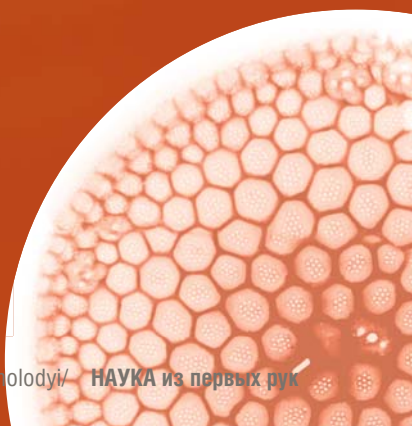
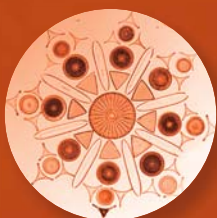


БИОЛОГИЯ
И ЭВОЛЮЦИЯ



«... Почти
бессмертны
и всегда
молоды»»



Линда МЕДЛИН,
д-р, Институт
полярных и морских
исследований
им. А. Вегенера
(Бремерхафен,
Германия)



Пэт СИМС, д-р,
Музей естественной
истории (Лондон,
Англия)

Л. МЕДЛИН, П. СИМС

230
МИЛЛИОНОВ ЛЕТ

ПОД ВОДОЙ

Говорят, что диатомовые водоросли живут в стеклянных домиках. И действительно, уникальная особенность этих одноклеточных организмов — панцирь из прозрачного кремнезема, состоящий из двух частей, одна из которых как крышка накрывает другую. Через отверстия в стенке живая клетка обменивается химическими сигналами с окружающим миром и получает пищу, кислород и углекислый газ для фотосинтеза.

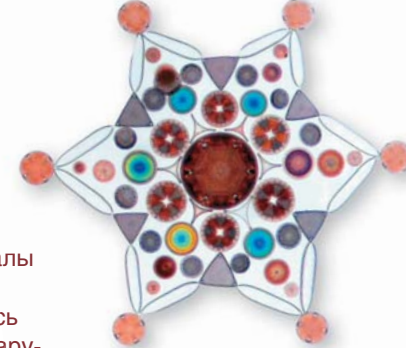
Чтобы разделить половинки коробочки и соединяющие их пояски, и изучить их в деталях, клетки диатомей кипятят в кислоте. Пустые клеточные стенки заливают смолой с высоким коэффициентом преломления — это позволяет лучше рассмотреть их орнамент. В зависимости от мощности микроскопа в строении клеточных стенок можно увидеть большее или меньшее количество деталей, по которым определяется вид диатомей.

После гибели диатомей их пустые прочные кремнистые створки прекрасно сохраняются в осадках. Причем зачастую неповрежденными остаются даже мельчайшие элементы структуры ископаемых стенок диатомей, что позволяет идентифицировать их до вида спустя миллионы лет.

С помощью метода молекулярных часов удалось установить, что диатомовые появились около 230 млн лет назад. Вероятно, первые диатомеи были обнаженными жгутиковыми клетками (в настоящее время их относят к Heterokonta — разножгутиковым, так как на некоторых стадиях жизненного цикла они имеют один жгутик с тончайшими волосками).

Самые ранние отложения диатомей были найдены в Корее в осадках, сформировавшихся на суше. Была высказана гипотеза, что океан, отступивший около 230 млн лет назад, оставил за собой лужи, где и обитали жгутиковые диатомеи. Они стали использовать кремнезем, тормозящий процесс старения, чтобы переживать в стадии покоя неблагоприятные условия.

Древние диатомеи потребляли так много кремнезема, что он начал осаждаться в клетках, по-видимому сначала в виде маленьких чешуек, которые выдавливались из клеток и создавали вокруг них защитную оболочку, препятствующую обезвоживанию при высыхании мелко-



Узор из диатомей
на предметном
стекле
микроскопа

Стенки диатомей настолько малы и прозрачны, что их удалось впервые обнаружить тогда, когда был изобретен микроскоп — в XVII в. А в следующие столетия стенки диатомей уже использовали для оценки качества линз микроскопов. По мере совершенствования микроскопа удавалось наблюдать все новые и новые детали строения диатомовых стенок.

В XIX в. в Германии, Англии, Франции и Америке было налажено серийное производство микроскопов, в результате чего они появились в домах большинства представителей среднего класса. Микробиологи того времени интересовались различными мельчайшими биологическими объектами. Препараты панцирей диатомовых считались ценным приобретением, что ускорило обмен информацией об их строении между энтузиастами, членами обществ микробиологов, которых было много тогда в больших городах. Данные диатомистов-любителей публиковались в периодических научных журналах.

Постоянными препаратами диатомей обменивались так, как сейчас обмениваются марками. Индивидуальные клетки обводились на стеклах кружками с помощью алмазного реза. Диатомисты всю торговлю порошками высушенного материала диатомей, снабженного этикетками с указанием объекта и места находки. Некоторые продавали орнаменты, составленные в виде рядов или узоров из одиночных клеток и сопровождавшиеся списком с названиями видов.

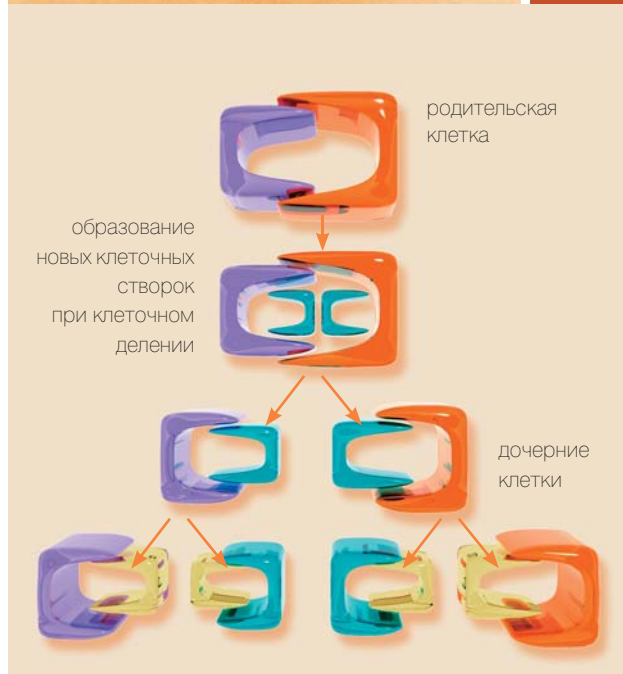
Клетки выбирали вручную, используя волоски из ресниц свиньи или микроманипулятор, а затем помещали их на предметное стекло микроскопа с мельчайшей капелькой смолы кустарника трагаканта с высоким индексом преломления. Чтобы зафиксировать препарат, достаточно было просто подышать на стекло — смола застывала, удерживая клетки в определенном положении.



У центрических диатомей узоры на лицевой части створки располагаются радиально, как спицы колеса (а)



У пеннатных видов через середину створок проходят длинные ребра, от которых идут ряды ареол, подобно перу птицы (б)



Для клеток, заключенных в стеклянные коробочки, непросто осуществлять основные для организма функции, связанные с ростом и воспроизводством. Так, при обычном делении клетки с течением времени становятся все меньше и меньше, поскольку новые части коробочек производятся внутри родительских клеток жестко фиксированного размера. На схеме слева показаны результаты 2-х последовательных клеточных делений
 В публикации использованы фотографии авторов

орнаментированные клеточные стенки, которые соединялись в цепочки. Судя по их тяжелым створкам, они обитали в морских прибрежных зонах с турбулентным потоком воды.

Отложение створок диатомей происходило во все геологические периоды вплоть до настоящего времени. Сегодня диатомей встречаются во всех природных водах и на любых постоянно увлажненных твердых поверхностях, поэтому было бы справедливо сказать, что каждый второй глоток кислорода, который мы вдыхаем, создан этими невидимыми тружениками.

Но этим роль диатомовых в биоценозах не ограничивается. Диатомей поедаются зоопланктоном. Как создатели первичной органической продукции мирового океана они являются главными участниками глобальных циклов биогенных элементов, образуя основу пищевых цепей водных экосистем.

К настоящему времени у двух видов диатомей полностью расшифрована наследственная информация. Структура геномов указывает на то, что диатомей — наполовину животные, наполовину растения. Кстати сказать, вопрос о систематическом положении диатомей — принадлежат ли они к растительному или животному царству — широко обсуждался еще первыми диатомистами. Этот факт отражает эволюционную историю диатомовых: много миллионов лет назад некое жгутиковое одноклеточное животное поглотило одноклеточную водоросль и заимствовало у нее фотосинтезирующие органы, хлоропласты, сохранив их для себя в качестве неисчерпаемого источника пищи.

Поэтому в диатомеях обнаружены как гены, принадлежавшие животному-хозяину, так и гены поглощенной водоросли. Они умеют производить мочевины в точно-

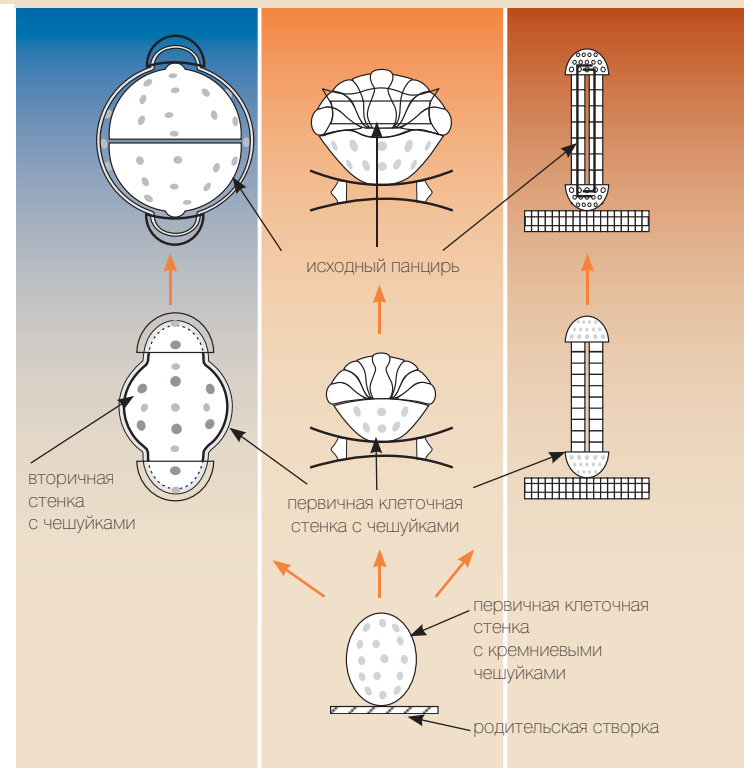
Путем анализа геномов установлено, что диатомей распадается на три группы: две центрические (I, II) и одну пеннатную (III). Расположение ареол (отверстий) на клеточных стенках диатомовых из групп I и II — радиальное, хотя форма клеток группы II уже не цилиндрическая. У зигот групп II и III имеются особые ободки, которые ограничивают рост зиготы по некоторым направлениям, в результате чего образуются клетки разных форм и типов симметрии. Процесс полового размножения по группам также различается. У всех центрических диатомовых имеются истинные сперматозоиды и яйцеклетки, пеннатные диатомей образуют пару половых клеток, одна из которых неподвижна, а вторая может двигаться подобно амebe

ГРУППЫ ДИАТОМОВЫХ

I-II — ЦЕНТРИЧЕСКИЕ III — ПЕННАТНЫЕ

СТАДИИ РАЗВИТИЯ АУКСОСПОРА

зрелая аукоспора
 незрелая аукоспора
 зигота

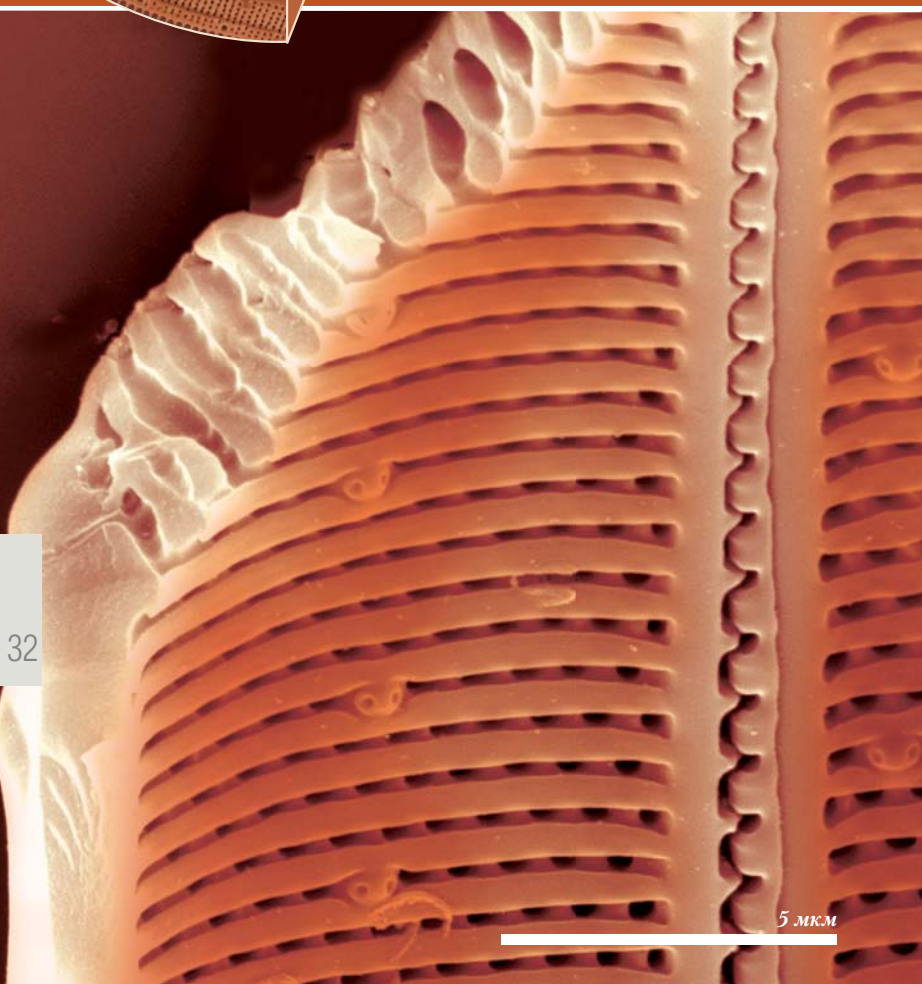


водных водоемов. В конце концов две чешуйки превратились в створки панциря, соединенные друг с другом подобно половинкам капсулы для лекарств, а остальные — в поясковые ободки, соединяющие створки.

По характеру узоров ребер и пор на лицевой части створки диатомей можно разделить на две большие группы — центрические и пеннатные. Однако анализ родственных взаимоотношений путем сравнения геномов показал, что диатомовые водоросли разделяются не на две, а на три группы. Две из них являются центрическими, а одна — пеннатной, причем каждой группе свойственен и определенный тип полового размножения. На молекулярных родословных деревьях диатомовых самая ранняя форма — современный морской род *Ellerbeckia*, прежде обитавший в водоемах суши. Это подтверждает наземное, а не океаническое происхождение диатомей. Следующие ископаемые формы — уже исключительно морские — начинают встречаться с периода раннего мела. Похоже, ранние наземные диатомей были смыты в океан, когда его уровень вновь поднялся. Эти диатомей очень сильно отличались от современных, имея необычайно толстые,

сти так же, как это делают животные, но, в отличие от последних, ее не выделяют, а используют как исходное вещество для синтеза. Зачем они это делают, пока непонятно. Более того, сегодня ученым удалось определить назначение лишь около 60 % идентифицированных у диатомей генов. И кто знает, какие еще продукты вырабатывают оставшиеся неопознанными гены? Древние и по существу бессмертные, диатомей не перестают нас удивлять...

Поскольку в результате обычного клеточного деления клетки диатомовых водорослей уменьшаются в размерах, то, в конце концов, они могли бы стать такими маленькими, что не смогли бы выжить. Но этого, к счастью, не происходит. Эволюция обошлась с диатомеями милостиво: они изобрели способ вновь становиться из маленьких большими — с помощью полового размножения с образованием так называемых аукоспор (растущих спор). Во время полового процесса клетки сбрасывают стенки, становясь гаметами (мужскими либо женскими), находят партнера и сливаются, образуя зиготу — аналог младенца. Обнаженная зигота набухает и увеличивается в размерах благодаря большой центральной вакуоли — полости, постепенно заполняемой водой. Став достаточно большой, клетка заново формирует кремнистые створки и снова вступает в обычный жизненный цикл



Р. КРОУФОРД: Кайнозойские и мезозойские осадки (35 и 65 млн лет соответственно) представляют собой столь мощные пласты отложений, что остается только поражаться, представляя себе моря и океаны в то время. Жизнь, кипевшая в прибрежных зонах, оставила такое количество отмерших створок диатомовых, сконцентрированных на больших глубинах, что и сегодня их добывают в промышленных масштабах.

Некоторые рода сохранились и процветают в настоящее время, спустя десятки миллионов лет после первого появления и, более того, имеют двойников в современных сообществах.

У некоторых колониальных вымерших диатомей, история которых прослеживается до мелового периода (более 65 млн назад), мы обнаружили массивные, иногда весьма замысловатые элементы структуры створок, конструктивно зачастую гораздо более сложные, чем нужно для предотвращения разделения клеток. Это подтолкнуло нас к изучению сил, действующих на клетки в бурной водной среде...

Подробнее на стр. 47

◀ Древний морской род *Ellerbeckia* отличается крайне тесным соединением сестринских створок. Фото Р. Кроуфорда

Миллионы лет назад некое жгутиковое одноклеточное животное поглотило водоросль, сохранив для себя ее фотосинтезирующие органеллы в качестве неисчерпаемого источника пищи

Хлоропласты из группы внедрения: история одного открытия

Н. И. СРЕЛЬНИКОВА

ИЗ ИСТОРИИ ДИАТОМОЛОГИИ



Нина Ивановна СРЕЛЬНИКОВА, д. б. н., кафедра ботаники биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета

Русские ученые внесли немалую лепту в исследования диатомовых водорослей. Особо хочется выделить работы К. С. Мережковского, а конкретно — его важнейшие общепроизводственные выводы об эволюционной роли симбиоза и происхождения организмов.

Основные теоретические воззрения Мережковского в этой области сформировались при изучении хлоропластов диатомовых водорослей, в которых осуществляется фотосинтез. «...Ни в одной группе растений хроматофоры не играют такой выдающейся морфологической роли и не приобретают поэтому такого значения и интереса, как в классе диатомовых водорослей...

Перед нами точно открывается какой-то особый, своеобразный и в высшей степени любопытный мир явлений; внутри клетки диатомовых мы встречаемся как будто с какими-то самостоятельными и независимыми от клетки организмами, живущими в ней точно гости, развивающиеся по своим законам, делящиеся и размножающиеся, не справляясь с самой диатомовой, находясь в зависимости от нее лишь постольку, поскольку вообще организмы находятся в зависимости от окружающей их среды. Ничего подобного, по крайней мере в таких грандиозных размерах, мы нигде в растительном царстве не встречаем» (1906).

Новаторская статья Мережковского «О природе и происхождении хроматофоров в царстве растений», навсегда вписавшая его имя в историю науки, появилась в 1905 г. В ней он четко сформулировал гипотезу о том, что хлоропласты — суть фотосинтезирующие организмы-симбионты, внедрившиеся в клетку и ставшие там главными поставщиками питательных веществ, и предложил собственный термин «симбиогенез».

В 1909 г. он публикует статью «Теория двух плазм как основа симбиогенеза, нового учения о происхождении организмов», где пишет: «Если существуют две принципиально отличные по своим свойствам плазмы и соответственно этому два мира органических существ, то это может быть объяснено только тем, что обе эти плазмы

возникли независимо друг от друга и притом при совершенно различных условиях, а следовательно, в разные эпохи истории земли». Нужно заметить, что разделение всего органического мира на две основополагающие группы — прокариотов и эукариотов — было предложено французским исследователем Э. Шаттоном лишь спустя 16 лет! Мы можем только удивляться поразительному научному видению Мережковского и радоваться тому, что изучение именно диатомовых водорослей привело его к этим выдающимся открытиям.

Вообще же история любой отрасли науки состоит из этапов, которые определяются основными открытиями и достижениями на тот или иной период. Последние в конечном счете обусловлены уровнем развития общества и техническими возможностями, однако главной движущей силой научного процесса всегда были и будут люди. Личности, которых влечет неведомое, заставляя постоянно искать ответы на вопросы «почему» и «как».



К. С. Мережковский (1855—1921)

Написать историю диатомологии — задача неподъемная, и трудности связаны главным образом с тем, что слишком мало сохранилось сведений об ученых, способствовавших накоплению и систематизации знаний о мире диатомей. В кратком очерке невозможно даже упомянуть имена всех исследователей, поскольку в этом случае он превратился бы в словарь-справочник. Создание же развернутой истории диатомологии с подробными данными об исследователях должно стать одной из задач Международного общества диатомологов, под эгидой которого в разных странах раз в два года проводятся международные диатомовые симпозиумы.

СИБИРЬ

ПОД МИКРОСКОПОМ

Р. ЯН, В.-Х. КУЗБЕР



Регина ЯН, д.-р.,
Ботанический сад
и Ботанический
музей
Свободного
берлинского
университета
(Берлин-Далем,
Германия)



Вольф-Хеннинг
КУЗБЕР,
д.-р., Ботанический
сад и Ботанический
музей Свободного
берлинского
университета
(Берлин-Далем,
Германия)

Эренберг так напишет позднее о своей русской экспедиции: «Господин барон Александр фон Гумбольдт путешествовал в некоторые области России вплоть до границ Китайской “Дзунгари” [сегодня это провинция Северного Китая Хиньян. — *Ред.*] ... У меня появилась возможность изучить немалую часть земной суши ... во время путешествия я неустанно изучал географическое распределение самых малых форм жизни на этой огромной территории» (1830). «...Я был глубоко поражен тем миром микроскопических форм, о котором столь мало было известно в прошлом...» (1838).

Гумбольдт был приглашен Николаем I для изучения природных и минеральных ресурсов Урала и Сибири. Путешествие началось 12 апреля 1829 г. и продолжалось почти девять месяцев. На всем пути немецких путешественников встречали и сопровождали российские ученые. Однако интересы Эренберга несколько отличались от интереса его коллег: всю дорогу он занимался отбором проб во множестве встречающихся по дороге водоемах, включая реки Неву, Волгу, Урал, Иртыш, Обь.

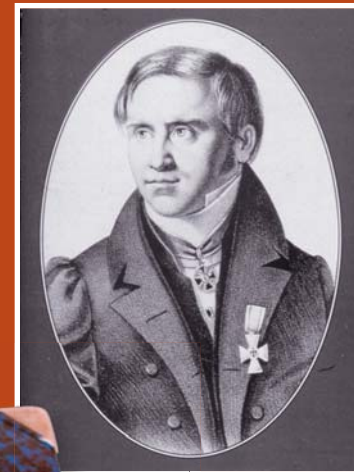
И в каждой капле воды он вновь и вновь сталкивался с миром удивительных микроскопических созданий. В своей публикации о Сибири, вышедшей сразу после окончания путешествия, Эренберг так определит эти формы жизни: «Инфузории, являющиеся самыми

Когда известный путешественник и ученый А. Гумбольдт предложил профессору Х. Г. Эренбергу сопровождать его в путешествии по России, тот был уже известен как молодой перспективный биолог, собравший и описавший множество видов животных и растений в Северной Африке и на Ближнем Востоке. Излюбленным объектом исследования Эренберга были микроскопические организмы, объединяемые в то время под названием «инфузории»

мельчайшими жгутиковыми организмами, не представляют собой лишнюю структуры слизи, они обладают определенной организацией, по крайней мере, у них имеется рот, система пищеварения» (1830). В состав «инфузорий» ученый включал все микроскопические организмы — не только диатомовые водоросли, но и бактерии, бесцветные и окрашенные жгутиковые, даже колловраток. Он был уверен, что видит сложные организмы, поэтому наделял их органами, которые есть у обычных животных. И в этом смысле точка зрения Эренберга значительно расходилась с общепринятой в то время, согласно которой микроскопические организмы не имели определенных форм и возникали из ничего.

В стремлении доказать миру правильность своих исследований Эренберг делал все, чтобы полученные им данные могли быть перепроверены. Он всегда старался привезти образцы в Берлин, а после поездки в Сибирь начал составлять коллекцию препаратов «инфузорий», в основном диатомовых водорослей, всегда привлекавших его особое внимание, о которых он писал, что их створки слагают прочные почвы, камни и скалы.

Отбирая живые клетки и помещая их в пробирку, Эренберг научился культивировать микроорганизмы для изучения их *in vivo*. Ему удалось создать, по его словам, «изящную коллекцию живых инфузорий», которую он хранил на подоконнике, чтобы они могли перезимовать.



Христиан Готфрид ЭРЕНБЕРГ (1795—1876) — немецкий натуралист-зоолог, широко известный своими работами по морфологии, физиологии и систематике микроорганизмов. Крупнейший коллекционер своего времени, которого современники называли «Мистер микроскоп». Был иностранным член-корреспондентом и почетным членом Петербургской Академии наук





Микроскоп Х.Г. Эренберга

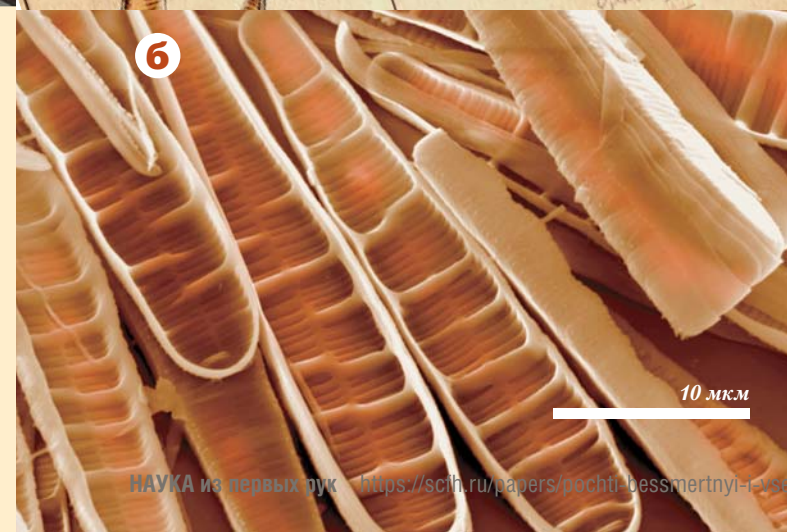
Во время своих путешествий Эренберг постоянно пользовался микроскопом. Днем отбирал образцы, а вечером и ночью зарисовывал их на маленьких листках бумаги, отмечая названия места отбора проб. Позднее Эренберг наклеивал эти маленькие рисунки на обычные листы. Эренберг писал, что ему удалось зарисовать мертвых неподвижных инфузорий, имеющих размер 1/4000 парижской линии, то есть около 0.6 микрон.

Рисунки и письма Эренберга к счастью пережили Вторую мировую войну и теперь хранятся в коллекции Эренберга в Берлине (Музей естественной истории Университета им. А. Гумбольта). Недавно они были оцифрованы и помещены в базу данных куратором коллекции Д. Лазарусом и его сотрудниками

Музей естественной истории в Берлине. Справа — часть здания Музея, пострадавшая во время Второй мировой войны



Дочери Х.Г. Эренберга. Одна из дочерей, Клара, составляла описи рисунков диатомовых водорослей, сделанных ее отцом



Образцы диатомей из коллекции Х.Г. Эренберга



Диатомовую водоросль *Meridion circulare* Эренберг обнаружил в Волге возле г. Саратова. а — рисунок Эренберга б — сканирующая электронная микроскопия

Эренбергу хотелось выяснить, являются ли инфузории космополитами — гражданами мира. Его удивительно верный и продуманный вывод приведен в книге «Infusionstierchen» («Инфузории»), также посвященной путешествию в Сибирь: «Доказано, что инфузории живут на всех 4-х континентах и в океане. В самых удаленных друг от друга частях света могут встречаться одинаковые виды... Географическое распределение инфузорий на земле подчиняется тем же законам, что и законы распределения других живых существ — от севера к югу разнообразие таксонов возрастает, а при перемещении с востока на запад разнообразие остается постоянным» (1838)



Эренберг не устал повторять, что инфузории не могут самозарождаться: «Исследование инфузорий показало, что их размножение происходит путем деления. Эти формы устойчивы и переносятся течениями и ветром. Говоря образно, они почти бессмертны и всегда молоды. Они способны делиться бесконечно, оставаясь юными несчетное множество лет» (1838)



«Соавторы» Дарвина

Д. Вильямс



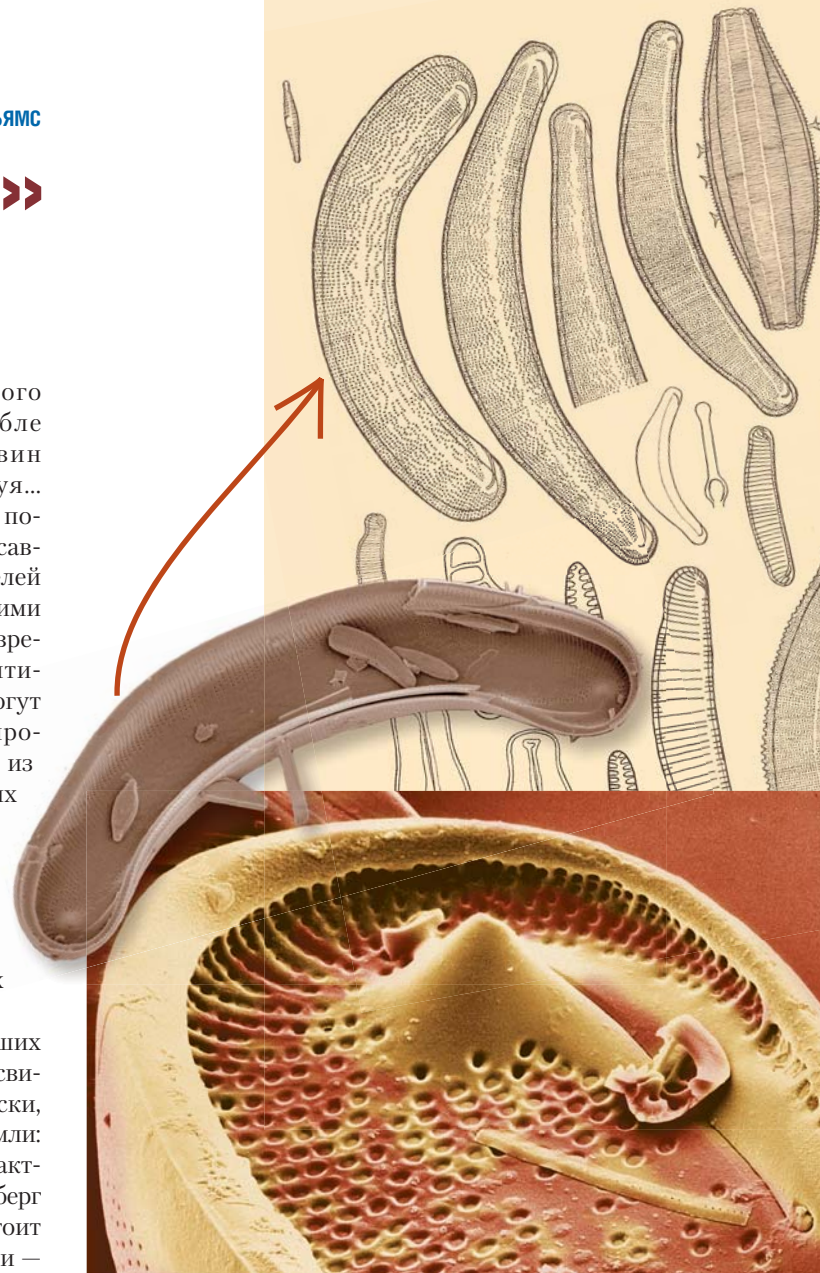
Дэвид Вильямс, д-р, отдел ботаники Музея естественной истории (Лондон, Англия)

После своего знаменитого путешествия на корабле «Бигль» Чарльз Дарвин напишет: «Путешествуя... в качестве натуралиста, я был поражен некоторыми фактами, касавшимися распределения обитателей Южной Америки, и геологическими связями между прежними и современными жителями этого континента. Факты эти... кажется, могут пролить некоторый свет на происхождение видов — эту тайну из тайн, по словам одного из наших величайших философов» (1839).

Таким образом источником вдохновения для создателя эволюционной теории стала биогеография и «натуральная история» организмов: «брак», заключенный между ними, поставил эволюцию в ряд жизнеспособных концепций и выполнимых исследовательских программ.

В число обитателей континента, столь впечатливших эволюционного классика, входили и диатомеи, о чем свидетельствуют замечания Дарвина относительно краски, которую наносили на свои лица жители Огненной Земли: «Это вещество, если его высушить, достаточно компактно и имеет небольшой удельный вес: профессор Эренберг исследовал это вещество... и утверждает, что оно состоит из инфузорий [в число которых входили диатомеи — *Red.*]... Он говорит, что все эти существа — обитатели пресных вод...». Далее Дарвин отмечает, что Эренберга особенно поразил тот факт, что виды в этом веществе, хотя и были отобраны в самой южной точке Огненной Земли, относятся к уже описанным, хорошо известным и широко распространенным формам (1860).

Позднее Эренберг сделает несколько обобщающих комментариев относительно географического распределения диатомей: «... Скалистые горы [Кордильеры — *Red.*] представляют собой более высокий барьер между двумя частями Америки, чем Тихий океан — барьер между Америкой и Китаем; формы инфузорий из Орегона и Калифорнии совершенно отличны от тех, которые можно найти к востоку от горных хребтов, но они отчасти идентичны тем, которые найдены в Сибири» (1849).



По современным оценкам в Байкале из 500 таксонов бентосных диатомей половина эндемична, то есть обитает только в этом озере. В их числе — вид *Eunotia lacusbaicalii*, описанный еще в начале XX в. русским ученым Б. В. Скворцовым. Фото Д. Вильямса

Исследования характера географического распределения, родства и различий между разными формами диатомей, продолженные рядом известных ученых-диатомистов, остаются актуальны и сегодня, поскольку позволяют пролить свет не только на ход эволюции этой важной группы, но и на векторы глобальных экологических и геологических изменений на планете