



НЕВИДИМАЯ СЕТЬ



ЛИХОШВАЙ Елена Валентиновна — доктор биологических наук, заведующая отделом ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН. Изучением диатомовых водорослей занимается с 1989 года. Автор более 80 печатных работ и монографии «Диатомовые водоросли планктона озера Байкал» в соавторстве с Г. И. Поповской и С. И. Генкалом



Ричард М. КРАУФОРД — куратор коллекции Хустедта, Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, г. Бремерхавен, Германия

Авторы и редакция благодарят д-ра Дэвида Лазаруса, куратора коллекции Эренберга (Музей естественной истории, г. Берлин) за помощь в подготовке иллюстративных материалов статьи

Наука, как никакая другая сфера деятельности, предполагает преемственность прошлого и настоящего. Разрыв этой связи чреват невосполнимостью и утратой отдельных ветвей науки. С другой стороны, неперменной чертой научной деятельности всегда была коллективность. Так, уже в «Проекте положения об учреждении Академии наук и художеств», принятом Российским Сенатом в начале 1724 г., особенно отмечалась «полезность обсуждения опытов представителями разных специальностей». Эти принципы, заложенные еще Петром I, легли в основу и современного Устава Российской Академии наук.

Давайте на примере исследований диатомовых водорослей (род *Aulacoseira*) попытаемся рассмотреть эту невидимую сеть связей, существующих в науке: вертикальных (между прошлым и настоящим) и горизонтальных (между различными исследователями, событиями и явлениями одного времени).

НЕЗАМЕТНЫЕ ТРУЖЕНИКИ

Диатомовые водоросли являются одноклеточными водными растениями, обладающими кремнистыми панцирями необыкновенной красоты. Однако увидеть особенности строения этого панциря у каждого вида можно только с помощью световой, сканирующей или трансмиссионной (просвечивающей) электронной микроскопии.

На долю этих незаметных тружеников приходится, по разным оценкам, от 20 до 40 % всей первичной органической продукции на Земле, включая все наземные растения! Поскольку панцири диатомей могут неограниченно долгое время сохраняться в осадках озер, морей и океанов, по ним можно отслеживать историческое развитие водных растительных сообществ.

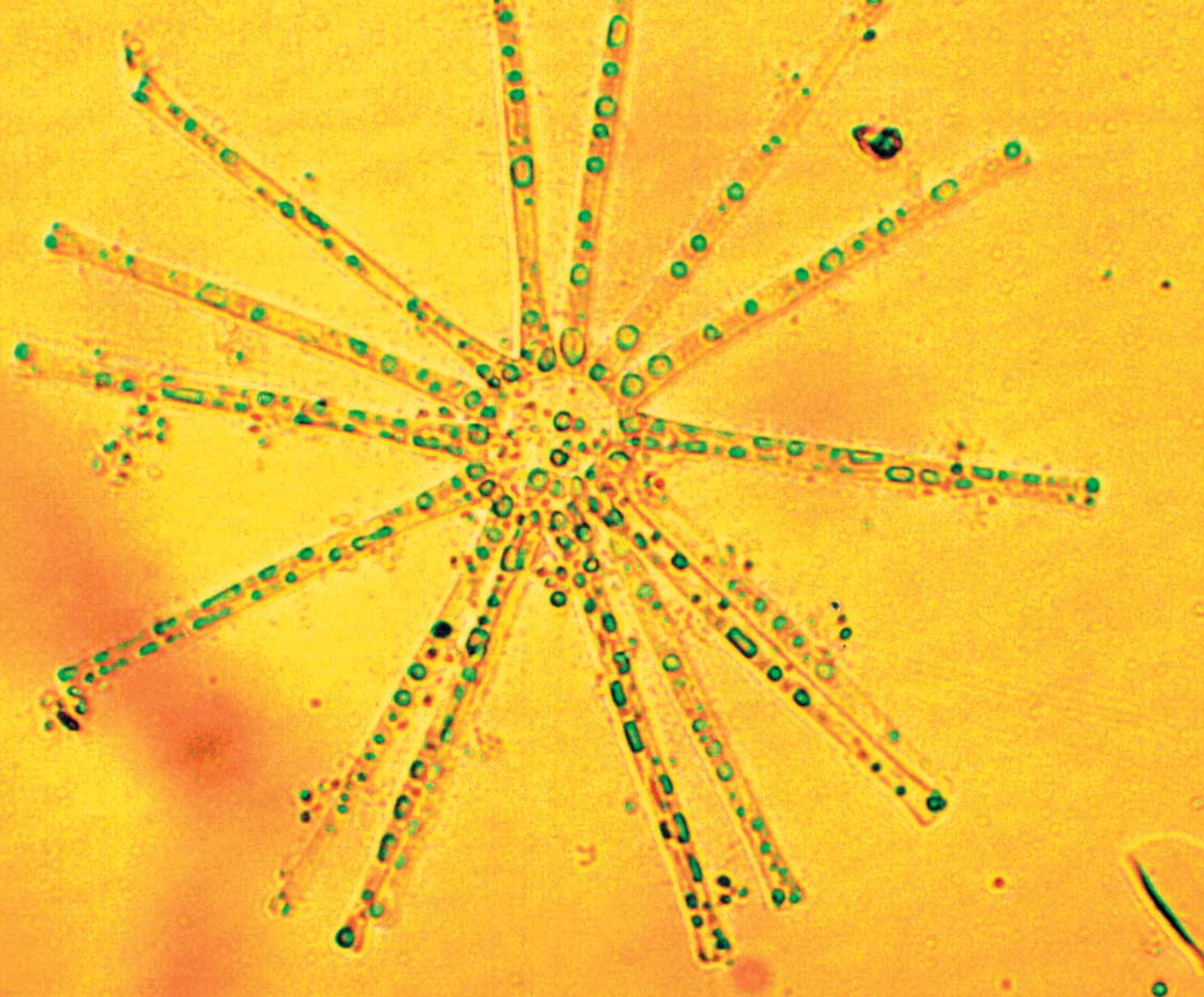
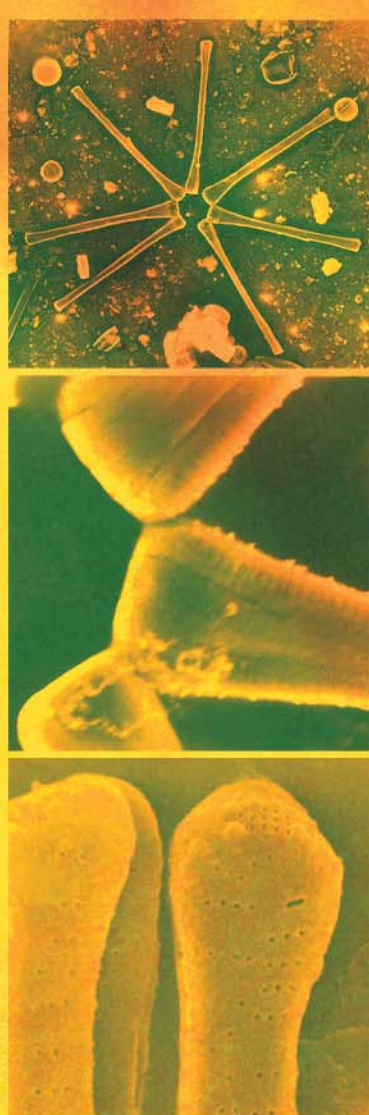
Разные виды этих водорослей предъявляют различные требования к условиям обитания, поэтому сообщества диатомовых водорослей служат удобным

индикатором изменений окружающей среды, в том числе и климатических. Исследования диатомовых в донных осадках принесли множество очевидных доказательств таких явлений, как, например, закисления европейских озер в результате индустриализации, или изменения направлений глубоководных океанических течений.

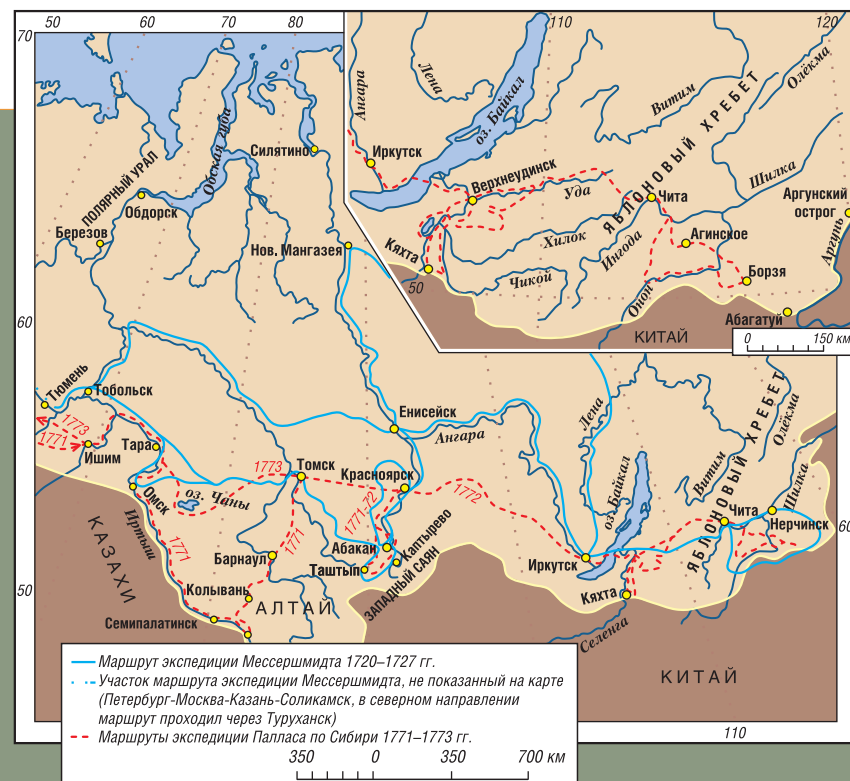
Диатомеи находят различное применение и в промышленности. На основе анализа распределения диатомовых водорослей в осадочных породах оценивают возраст и мощность месторождений нефти. Диатомиты (породы, состоящие из панцирей отмерших диатомовых водорослей) добывают и используют для получения тонких абразивов, для фильтрования вина и пива, как строительный материал.

Из-за малого размера диатомей их изучение шло параллельно с развитием микроскопии. С конца XVI в. диатомовые исследовали с помощью световых микроскопов, при этом они служили не только объектами исследований, но и своеобразным эталоном, по которому проверялось качество оптических линз. Как только выяснилось, что из клеточных стенок (панцирей) диатомей можно готовить постоянные препараты, которые можно хранить неограниченно долгое время, начали создаваться диатомовые коллекции. Они стали «краеугольным камнем» систематики диатомовых, которая идентифицирует виды и организует их в определенные иерархические группы.

С 60-х годов прошлого века для выявления мелких деталей строения клетки стала все больше и больше использоваться электронная микроскопия, при этом открывались новые виды диатомовых. В последние же 10 лет на первый план стали выдвигаться молекулярные методы систематики, к сожалению, иногда с некоторым отрывом от классических морфометрических исследований.



Планктонная диатомовая водоросль *Asterionella formosa* (звездочка тайваньская) при наблюдении в электронный микроскоп



Маршрут Д. Г. Мессершмидта и П. С. Палласа по Сибири

НЕМЦЫ НА БАЙКАЛЕ

К исследованиям байкальских диатомовых так или иначе «приложили руку» ученые самых разных специальностей и национальностей, но пальма первенства, без сомнения, принадлежит немецким исследователям. Первым ученым-немцем, который посетил озеро Байкал, был Даниил Готтлиб Мессершмидт (1685–1735). Он был приглашен самим Петром I еще до основания Российской Академии наук, и в течение 7 лет (1720–1727) путешествовал по Сибири. Мессершмидт собирал сведения по истории, этнографии, географии и экономике, а также замечательные коллекции растений и животных, включая кости мамонта. К сожалению, многие из них затем были утрачены при кораблекрушении и во время пожара в Петербурге.

Другой разносторонне одаренный немецкий ученый, неутомимый путешественник Иоганн Готтлиб Георги (1729–1802), узнав о том, что Российская Академия наук планирует исследования малоизученных земель,

сразу обратился с просьбой включить его в состав одной из экспедиций. Вместе с группой Петера Симона Палласа он провел на Байкале 2 года (1772–1774). За это короткое время Иван Иванович, как нарекли его русские коллеги, составил подробную карту Байкала, дал детальное описание условий окружающей среды, обнаружил и описал многие неизвестные ранее виды, в том числе — байкальского омуля, *Coregonus autumnalis migratorius* Georgi. Пробы осадочных отложений, собранные Георги, были отправлены в Санкт-Петербург и в другие города. В том числе пробы из долины реки Баргузин, вытекающей из Байкала, попали сначала в берлинскую коллекцию минералов М. Клапрота, а позднее — в коллекцию К. Эрнберга.

Мартин Генрих Клапрот (1743–1817) был известным химиком и минералогом. В Берлине, в Музее естественной истории он создал коллекцию природных минералов и руд, которая сейчас носит его имя. Он от-

крыл 4 новых элемента, в том числе в 1789 году — уран. Любопытно, что именно путем анализа изотопов урана, проводимого с конца 80-х годов XX века, было установлено время появления в донных осадках Байкала эндемичной диатомовой водоросли *Aulacoseira baicalensis*, «хозяйки» современного байкальского фитопланктона. В честь этого доминирующего вида годы ее активного развития до сих пор называются «мелозирными» (по имени рода *Melosira*, к которому ранее относился этот вид).

Одним из первых и наиболее известнейших микроскопистов своего времени был Кристиан Готфред Эренберг (1795–1876). Многие путешественники и исследователи, в том числе сам великий Чарльз Дарвин, посылали ему свои пробы почв, пыли, вулканического пепла, морских и пресноводных организмов, собранные в различных уголках планеты. Основным и излюбленным объектом Эренберга были как раз диатомовые водоросли. В период с 1838 по 1854 годы он выделил 35 родов диатомовых и 4 рода других одноклеточных водорослей, а в общей сложности дал описание нескольким тысячам видов!

ДИАТОМОВЫЙ ТРИУМВИРАТ

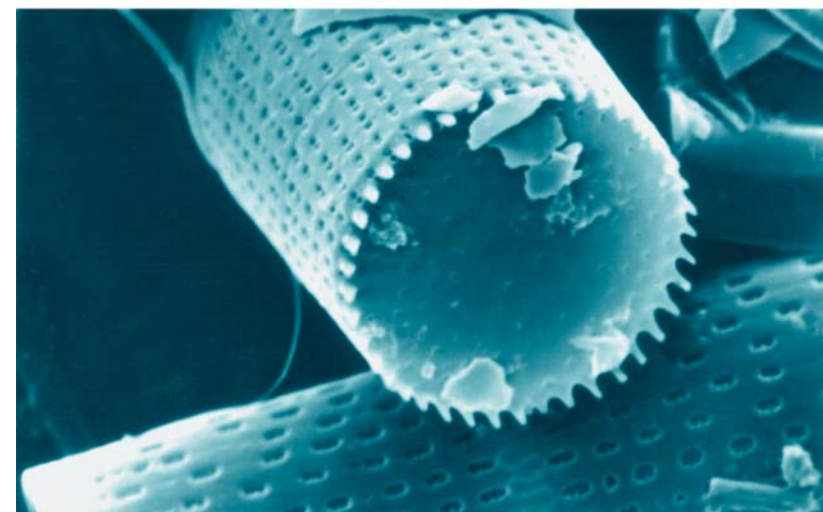
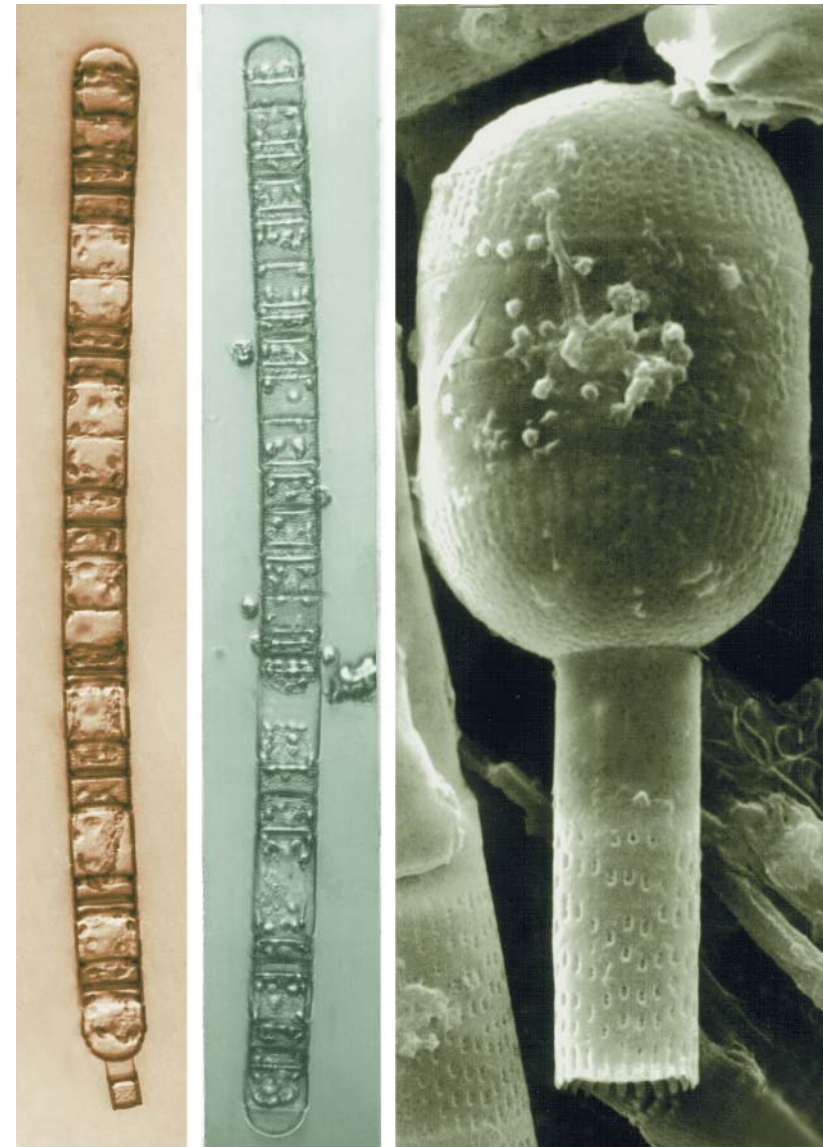
Во все свои путешествия Эренберг всегда брал микроскоп и бумагу для рисования. В дневное время он собирал пробы, в ночное — зарисовывал обнаруженные в них водоросли. Его коллекция в Берлине насчитывает сотни оригинальных рисунков. Эренберг, а позднее Фридрих Кюцинг (1807–1893) и Отто Мюллер (1837–1917), составили тот триумvirат, который предопределил исключительно сильные традиции диатомовых исследований в Германии, сохранившиеся и по сей день.

Несмотря на низкое разрешение микроскопов того времени и слабую светопрозрачность слюды, на которой готовились препараты, Эренберг умел распознавать отличительные характеристики различных мельчайших организмов и, следуя традиции Линнея, присваивал новым из них латинские имена. Имена были бинальными: на первом месте стояло название рода, на втором — вида.

Многие мелкие окрашенные водоросли были помещены им в род *Gailonella*. Позднее название этого

рода было сохранено за бактериями, а диатомеи были переведены Кюцингом в другие рода. Например, часть диатомей, образующих нитевидные колонии, были перенесены им в род *Melosira* (латинский вариант греческого термина «нить бус»). Этот перенос видов из одного рода в другой иллюстрирует фундаментальный принцип систематики: в случае, если рассматриваемый вид существенно отличается от типового вида, на котором основано описание рода, его следует удалить из данного рода и перенести в другой (новый или уже существующий).

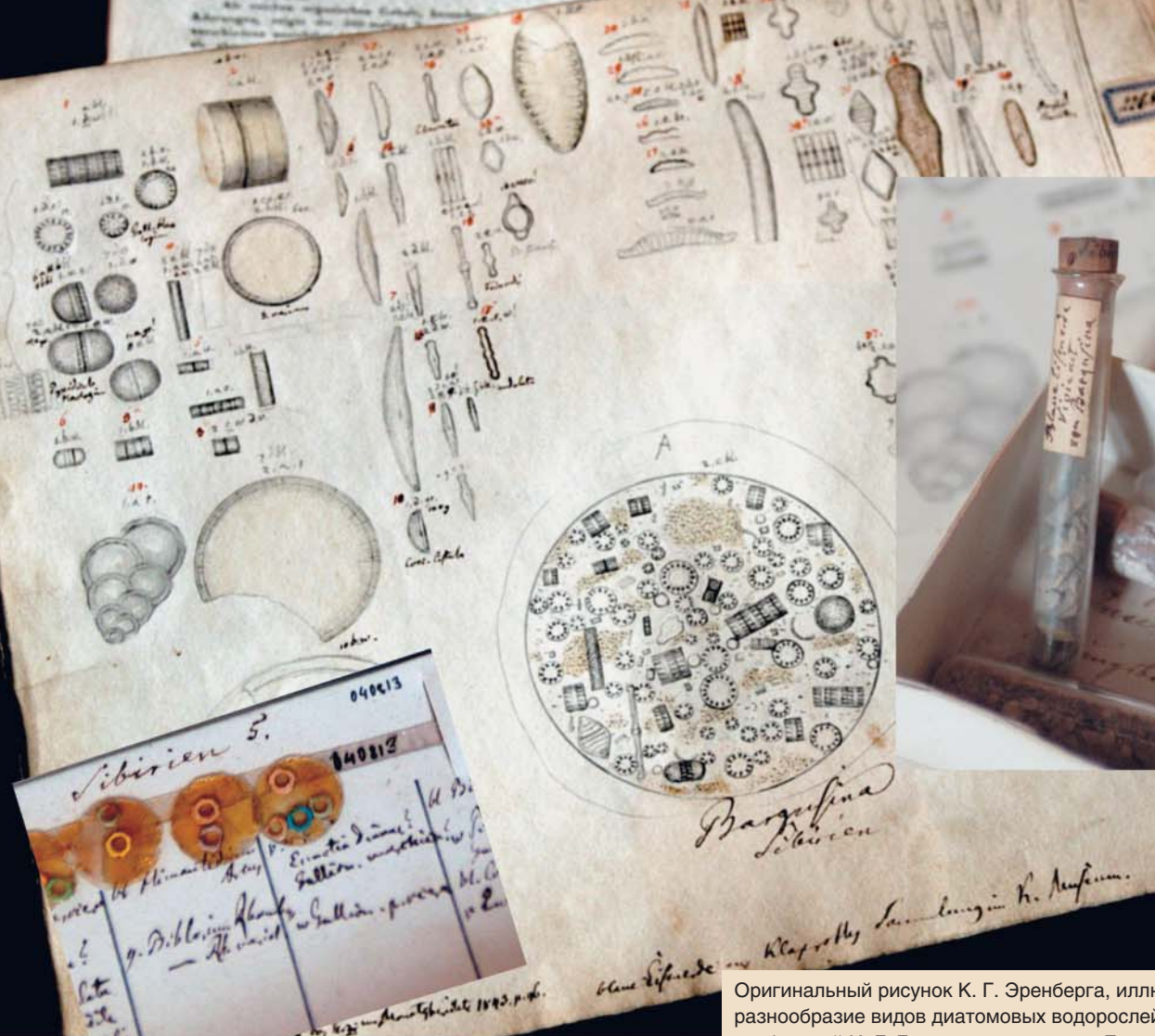
Так, например, в 1848 г. англичанин Джорж Твайтс (1812–1882) решил, что некоторые из пресноводных видов рода *Melosira* существенно отличаются от морского типового вида *Melosira nummuloides*, и должны быть перенесены в новый род *Aulacoseira*. Это предложение игнорировалось до тех пор, пока через 130 лет Раймер Симонсен, работавший в то время в Бремерхавне, а ныне проживающий в Бремене, не опубликовал новые комбинации для 59 видов и внутривидовых таксонов. В то время Симонсен был куратором другой крупнейшей в мире коллекции диатомовых водорослей, состоящей примерно из 65 тысяч препаратов их панцирей, собранной Фридрихом Хустедтом (1886–1968), также известнейшим диатомистом своего времени.



Портрет К. Г. Эренберга

Образцы из коллекции Эренберга (Музей естественной истории, г. Берлин)

Диатомовые водоросли вида *Aulacoseira baicalensis* и их прорастающие ауксоспоры при наблюдении в электронный микроскоп



Оригинальный рисунок К. Г. Эренберга, иллюстрирующий разнообразие видов диатомовых водорослей из пробы, отобранной И. Г. Георги в долине реки Баргузин во время его экспедиции по Байкалу в 1772—1774 гг.

ВСЕ ПРОХОДИТ — И ВСЕ ОСТАЕТСЯ

К середине XX века количество видовых и надвидовых таксонов диатомовых водорослей катастрофически увеличилось. Однако принципы систематики диатомей оставались неизменными, а собранные коллекции служили ее центральным базисом. Стало очевидным, что при отсутствии типового образца, на котором основан вид, использование видового имени биологами, экологами и другими специалистами имеет достаточно сомнительный характер.

К счастью для диатомистов, панцири диатомовых водорослей сохраняются в неизменном состоянии практически неограниченное время, в результате чего основная часть коллекций передается из поколения в поколение. Это означает, что у нас всегда сохраняется возможность вернуться к оригинальному материалу для того, чтобы проверить его идентичность исследуемому образцу.

Ранние описания видов диатомовых неизбежно были ограничены возможностями микроскопов того времени. Теперь же мы можем получить световые микрофотографии этих видов намного лучшего качества, а, кроме того, использовать электронную микроскопию для изучения их тонкого строения. Более того, мы также можем проверить филогенетические взаимоотношения между систематическими таксонами и другими методами, например, методами молекулярной биологии.

Но вернемся к роду *Aulacoseira*. По описаниям путешествия Георги мы можем довольно точно установить место в долине реки Баргузин, в котором он в свое время отобрал пробы. Благодаря проекту INTAS, поддерживающему связи между исследователями из различных стран, мы получили возможность работать вместе с немецкими коллегами. Был найден первичный материал в коллекции Эренберга в Берлине и проанализирован в сканирующем электронном микроскопе. К нашей



Баргузин. Фото В. Урбазаева

большой радости было обнаружено, что створки диатомовых в нем прекрасно сохранились, так, как будто этот материал был собран сегодня.

В том же 1843 году, когда Эренберг описал вид *A. granulata*, обнаруженный в почвах острова Ньюфаундленд, он также обнаружил его и в пробах из долины реки Баргузин. И сейчас мы получили практически уникальную возможность увидеть и детально исследовать то, что понимал под этим видом Эренберг более 160 лет назад!

Посмотрите — эта невидимая на первый взгляд, широко разветвленная сеть, связывающая ученых из разных стран, смежных или даже отдаленных специальностей, простирается из восемнадцатого века до наших дней. Прикасаясь к препаратам, с любовью сделанным нашими коллегами уже столетия назад, мы не только уменьшаем пробелы в наших знаниях, но и сами становимся частицей того непрерывного потока научной мысли, который связывает наш сегодняшний день с днем будущим.

При подготовке иллюстраций использованы фото образцов из коллекции Эренберга (Музей естественной истории, г. Берлин)



Симпозиум «Живая клетка диатомовых водорослей», посвященный 100-летию со дня рождения А. П. Скабичевского Иркутск, Лимнологический институт СО РАН, 17–22 сентября 2004 г.

Известный русский альголог А. П. Скабичевский (1904—1991) родился в С.-Петербургской губернии в семье учителя. Окончил педагогический факультет Иркутского университета. С 1927 по 1938 г. проводил научные исследования на Байкале. Автор 119 работ, охватывающих вопросы систематики, экологии и эволюции водорослей. Более 40 из них посвящено исследованию водорослей Байкала и Прибайкалья. Описал 3 новых рода и свыше 40 новых для науки видов и внутривидовых таксонов водорослей из водоемов Сибири.

На симпозиуме предполагается обсудить последние достижения в области изучения живой клетки диатомовых водорослей, отойдя от традиционных форм проведения дискуссий.

Планируется обсудить широкий спектр вопросов, касающихся механизмов переноса кремния и производства клеточных панцирей водорослей; жизненного цикла и размножения клеток диатомовых, функционирования диатомовых в океанах и великих озерах.

Предполагается взглянуть на живую диатомовую клетку с разных позиций, в том числе — как на клеточную структуру с кремневой стенкой, как на модель для изучения биоразнообразия, образец для структурной и молекулярной инженерии и нанотехнологий; обсудить генетику, физиологию и широкие адаптационные возможности диатомовой клетки.

Запланирована водная экскурсия на озеро Байкал с остановками в живописных местах и отбором проб диатомовых водорослей, экскурсия на Лимнологическую станцию в Большие Коты, в Байкальский музей и Музей деревянного зодчества.

В следующем номере

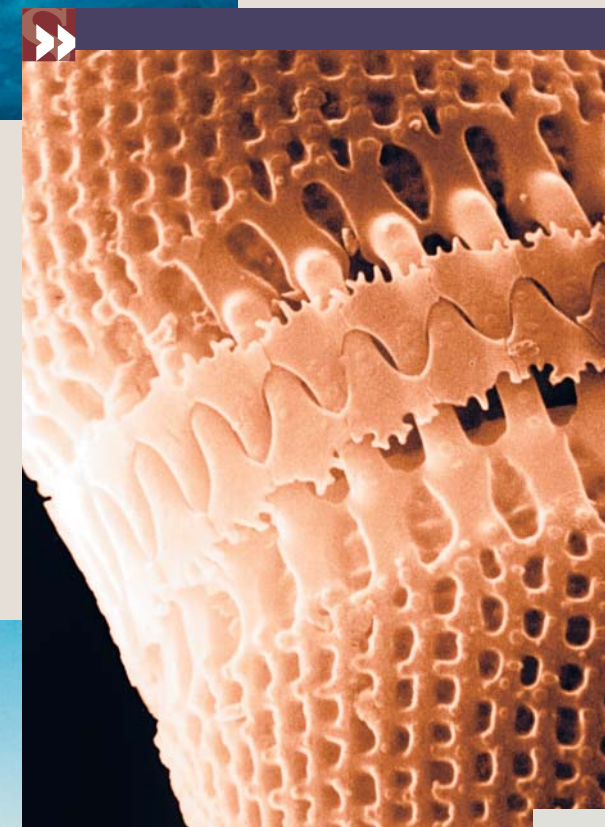
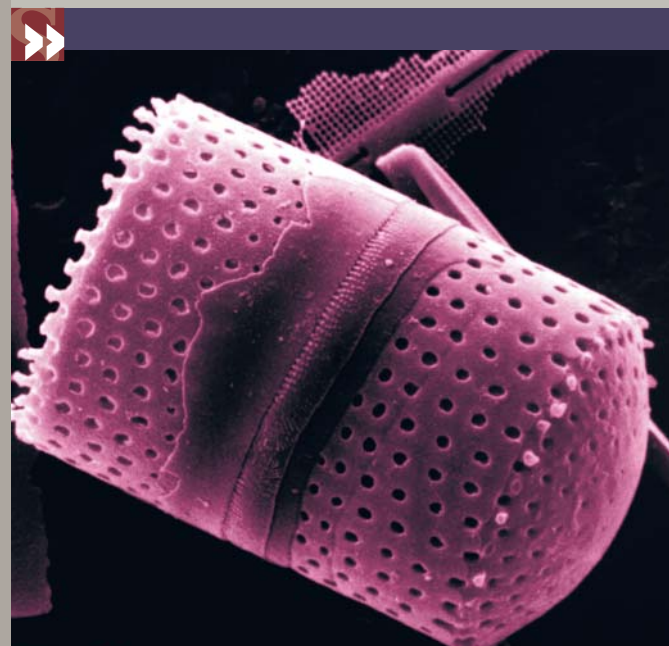
В результате глубинного бурения на озере был поднят первый образец байкальских газогидратов — льдоподобной смеси из газа и воды. Каждый объем такого гидрата может содержать до 150—180 объемов газа! Обычно газовые гидраты находят в зоне вечной мерзлоты или в морских и океанических отложениях. Байкал является единственным местом на Земле, где газогидраты были обнаружены в пресноводных отложениях.

Метан, содержащийся в гидратах, может играть значительную роль в глобальных климатических системах, поскольку он более чем в 20 раз эффективнее для создания «тепличного эффекта», чем углекислый газ. Дестабилизация газовых гидратов может также приводить к таким катастрофическим явлениям, как оползни, цунами, затопление прибрежных территорий. Но, с другой стороны, газогидраты — это потенциальный источник топлива, может быть — «альтернативный» источник энергии для будущих поколений, поскольку запасы метана в гидратной форме огромны. История открытия выходов газов и газовых гидратов на Байкале, современные исследования уникальных пресноводных метаново-гидратных образований — в следующем выпуске журнала в статье **Яна Клеркса** «Газогидраты пресноводного океана».

В следующем номере

Отличительной особенностью Байкала является мощная толща донных осадков, которая в Южной и Центральной котловинах озера достигает 8 км. Осадочные отложения Байкала содержат единственную непрерывную запись изменений климата евроазиатского континента за последние 30 млн лет. Ключом к расшифровке палеоклиматической записи служат захороненные в осадках кремнистые панцири диатомовых водорослей. На долю этих одноклеточных организмов, составляющих значительную часть фитопланктона, приходится до 20—40 % от всей первичной органической продукции, включая наземные растения! Поскольку клеточные стенки диатомей прекрасно сохраняются в донных отложениях озер, морей и океанов, по ним можно отслеживать изменения условий окружающей среды в прошлом.

Идея использовать донные осадки Байкала для изучения прошлого Северного полушария нашей планеты воплотилась в международном проекте «Глобальные изменения природной среды и климата Центральной Азии на основе исследования осадков озера Байкал». В его подготовке и реализации активное участие приняли сотрудники Лимнологического института, Института геохимии Сибирского отделения Российской академии наук. Большую финансовую помощь оказали зарубежные научные организации. Государственным научно-производственным предприятием «Недра» был разработан



и собран комплекс для бурения. С 1997 года было пробурено 5 кустов скважин глубиной от 100 до 670 метров. По содержанию остатков разных видов диатомей в озерных отложениях удалось установить несколько тысячелетних климатических циклов, связанных с положением Земли на Солнечной орбите. Подробности о нелегких работах по глубоководному бурению, о научных результатах, которые удалось «извлечь» из уникальных образцов керна, в следующем номере журнала с нами поделится один из главных организаторов и непосредственных участников проекта директор Института геохимии СО РАН академик **Михаил Кузьмин**.

