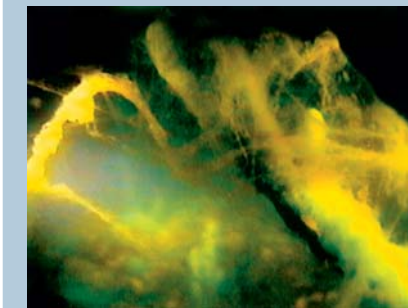
Основными «полярниками» озера являются его *эндемичные* (т. е. живущие только здесь и нигде больше в мире) низшие растения — водоросли. Уже в конце января, когда солнце поднимается выше над горизонтом, чуть-чуть растапливается лед вокруг организмов, вмерзших при ледоставе. И водоросли начинают размножаться в образовавшихся водных «оазисах». Поглощая солнеч-

ную энергию, они способны затем и сами «плавить» лед вокруг себя.

Весной, когда солнце щедро дарит свое тепло пробуждающейся природе, эти вкрапления жизни создают внутри байкальского льда причудливые структуры. Водоросли, заселяющие вертикальные капилляры льда, свисают в воду в виде различных слизистых шнуров или «бород». Другие образуют в ледяной толще своеобразные «вазы», «бокалы» или «колбы», заполненные плотными слизистыми скоплениями бурого цвета. В слизи водорослей обитают разнообразные бактерии. Размножаясь и заполняя собой все новые объемы талой воды, водоросли, в конце концов, пронизывают всю метровую толщу льда и выпадают в подледную воду, продолжая там свое развитие.

Буйство жизни во льду и сразу под ним в это время — необычайное. На агрегациях водорослей «пасутся» разнообразные байкальские животные. В этих ледовых «джунглях» снуют туда-сюда деловитые инфузории и коловратки, скапливается молодь знаменитого байкальского рачка *эпишуры*, и даже мальки рыб и донные *бокоплавы* находят тут для себя кров и пищу.

И в крошащемся под весенним солнцем байкальском льду жизнь не прекращается, достигая апогея в апреле–мае. В это время длинные водоросли, свисающие с нижней поверхности льда, обрываются под влиянием подводных течений и собственной тяжести. Подобно мягким снежным хлопьям, они медленно оседают на дно. Обитатели дна, «раскрыв рты», ловят эту «манну небесную». На освободившейся нижней поверхности льда с большой скоростью развиваются все новые и новые группировки водорослей. Не менее двух–трех урожаев таких ледовых «грядок» оседает в прибрежье озера в течение полутора–двух весенних месяцев, поставляя обильный корм донным животным. Колонии водорослей в ледовых «бока-



Нитевидные колонии диатомовых водорослей свисают с нижней поверхности льда в воду в виде огромных длинных слизистых шнуров и «бород» длиной от нескольких десятков сантиметров до 2–3 метров. Под влиянием подводных течений и своей тяжести они обрываются и медленно оседают на дно, поставляя обильный корм донным животным

лах», разрастаясь и увеличиваясь в весе, постепенно опускаются (прогибаются) до нижней поверхности льда, способствуя его разрушению.

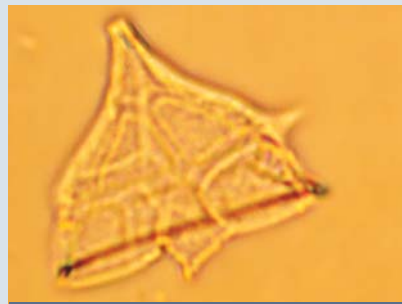
После таяния льда все ледовые организмы попадают в толщу воды, где затем живут длительное время и являются кормом для свободно живущих видов животных. По мере прогревания верхнего слоя воды водоросли постепенно оседают на дно озера, окутывая его огромными слизистыми «покрывалами». Осенью ледовые растительные организмы снова возвращаются на «зимовку» — годовой цикл замыкается, и все повторяется вновь.



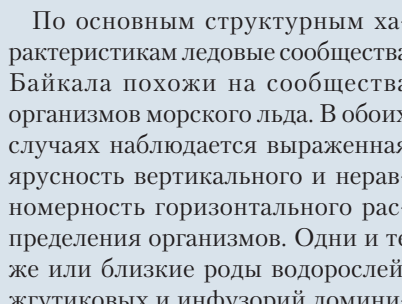
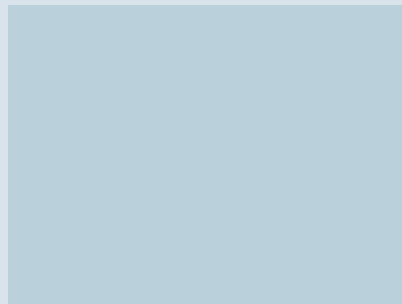
Кто и как живет во льду

В разные годы в системе пор и микротрещин тающего байкальского льда развиваются разные сообщества. Их структура зависит от состава массовых видов водорослей, обитающих в толще воды. К настоящему моменту нами выделены два варианта: первый — на основе эндемичных *динофитовых* водорослей родов *Gymnodinium* и *Peridinium*; второй — на основе эндемичных *диатомовых* водорослей рода *Aulacoseira*. Общее количество водорослей-криофилов, обитающих во льду толщиной 60–70 см, часто на два-три порядка превышает численность этих видов в подледном планктоне! Обращает внимание также очень неравномерное распределение этих сообществ в самом льду.

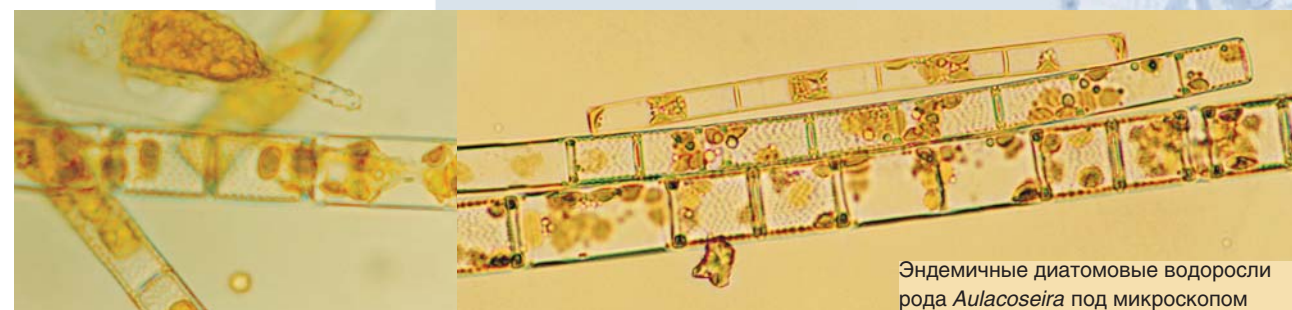
Любопытно, что в торосистой части, на неровной поверхности льда, в различных впадинках и трещинках развиваются преимущественно крупные донные водоросли, а не планктонные. Этот удивительный «лес» в изобилии заселяется и донными беспозвоночными животными.



Эндемичные динофитовые водоросли родов *Gymnodinium* и *Peridinium* под микроскопом

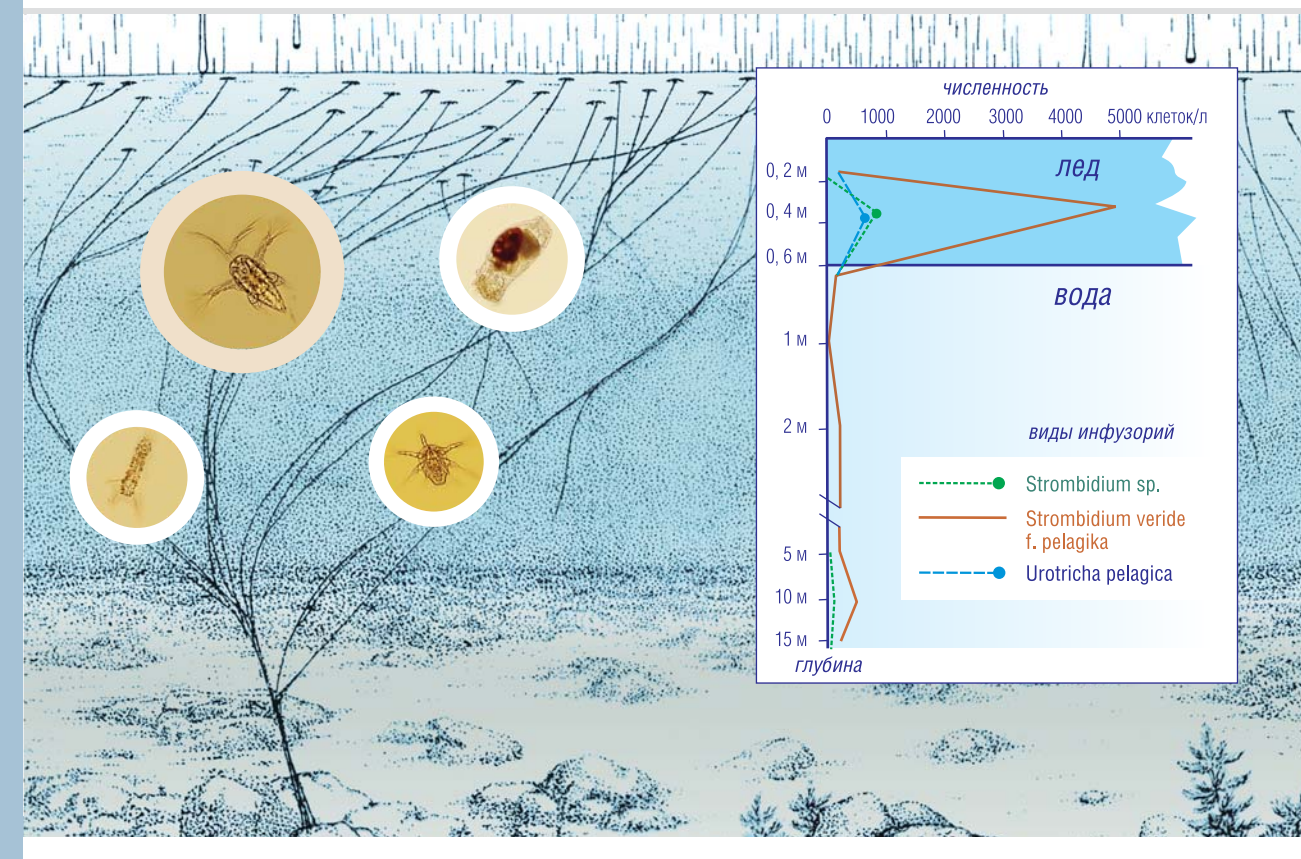


По основным структурным характеристикам ледовые сообщества Байкала похожи на сообщества организмов морского льда. В обоих случаях наблюдается выраженная ярусность вертикального и неравномерность горизонтального распределения организмов. Одни и те же или близкие роды водорослей, жгутиковых и инфузорий доминируют как в морском, так и пресном льду. Похож и состав других групп организмов, входящих в сообщества. Удивительно, что хотя среды их обитания достаточно полярны — соленая морская и практически дистиллированная талая байкальская вода — различия между членами морских и пресноводных сообществ существуют лишь на видовом уровне.



Эндемичные диатомовые водоросли рода *Aulacoseira* под микроскопом

Численность водорослей-криофилов и простейших в ледовых сообществах часто на порядки превышает численность этих же видов в подледной воде (по Оболкиной, 1999)



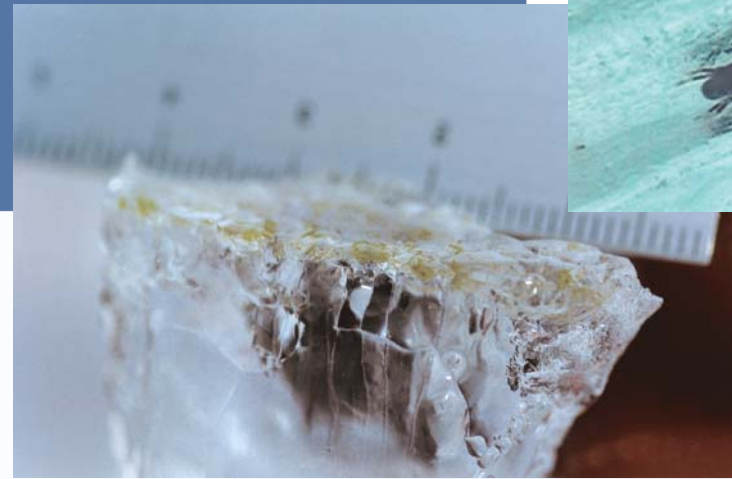
На Байкале можно открывать не только новые виды, роды и семейства, но даже — новые сообщества организмов!

Тем не менее, некоторые принципиальные различия между сообществами все же имеются. В первую очередь следует отметить относительную краткость, эфемерность существования сообществ в пресноводных льдах. Во-вторых, в пресной воде сообщества, обитающие в микротрещинах и на нижней поверхности льда, разнесены во времени. Вначале, пока лед еще монолитен, развиваются только обрастания, затем, по мере таяния льда, появляются сообщества в самой ледовой толще. В морском же льду все эти сообщества сосуществуют одновременно. Кроме того, в морских системах обнаружены специфические виды, которые живут только в криофильных сообществах. Несмотря на то, что почти половина видов, заселяющих байкальский лед, являются эндемиками, специфических криофильных видов, кроме бактерий, в Байкале не обнаружено.





Среди обитателей байкальских ледовых «лесов» — эндемичные виды бокоплавов *Pallasea cancellus* и *Eulimnogammarus*



В ледовых объятиях

Основным поставщиком (донором) для эфемерных ледовых сообществ Байкала служит *планктон* озера (жители его толщи) и *бентос* (обитатели дна). Как показали наши эксперименты, главным из трех возможных путей заселения байкальского льда для сообществ микротрещин является *пагон* (вмерзшие в лед организмы, находящиеся в состоянии анабиоза или в стадии покоя), а для сообществ нижней части льда — подледная вода.

Колонизация через атмосферу не играет большой роли. Однако поступления неорганического и органического вещества с атмосферными осадками и с помощью ветра могут довольно сильно влиять на химический состав среды, в данном случае — талую воду. В отличие от морей лед и талая вода в Байкале настолько слабо минерализованы и бедны органикой, что близки по составу к чистой дистиллированной воде. Поэтому источники питания для столь обильного сообщества при столь бедной окружающей среде остаются под вопросом.



Эффект «двойного дна»: нижняя сторона торосного льда заселяется микроорганизмами и водорослями. Они служат кормом для «подледного» зообентоса, состоящего, в основном, из бокоплавов

Кажется невероятной и пока необъяснимой удивительно высокая скорость развития ледовых водорослей и простейших в байкальских ледовых сообществах. В литературе мы нашли лишь одно упоминание о подобном явлении в морских сообществах, к тому же допускающее двойное толкование. Факт же ускоренного развития криофилов на Байкале не вызывает сомнений, поскольку ежедневный прирост колоний ледовых водорослей можно измерять чуть ли не в сантиметрах. И это происходит при почти полном отсутствии питательных веществ и температуре, близкой или равной нулю! Может быть, здесь сказывается пресловутый «феномен талой воды»? А может быть, в этих эфемерных сообществах приводятся в действие некие регуляторные механизмы (клеточные или популяционные) подобно тому, как это происходит в пустынях в сезон дождей, или в короткое полярное лето?

Открытие в ледяном покрове Байкала ранее скрытой бурной жизни поставило много вопросов, и не только перед биологами. Каковы физико-химические особенности среды обитания в пресном льду, который, на первый взгляд, лишен всех необходимых для жизни питательных веществ? В чем состоит особая притягательность капиллярной воды для организмов? И, наконец, как изучать биологические процессы в этой среде? На все эти вопросы пока нет исчерпывающих ответов. Но сама проблема настолько интересна и многообещающа, что требует привлечения широкого круга специалистов разного профиля: физиков, цитологов, физиологов, медиков.

Важное открытие недавно было сделано и в далекой Антарктиде. Под российской станцией «Восток» в ледяном панцире была пробурена скважина глубиной 4 км. В кернах льда, возраст которого насчитывает миллионы лет, были обнаружены живые микроорганизмы. Каким образом в таких условиях и на протяжении столь длительного времени они смогли сохранить жизнеспособность?

Еще много загадок хранит лед. Одну из них, самую важную, человеку удалось разгадать. Лед — не безжизненное царство жестокой Снежной королевы. Он — кладовая биоразнообразия, бережный Хранитель жизни. Жизни, которая процветает в теплых объятиях льда...

В статье использованы фотографии О. А. Тимошкина