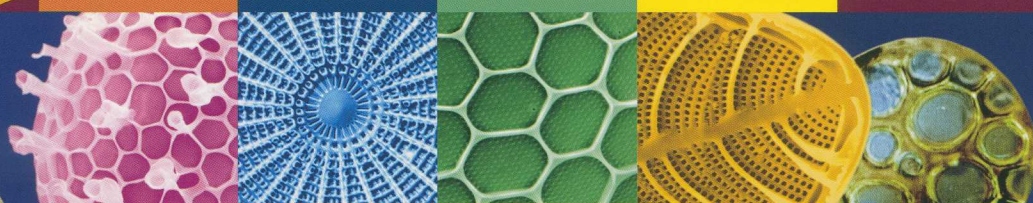


Познавательный журнал для хороших людей

# НАУКА

из первых рук

4<sup>(10)</sup> ● август 2006



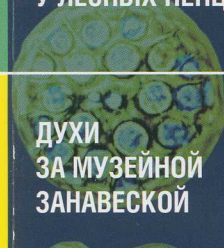
СТРОИМ  
ДОМ ИЗ КРЕМНЯ



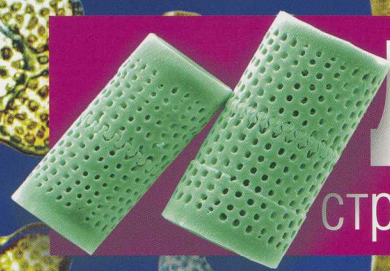
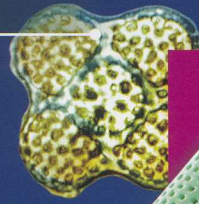
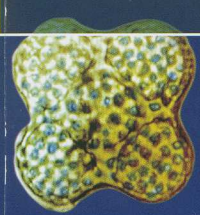
ИОННЫЙ ЩИТ  
ВИРУСА ГРИППА



МЕДИЦИНА  
У ЛЕСНЫХ НЕНЦЕВ

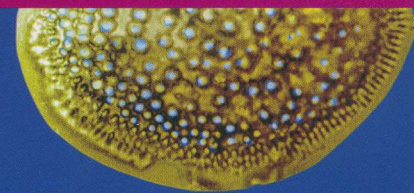
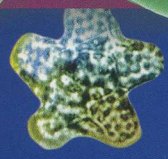
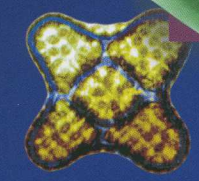


ДУХИ  
ЗА МУЗЕЙНОЙ  
ЗАНАВЕСКОЙ



## ДИАТОМЕИ:

строители стеклянных замков



ISSN 1810-3960  
9771810396003 10

Р. М. КРОУФОРД, И. ГИБШУБЕР

# ГАРМОНИЯ КРАСОТЫ И

Быть «единицами» или быть «раздельными» — для биологических объектов не альтернатива, но один из фундаментальных принципов существования. Низшие одноклеточные организмы поддерживают физическую общность, формируя колонии, клетки высших организмов — ткани. Казалось бы, в пике этим приверженцам «общественного» образа жизни диатомовые водоросли, обучившиеся в ходе эволюции формировать твердую клеточную стенку, должны быть настоящими индивидуалистами. Однако это далеко не так. Правда, единственный путь сохранения единства, доступный для диатомовых, — оставаться после клеточного деления связанными друг с другом, формируя своеобразные цепочки. И интерес человека к механизмам, удерживающим вместе этих обитателей «стеклянных домиков», далеко не бескорыстен...



Ричард М. КРОУФОРД, д-р, Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера (Бремерхафен, Германия)



Илле ГИБШУБЕР, д-р, Институт общей физики, Венский технологический университет (Вена, Австрия)

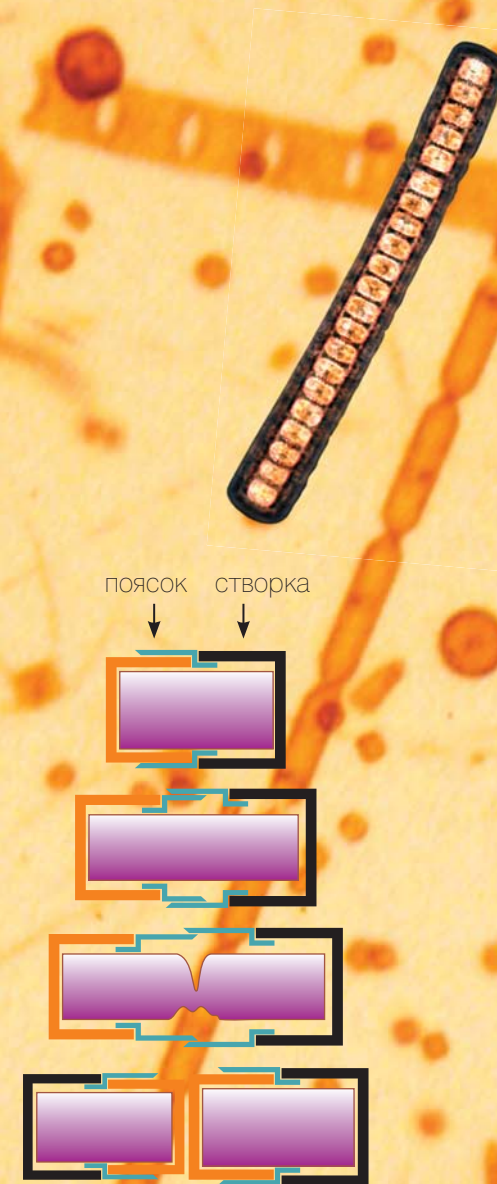
То, что животные способны двигаться, а растения неподвижны, — общеизвестно. Однако те же самые растения, как сухопутные, так и водные, могут перемещаться своеобразным способом — с помощью пыльцы, семян или, в некоторых случаях, отдельными вегетативными частями родительского организма.

Обращаясь к жизни одноклеточной водоросли, заметим, что после каждого клеточного деления вновь образовавшиеся клетки-близнецы могут либо остаться соединенными, либо отправиться в разные стороны на поиски своей судьбы. В каждом случае есть свои плюсы и минусы. При благоприятном окружении дочерним клеткам выгодно не обособляться, а оставаться вместе в «родительском гнезде», прикрепленными к субстра-

ту. Да и при переходе к половому размножению такая стратегия увеличивает вероятность встречи мужских и женских клеток. С другой стороны, в местообитаниях с бурным характером или бедных питательными веществами разделение клеток способствует расселению популяции и расширению участка обитания.

Нужно отметить, что среди диатомей мы можем встретить оба жизненных варианта, причем зачастую колониальные виды соседствуют с одноклеточными. Цепочки клеток могут прикрепляться к растениям, песчинкам, камням и скалам, или даже свободно «парить» в воде. Но во всех случаях клетки диатомей должны противостоять различного рода сильным воздействиям со стороны внешней среды. Как же они это делают?

# ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ

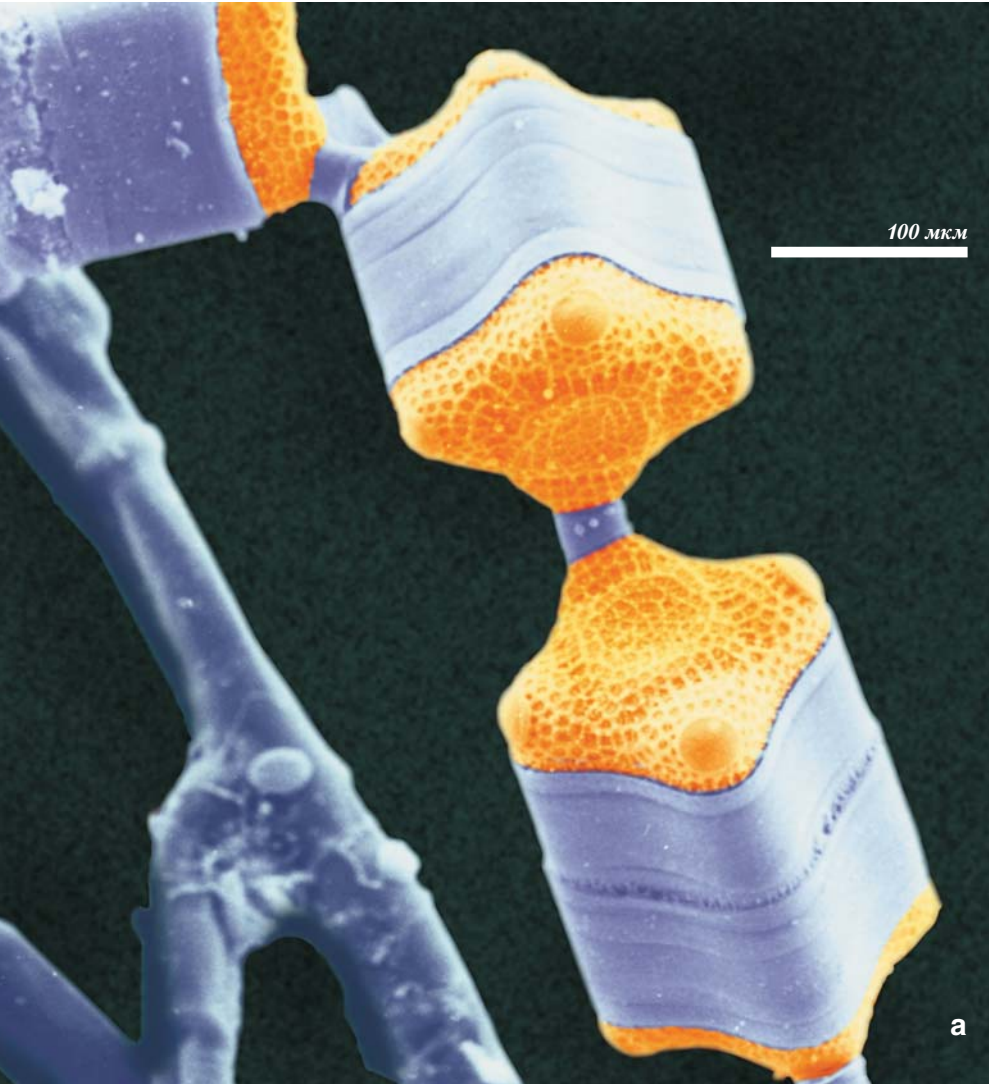


После каждого клеточного деления диатомей вновь образовавшиеся клетки могут остаться соединенными

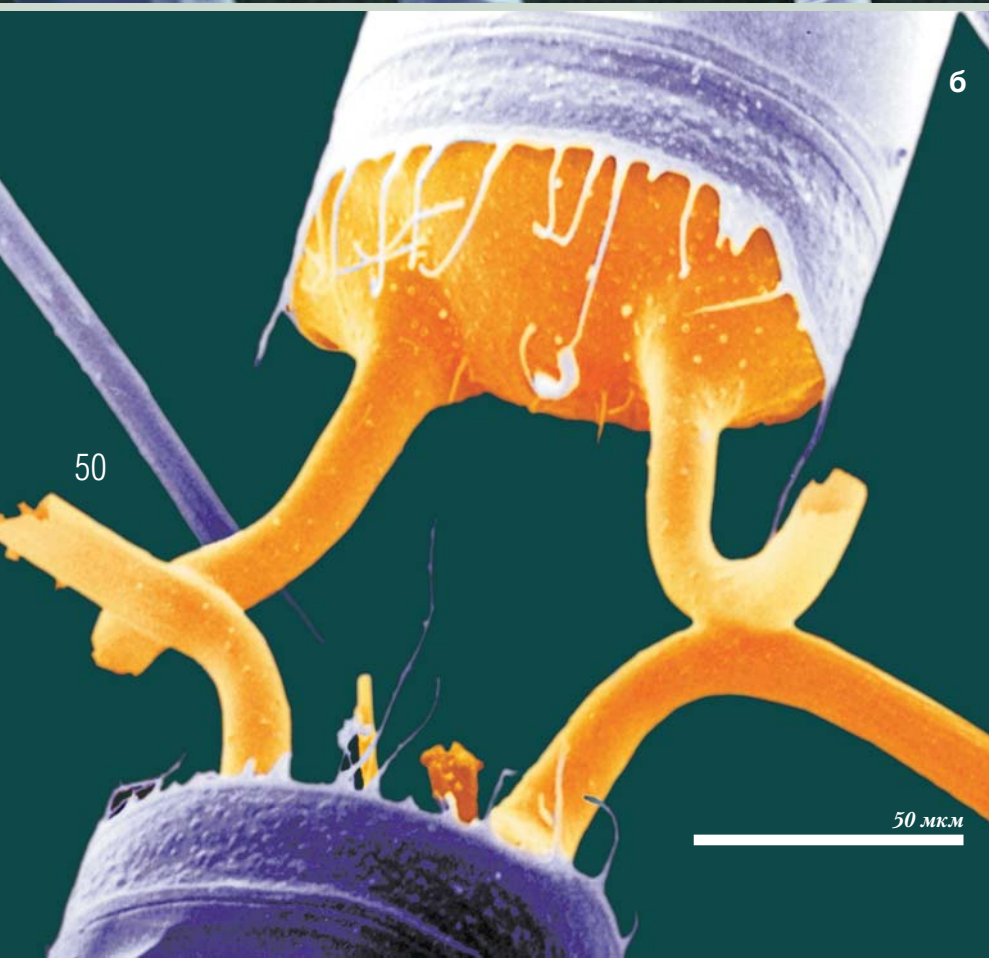
Трибология (от греч. *tribos* — трение) — раздел инженерии, занимающийся поверхностями, движущимися относительно друг друга (подшипники, шестеренки и т. п.); их устройством, взаимодействием (трением, адгезией), смазкой, износом... — это одновременно и наука, и технология, и практика. В последние годы прочные позиции завоевывают микро- и нанотрибология, имеющие дело с функциональными элементами размером от 100 мкм до десятков нанометров. И это неудивительно — понимание феноменов трения в этом масштабе необходимо для создания новых продуктов бурно развивающихся современных технологий (кремниевые технологии, производство наноэлектромеханических систем и т. п.).

Цель биотрибологии — сбор информации о процессах взаимодействия между элементами биологических систем, а также приложение этих знаний к разработке технологических продуктов, близких к природным. Примеров на эту тему в биологии можно привести множество: движущиеся суставы и суставной хрящ, моргающее веко и глазное яблоко, матка и плод, соединение перьев у птиц, спинной плавник у рыб, липкие лапки насекомых... Эта новая междисциплинарная отрасль исследований сочетает методы и теорию физики, химии, механики и биологии.

Биомикро- и нанотрибология возникли в ответ на серьезные нужды технологии, в том числе продолжающуюся миниатюризацию техники. Биологические системы преуспевают в микро- и наномасштабе, а потому их стратегии можно использовать при создании новых инженерных устройств. Например, твердые компоненты диатомей, движущиеся относительно друг друга и испытывающие на себе действия разных сил, представляют особый интерес для одного из направлений в разработке микросистем



а



б

У колониальных диатомовых водорослей существуют разные способы соединения клеток между собой.

а — клетки *Amphitetras*, соединенные по углам подушечками из особого клейкого вещества;

б — клетки *Chaetoceros* с соединенными выростами панциря

Один из самых распространенных способ соединения клеток диатомовых — с помощью специальных соединительных шипов, подходящих друг к другу как ключ к замку.

в — пары соединенных сестринских клеток *Cymatoseira*;

г — пары соединенных сестринских клеток *Aulacoseira*

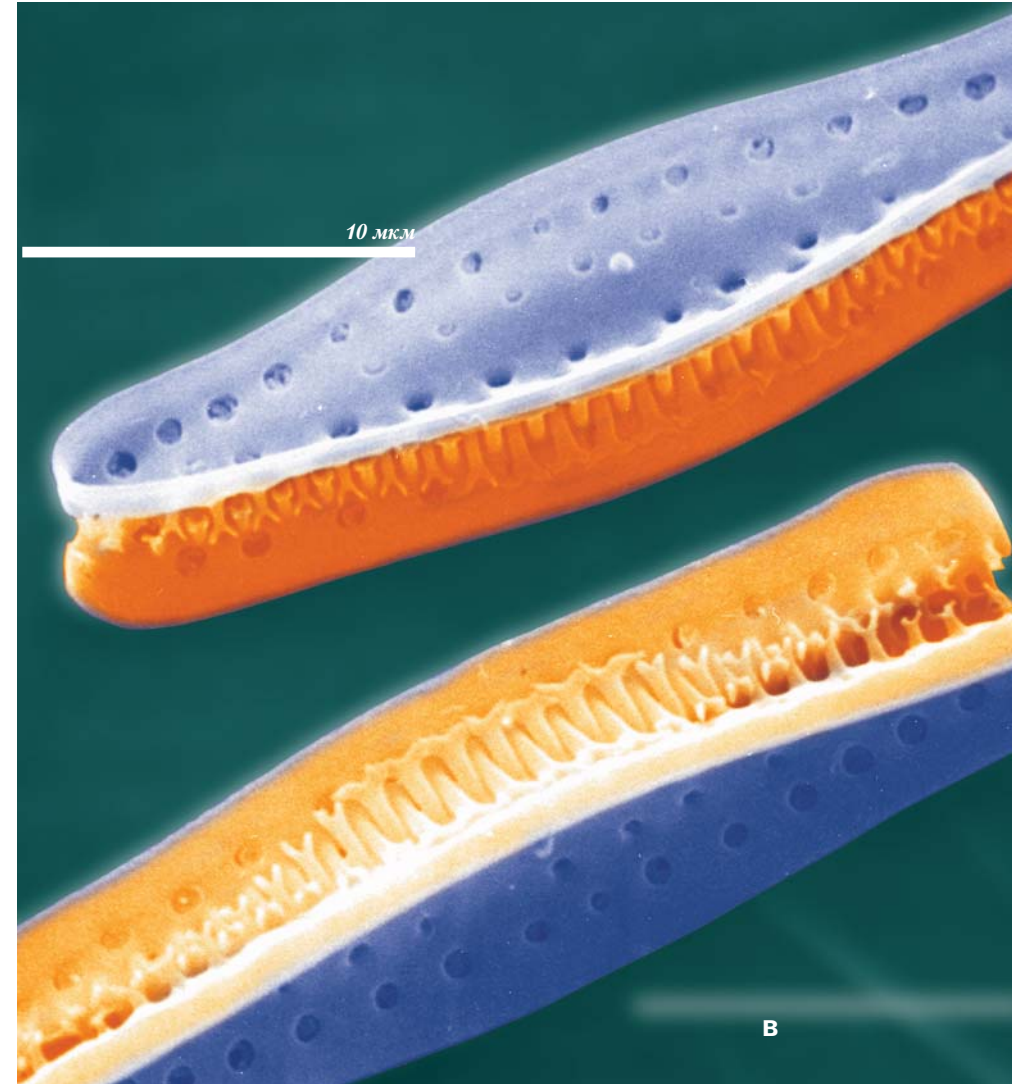
«Создавая любое из своих творений... природа связывала воедино гармонию красоты с гармонией целесообразности — придавала ему ту единственную форму, которая идеальна с точки зрения инженера» (М. Туполев).

### Как ключ к замку

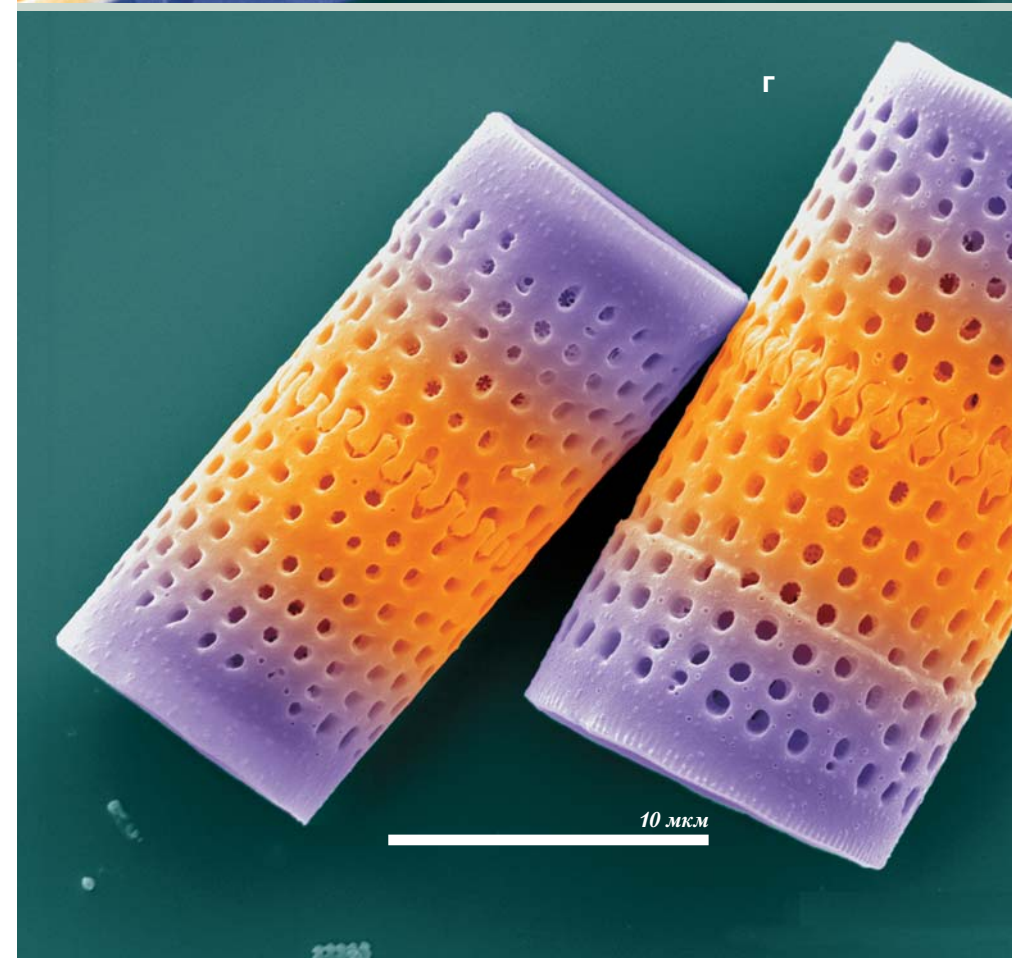
У диатомей можно выделить три способа соединения клеток между собой. Клетки могут соединяться друг с другом особым клейким материалом, поступающим через трубочки в клеточной стенке. У небольшого числа родов кремнистые структуры сестринских клеток сплавлены. Но наиболее часто клетки соединяются между собой с помощью специальных шипов различных размеров и форм, подходящих друг к другу как ключ к замку. Эти структуры образуются еще во время формирования клеточных стенок дочерних клеток.

Было замечено, что конструкция соединительных шипов зачастую сложнее, чем этого требует устройство, служащее лишь для удержания клеток вместе. Это подтолкнуло нас к изучению основных сил, действующих на клетки в цепочке, — растяжения, сжатия и вращения. Несложно представить, что находящиеся в турбулентной среде — например, в зоне прибоя песчаного берега — клетки цепочки будут испытывать суммарное действие всех перечисленных сил, хотя в отношении силы вращения это не так очевидно.

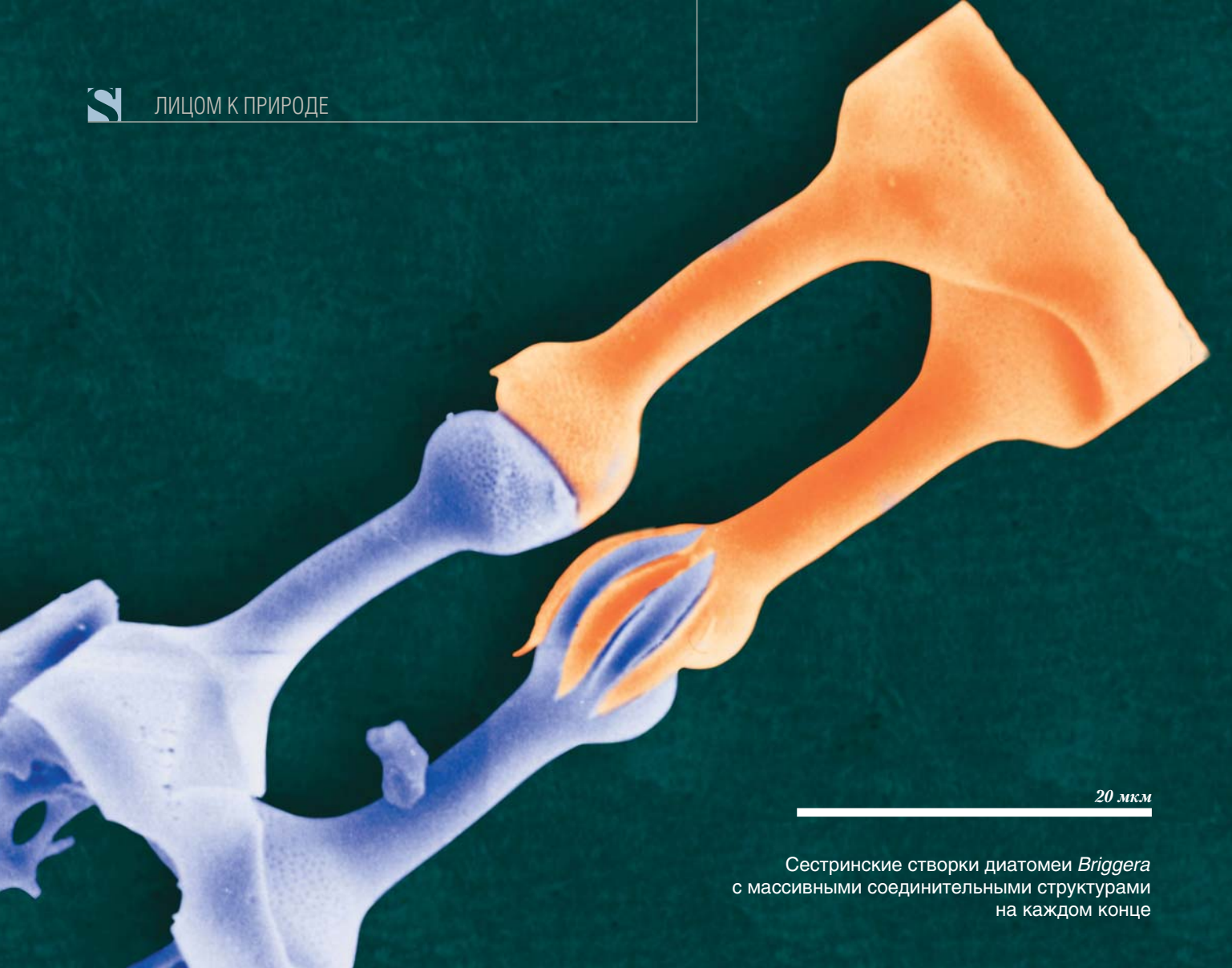
Для изучения действия последней силы мы исследовали несколько колониобразующих видов и пришли к заключению, что многим диатомеям приходилось иметь дело с силой вращения на самых ранних стадиях эволюции. По крайней мере, у многих ископаемых видов возраста примерно 30 млн лет обнаружены сложные структуры, которые могли не только удерживать две створки вместе, но и препятствовать их вращению. В этом смысле исключительным примером может служить род *Ellerbeckia*.



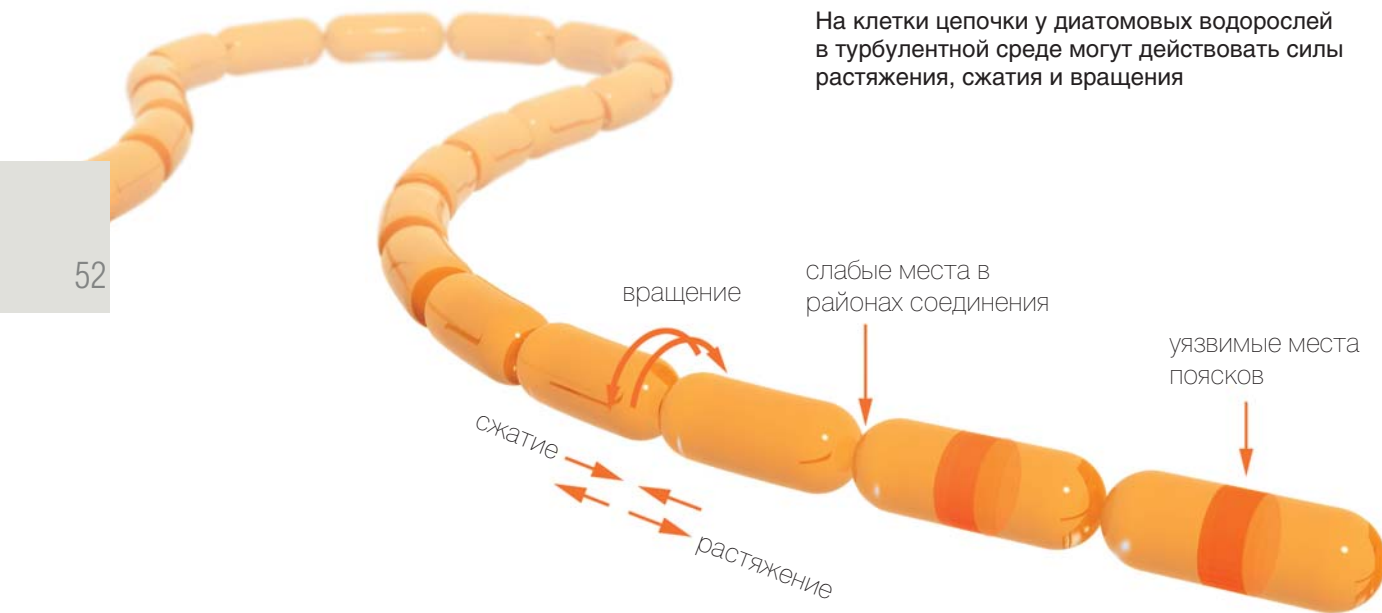
в



г



Сестринские створки диатомей *Briggera* с массивными соединительными структурами на каждом конце



На клетки цепочки у диатомовых водорослей в турбулентной среде могут действовать силы растяжения, сжатия и вращения

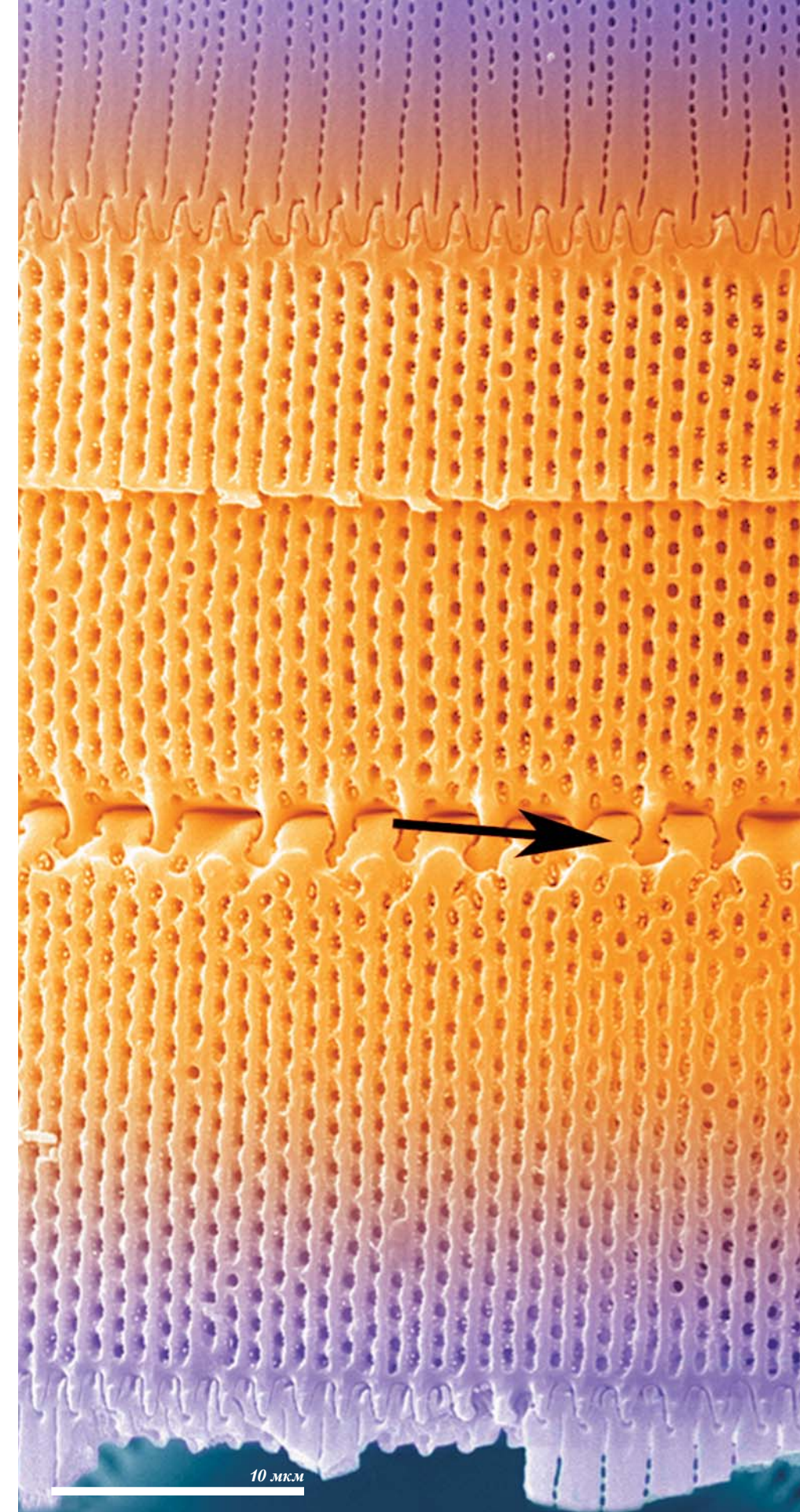
## Инженерные решения *Ellerbeckia*

Древний род *Ellerbeckia* замечателен не только крайне тесным соединением сестринских створок, но и очень долгой эволюционной историей наряду с очень ранним обособлением от других диатомовых.

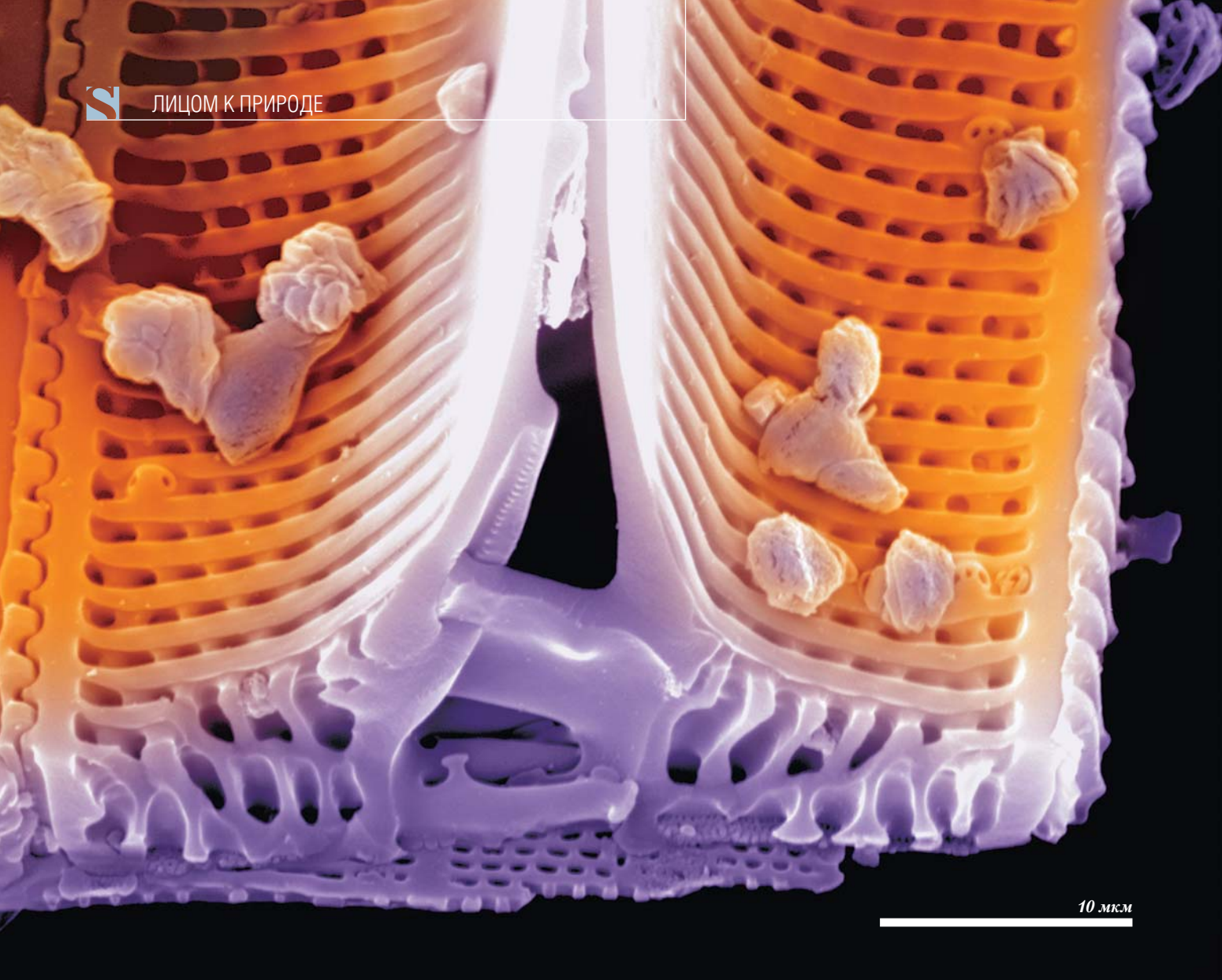
Клеточная стенка у этих диатомовых грубая, а лицевая часть створки загнута на боках под прямым углом. На створке располагаются шипы, соединяющие сестринские клетки, которые прочно замыкаются друг на друга. В середине лицевой части створки имеется еще один элемент соединительной структуры, общий для всех видов рода. Он представляет собой ребра, плотно вставленные в углубления другой створки. При наличии таких прочных соединительных структур двум клеткам практически невозможно ни повернуться, ни отодвинуться друг от друга. Но при этом возникает другая проблема.

Слабым звеном цепи, наиболее подверженным воздействию различных сил, становится соединение между створками и поясковыми ободками. И здесь *Ellerbeckia* демонстрирует уникальную среди всех прочих диатомей конструкцию. В отличие от большинства родов, в особенности от современных подвижных одноклеточных диатомей, у *Ellerbeckia* все без исключения части кремнистой оболочки плотно соединены и подогнаны друг к другу подобно костяшкам двух сжатых кулаков.

Результат такого прочного соединения в обоих потенциально уязви-



Сложные соединительные структуры сестринских створок у древнего рода *Ellerbeckia*



К. ТАМАТРАКОЛЬН, М. ХИЛЬДЕБРАНД

# СТРОИМ ИЗ КРЕМНИЯ

Кимберли ТАМАТРАКОЛЬН, д-р, отдел изучения биологии морей Института океанографии им. Скриппса, Калифорнийский университет (Сан-Диего, США)

Марк ХИЛЬДЕБРАНД, д-р, отдел изучения биологии морей Института океанографии им. Скриппса, Калифорнийский университет (Сан-Диего, США)

К растворимым формам кремния относятся кремниевая кислота  $\text{Si}(\text{OH})_4$  и силикаты  $\text{Si}(\text{OH})_3$ . Полимеризованный кремний в разных структурных формах называют кремнеземом

Для строительства своих домиков диатомовые водоросли используют растворенный в воде кремний (в виде кремниевой кислоты) и, контролируя его полимеризацию, синтезируют створки панциря, создавая изысканные орнаменты микро- и нанометрового масштаба. Проводя аналогию между формированием панциря диатомей и строительством дома, отметим необходимость не только специального оборудования для создания разнообразных структурных элементов, но и исходных материалов, поступающих в точном соответствии с надобностью на том или ином этапе строительства. У диатомей этот непростой процесс обеспечивается специальными клеточными транспортными белками.

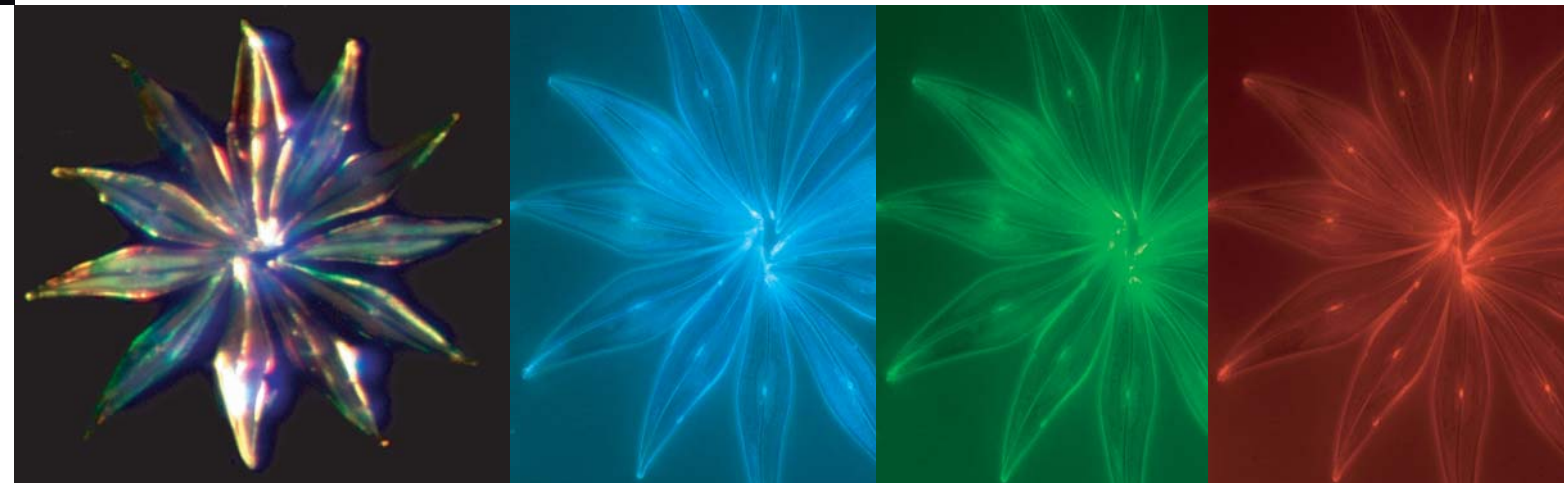
Детали соединения сестринских створок у диатомеи *Ellerbeckia*. (Дополнительные иллюстрации соединения частей кремнистых панцирей у этого вида — на с. 32)

54  
мых местах может быть двояким: либо колония станет жесткой, как стержень (что увеличивает вероятность ее разрушения при больших нагрузках), либо часть приложенной к колонии энергии внешних воздействий должна рассеиваться через небольшие, но многочисленные и тесные контакты структурных элементов. Судя по тому, что нам не попадались цепочки водорослей со сломанными соединительными структурами, вся эта система соединений функционирует как единое целое по второму сценарию.

Почему именно у этого рода мы находим признаки, более не встречающиеся у других разнообразных форм диатомей? И почему другим колониобразующим видам, у которых отсутствуют подобные соединения, удастся избежать разрушения под действием тех же самых сил? Вероятно, ответ на этот вопрос лежит в самой истории древнего рода, сформировавшегося в мелководных бурных морях далекого прошлого. Тот факт, что представители других родов прекрасно живут рядом с *Ellerbeckia* и другими реликта-

ми, добавляет таинственности, но и подтверждает исключительное разнообразие диатомей и их стратегий выживания. И в этом смысле диатомовые являются настоящей «золотой жилой» для нанотрибологии, которой суждено внести весомый вклад в технологическое завтра человечества.

В публикации использованы фотографии Р. Кроуфорда



Особое расположение мелких деталей на створках у некоторых видов диатомей может усиливать взаимодействие их «стеклянного» панциря со светом. Первое фото слева — пример преломления света в панцире диатомеи; другие фотографии получены с помощью разных цветных фильтров. Световая микроскопия