



Пыльца цветка подсолнечника при увеличении в две тысячи раз. Благодаря наличию длинных шипов на внешней оболочке зерна легко цепляются к лапкам насекомых-опылителей



Возможность приостанавливать на длительное время жизненно важные процессы всегда казалась людям заманчивой. Она превратила бы мечту о полетах к дальним планетам в реальный проект. Но пока для человеческого организма такое состояние невозможно. А вот для многих других существ на Земле эта проблема успешно решена — за счет особых биологических конструкций, называемых стадиями покоя.

ЕЛЕНА КРАСНОВА, кандидат биологических наук

Тайны покоя



1



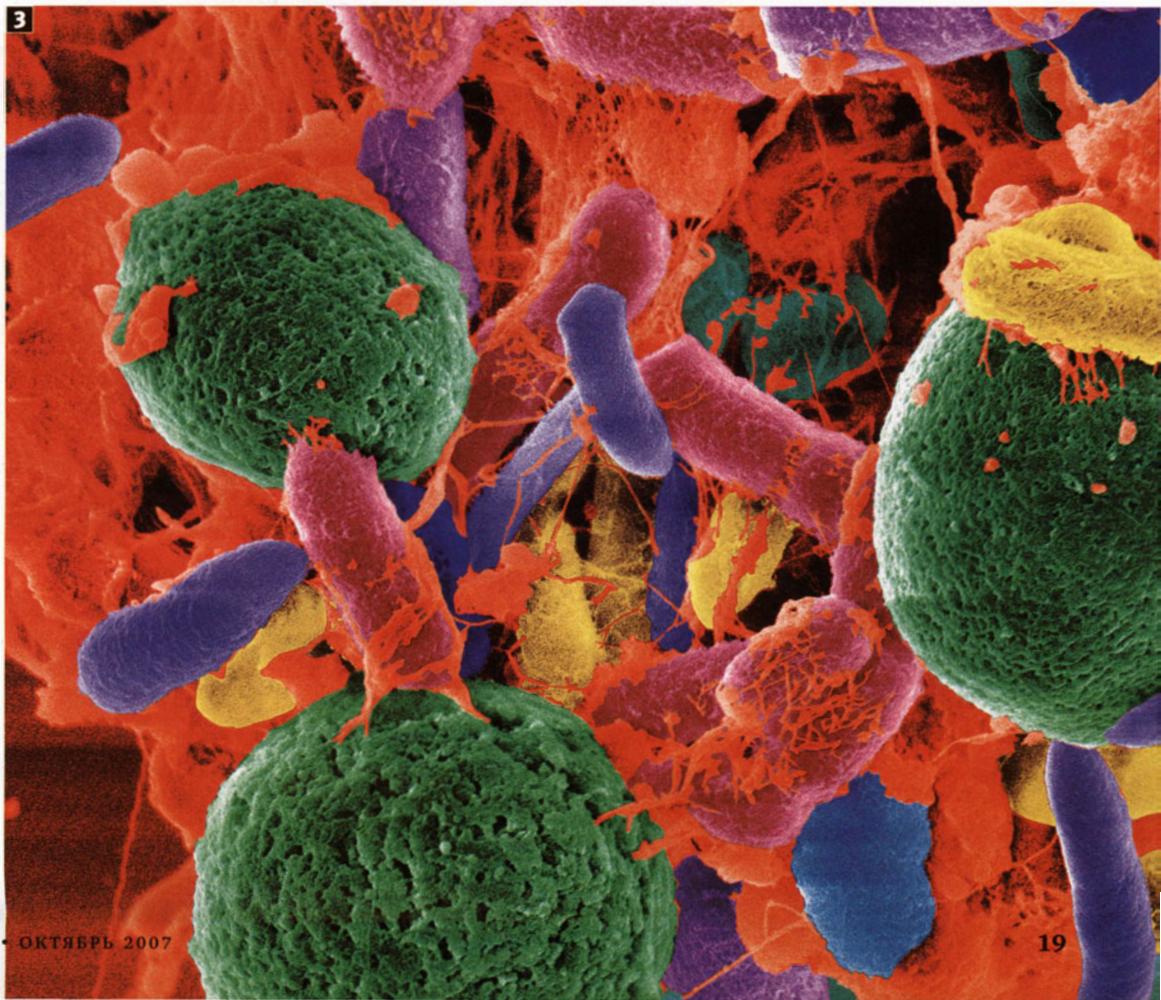
2

Ни одно взрослое растение не смогло бы выжить в условиях открытого космоса, а споры — на это способны

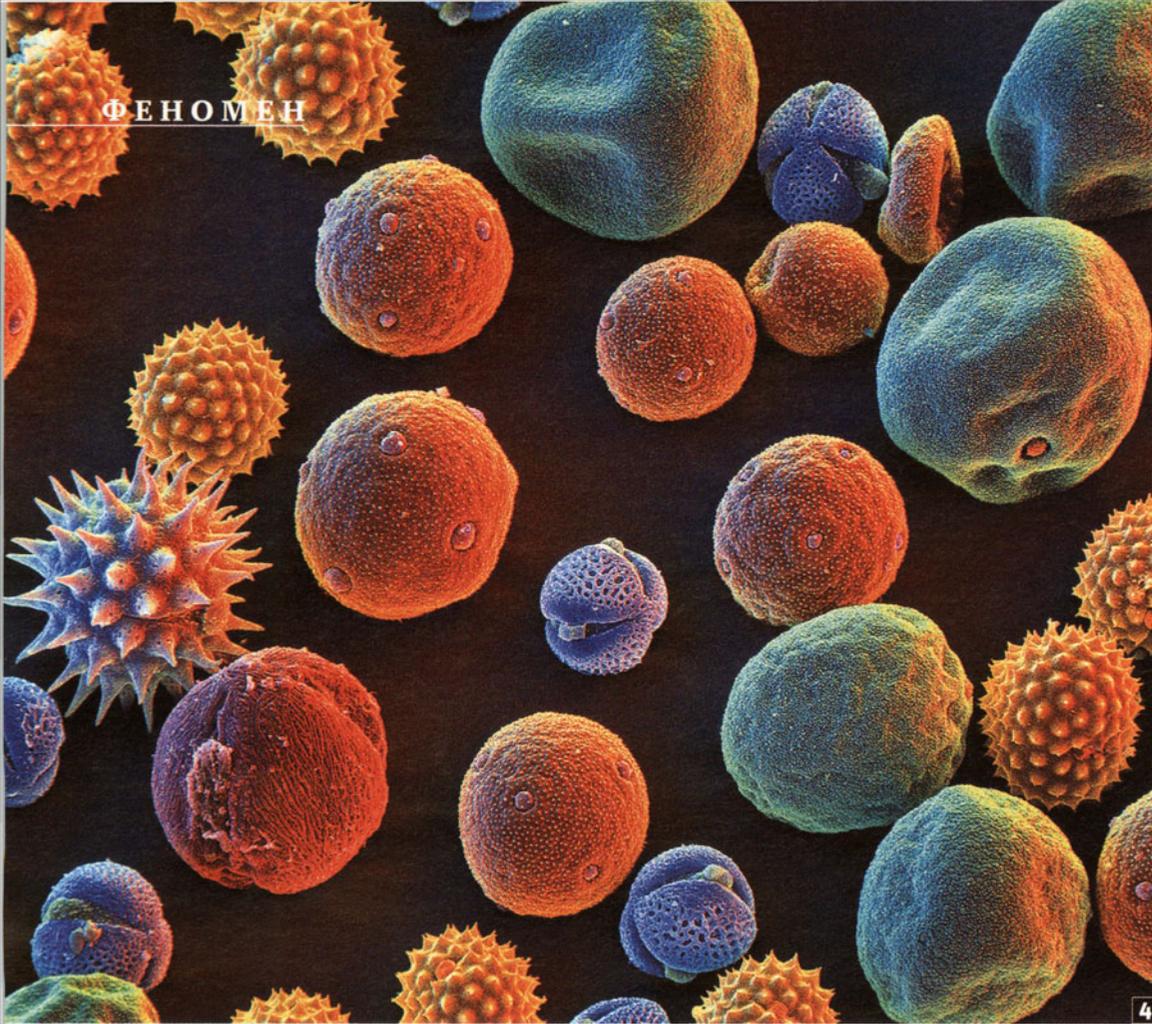
1 Из треснувших спорангий папоротника высыпаются споры (желтые). Воздействие микроорганизмов, высокой температуры, кислот и щелочей не разрушает их оболочку из надежнейшего биополимера

2 Яйца с личинками внутри взрослой нематоды *Caenorhabditis elegans*. При неблагоприятных условиях личинки наращивают плотный «скаффандр», перестают питаться и впадают в спячку

3 Участок слизистой кишечника. Зеленые шары — это цисты лямблий, жгутиков простейших, вызывающих у людей сильнейшую диарею. Когда болезнь идет на убыль, паразитам перестает хватать влаги и они массово переходят в стадию покоя



3



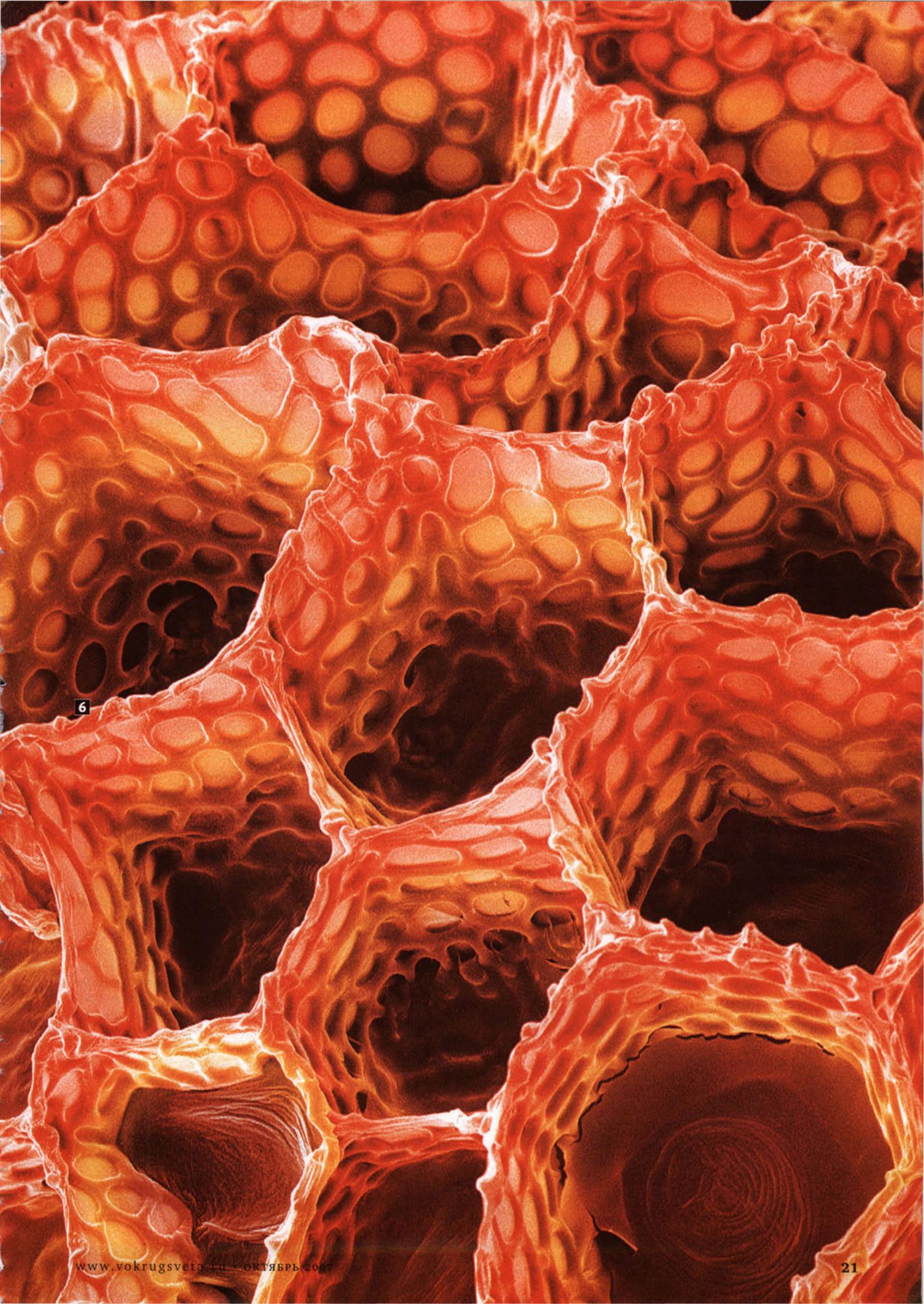
4 Пыльцевые зерна очень разнообразны по форме, размеру и текстуре поверхности, что позволяет определять по ним род и даже вид растений

5 Когда семечко брюквы выходит из анабиоза, первым из семенной капсулы появляется зародышевый корешок. Он начинает всасывать воду, за счет чего остальная часть зародыша разбухает и сбрасывает кожуру

6 Панцирь, которым покрыто семя лекарственного растения наперстянка, состоит из множества ячеек. Он защищает зародыш от повреждений и избытка влаги, что позволяет ему пережить тяжелые времена

Упакованные внутри капсулы зародыши растений и беспозвоночных животных могут «спать» сотни и тысячи лет





6

Все живые существа зависят от окружающей среды. Ни в воде, ни в почве, ни внутри других организмов — нигде они не защищены от бескормицы, зимних холодов или засухи. Если условия ухудшаются, организм бросает последние силы на упаковку своего генетического материала в компактные капсулы, которые перенесутся в подходящее место, дождутся лучших времен и возродят свой вид. В этих капсулах живое существо может находиться в состоянии анабиоза (состоянии, похожем на смерть, когда физиологические процессы остановлены или замедлены) годами, потом пробудиться, покинуть капсулу и продолжить полноценное существование.

Даже у микробов, которых мы привыкли считать неистребимыми, есть природные ограничения по температуре и влажности, при которых клеточные белки не могут выполнять свои биохимические функции. Мир микроорганизмов вымер бы, если бы они не научились переживать неблагоприятные условия в виде цист и спор.

«ШКОЛА» ВЫЖИВАНИЯ

Представьте себе живущие в воде одноклеточные организмы, такие как бактерии и простейшие животные. При промерзании или пересыхании водоема их клетки преобразуются — они уменьшаются в размере до нескольких десятков микрон и наращивают многослойную оболочку, чтобы оградить себя от губительного окружения. Так рождается циста — одна из стадий покоя. Бактериальные цисты погружены в толстые многослойные сгустки пектиновой слизи с арматурой из полисахаридных волокон. У цист одноклеточных животных основа оболочки другая — гиалин, стеклоподобное вещество белкового происхождения с волокнистой структурой,

которое не боится кислот и щелочей, а кроме того, содержит иммуноглобулины — антитела, поддерживающие защитную систему организма.

Отправляя зародыш, находящийся в капсуле, в глубокую спячку и, соответственно, — в неизвестность, родительский организм щедро наделяет его питательными веществами. Повышенная концентрация белков, жиров и углеводов, с одной стороны, затрудняет промерзание и возникновение кристалликов льда, которые могут разрушить клетку. И одновременно весь этот запас является стартовым капиталом, который понадобится новому организму в первые часы пробуждения. В цистах одноклеточных животных есть гликоген — важнейшее запасное вещество организмов с животным типом обмена веществ, а в цистах бактерий помимо гликогена — богатый азотом полимер цианофидин. С таким запасом в стадиях покоя одноклеточные могут пребывать десятки лет, дожидаясь возрождения водоема.

Поскольку циста сохраняется только во влажной среде, пусть даже это тонкая пленка воды, то поддержанию жизни на воздухе способствуют споры. У бактерий споры защищены лучше цист, так как спора не просто результат перевоплощения материнской клетки, она зарождается внутри нее, и часто не одна, так что между зародышами остается прослойка из уплотненных остатков материнской клетки. Оболочка предохраняет споры от самопроизвольного прорастания, а также защищает от действия ферментов и антибиотиков. Перед цистами у спор есть большее преимущество: они могут выдерживать высокие температуры и большие дозы радиации, смертельные для обычных клеток, а в высушенном состоянии сохранять «всхожесть» тысячелетиями.

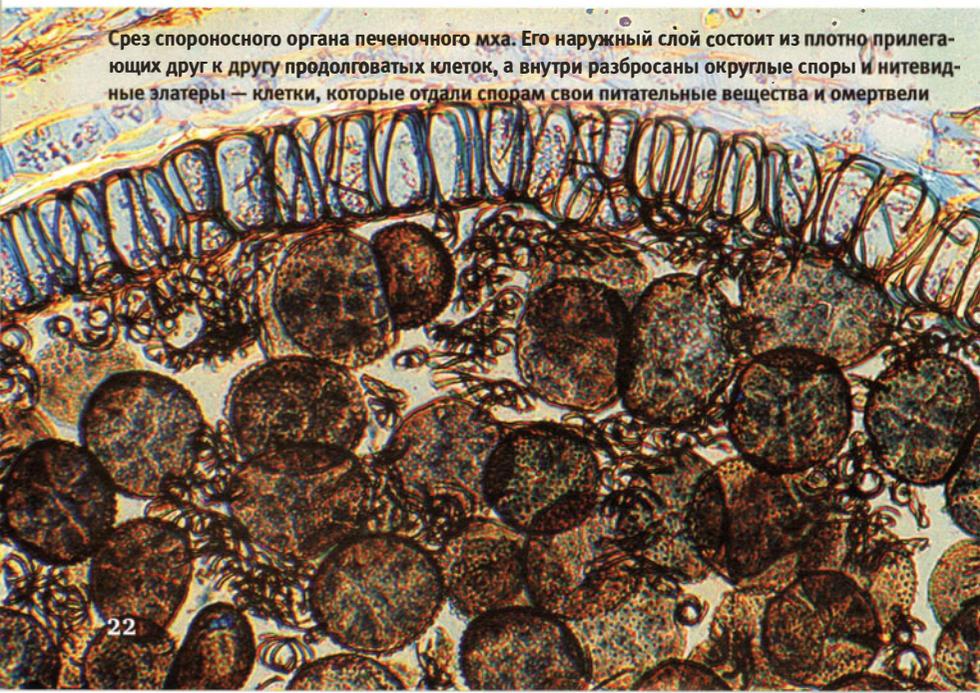
Мхи, папоротники, хвощи и плауны — первопроходцы сухопутной среды обитания. Своим успехом они во многом обязаны мелким летучим спорам, которые позволили им размножаться вне водной среды, расселяться по воздуху и выживать при засухе. Споры этих растений защищены тремя оболочками, а на внешней есть орнамент из шипов, колец, бляшек, по которому можно определить род и даже вид растения. Предполагают, что этот орнамент служит для лучшего закоривания в той среде, где спорам предстоит прорасти. Зачастую «украшения» расположены не на всей поверхности, а только на одной полусфере, что сказывается на ходе прорастания: трещины, сквозь которые содержится споры выходит наружу, располагаются именно в той ее части, где орнамента нет. Шероховатости на оболочке могут играть и роль в распространении спор. Так, у хвоща они снабжены длинными выростами в виде нитей с булавовидными утолщениями на концах. Этими нитями споры сцепляются в комки и так разносятся по воздуху. Попав в подходящее место, они прорастают и оказываются способными к перекрестному скрещиванию, которое было бы невозможно, если бы спора прорастала в одиночестве.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬНЫЕ РАСТЕНИЯ

У семенных растений есть два варианта стадий покоя: пыльца и семена. По строению и способу образования пыльца больше всего похожа на споры их эволюционных предшественников — споровых растений, но функция у нее другая. Из одного пыльцевого зерна не может вырасти целое растение. Предназначение пыльцы — обеспечить широкое распространение мужских половых клеток. «Отцовского» растения, на котором образовалась пыльца, может уже не быть в живых, а пыльца с его генами сохраняется и, попав на женскую особь, опыляет ее и производит новое поколение.

Настоящая новация в стадиях покоя принадлежит цветковым растениям — это семя. Оно как космический корабль, где есть надежный корпус, путешественник и полный запас провизии. В семени скрыт зародыш, он очень мал, но в нем уже заложены все органы целого растения, чтобы сразу после раскрытия капсулы, без замедления запустить все жизненные функции, начиная от всасывания воды маленьким корешком, кончая фотосинтезом в зародышевых листьях — семядолях. Для надежности маленькому путешественнику в дорогу дан с собой запас провизии — эндосперм.

Как же живым существам удается прекратить биохимические реакции и впасть в состояние, близкое к смер-



Срез спороносного органа печеночного мха. Его наружный слой состоит из плотно прилегающих друг к другу продолговатых клеток, а внутри разбросаны округлые споры и нитевидные элатеры — клетки, которые отдали спорам свои питательные вещества и омертвели

ти? Механизмы анабиоза лучше всего изучены у микроорганизмов. Здесь действуют три фактора. Первый — обезвоживание: биохимические процессы могут идти только в водных растворах, а при недостатке воды они останавливаются. Второй фактор — блокирование ферментов с помощью особых веществ, которые в избытке накапливаются в покоящихся клетках, в частности ионов металлов. И третий — изменение конфигурации молекул самих ферментов, при котором они приходят в нерабочее состояние. У спор грибов есть еще одно приспособление: внутри они разделе-

ны на отсеки, и биохимические реагенты хранятся по отдельности, отгороженные друг от друга мембранами. Возможно, похожие процессы действуют и у других организмов, но об этом известно очень мало.

УБИЙЦЫ В АНАБИОЗЕ

Впадающие в анабиоз зародыши — «изобретение» очень ценное, особенно для паразитов. Однако, обеспечив себе полный комфорт и дармовое продовольствие, они в то же время оказываются в полной зависимости от жизни своего хозяина. Смерть его была бы катастрофой для целой популяции паразитов, если бы природа не приспособила их к стадиям длительного хранения в виде яиц и личинок. Яйца человеческой аскариды так хорошо изолированы от внешних невзгод плотной оболочкой из пяти слоев, что способны лежать во влажной почве многие годы, а в странах с ветреным климатом переносятся по воздуху и заражают людей при случайном попадании в рот дорожной пыли.

А что, если хорошо защищенную капсулу сделать самоходной и самонаводящейся? Этот вариант отработан у круглых червей из отряда Rhabditida, к которым относится ценорабдитис (*Caenorhabditis elegans*) — важнейший модельный объект современной биологии, за изучение которого вручили две Нобелевские премии. Обычные личинки ценорабдитиса при очередной линьке в случае дефицита пищи или перенаселенности переходят в спящее состояние, называемое дауэр-личинками. У дауэр-личинок плотнее оболочка-кутикула, ротовое и анальное отверстия заросшие, а в стенках кишечника содержатся большие запасы жира. Обмен веществ в них сильно замедлен, они не питаются, устойчивы к химическим воздействиям, высоким температурам и глубокому охлаждению и, что самое поразительное, сохраняют способность к активному движению. Одним из сигналов к пробуждению для них служит запах, вернее, его отсутствие. Взрослые червяки выделяют определенный феромон — пахучее вещество, улавливаемое личинками. Когда его концентрация снижается, что означает малочисленность или отсутствие взрослых особей, «уснувшие дети» начинают просыпаться.

Черви-штейнернемы (*Steinernema*) паразитируют на насекомых. Их «спящие» личинки запрограммированы на то, чтобы выследить жертву, проникнуть в нее, впрыснуть смертельные бактерии *Xenorhabdus*, которые живут в симбиозе с этими червями, а потом превратиться в обычную прожорливую личинку и пировать, поедая трупные ткани. Из-за этих спо-

собностей штейнернем применяют в сельском хозяйстве и декоративном цветоводстве как средство борьбы с насекомыми-вредителями.

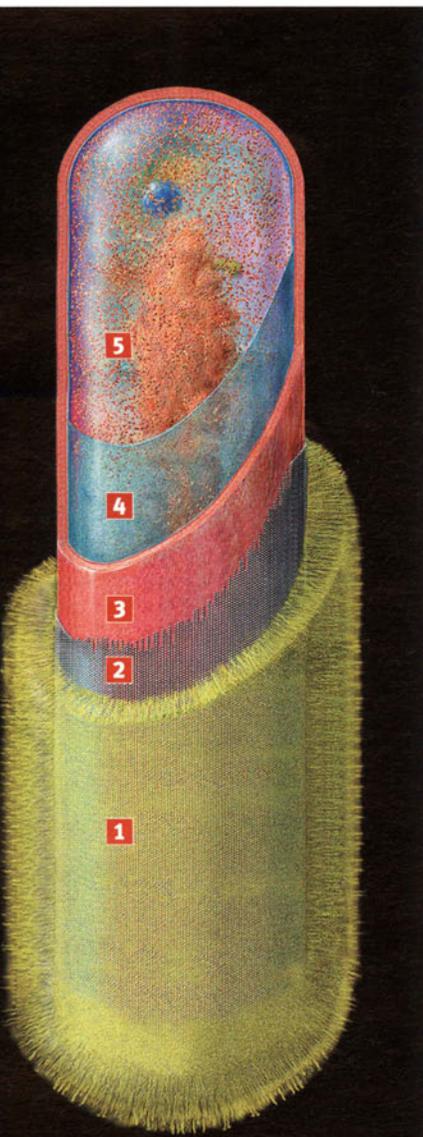
Случается, что и свободноживущие животные оказываются в жесткой зависимости от капризов внешней среды и вынуждены отправлять свое потомство в анабиоз. Таких мало среди обитателей морей, но много в почве и пресных водоемах. Почти во всех группах беспозвоночных животных, освоивших эти места обитания, есть покоящиеся стадии, способные выдержать самые трудные испытания — зиму и засуху.

Коловратки и мелкие рачки дафнии в процессе спаривания самцов и самок производят особые зимовальные яйца. Эти яйца снабжены толстой оболочкой и порядочным запасом питания, необходимым для будущего зародыша. Развиваться они могут только после длительного периода покоя, который измеряется месяцами и даже годами. Выходит из зимовального яйца только самка, которая дает начало следующему поколению дочерей.

У рачка артемии, которого аквариумисты используют как живой корм, яйца выдерживают высушивание и ионизирующее облучение, замораживание и нагревание до 100°C, не погибают ни в вакууме, ни в агрессивных жидкостях, а в одной из глубоких скважин в районе Большого Соленого озера в США обнаружили жизнеспособные яйца артемии, пролежавшие в земной толще 10 тысяч лет.

Многие сидячие животные зимой отмирают, в их числе — губки и мшанки. Однако маленькие почки, состоящие из сгустка клеток и защитной оболочки и образующиеся внутри родительской колонии, зиму переживают. У губок — это геммулы, у мшанок — статобласты. И те, и другие могут всплывать к поверхности и попадать в воздушные потоки благодаря полостям на оболочке. Эти плотные, богатые питательными веществами комочки были бы лакомой добычей для любого хищника, если бы не защита из колючек: у геммул между двумя слоями оболочки проложен ажурный каркас из кремнеземных иголок, а статобласты вооружены венчиком из крючков.

Яйца коловраток, почки губок и мшанок с зимовальными яйцами дафний плавают на поверхности воды, скапливаются у уреза и вместе с пылью перелетают в другие места. Скопления этих покоящихся форм в иле представляют собой генетический резерв водоема, благодаря им в пересыхающих природных резервуарах каждый год возрождается один и тот же фаунистический комплекс, а в текущих — не оскудевает. ●



Спора бактерии сибирской язвы:
 1 — наружный «ворсистый» слой капсулы состоит из молекул поли-D-глутаминовой кислоты
 2 — защитная белковая оболочка
 3 — стенка бактериальной клетки из очень прочного полимера (пептидогликана)
 4 — мембрана клетки
 5 — ДНК в цитоплазме