

СТЕФАНО МАНКУЗО

**РАСТЕНИЯ
ПЛОЩАДИ
РАСТЕНИЯ
ИМИ**

ОТ АВТОРА
БЕСТСЕЛЛЕРА
«О ЧЕМ ДУМАЮТ
РАСТЕНИЯ»

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ИНТЕЛЛЕКТ
И ПОВЕДЕНИЕ РАСТЕНИЙ



Сенсация в науке

Стефано Манкузо

Революция растений

«ЭКСМО»

2017

УДК 58
ББК 28.5

Манкузо С.

Революция растений / С. Манкузо — «Эксмо»,
2017 — (Сенсация в науке)

ISBN 978-5-04-094383-8

Новая книга Стефано Манкузо также посвящена уникальным и неожиданным возможностям растений. Жизнь в экстремальных условиях, защитная маскировка от хищников, передвижение без потребления энергии, наконец, манипуляция животными и людьми – вот лишь то немногое, о чем рассказывает талантливый ученый. Книга наполнена потрясающими цветными иллюстрациями самих героев!

УДК 58
ББК 28.5

ISBN 978-5-04-094383-8

© Манкузо С., 2017
© Эксмо, 2017

Содержание

Предисловие	7
I	12
Растения или животные: опыт, который учит	13
У растений нет короткой памяти	15
II	23
Являются ли технологии, вдохновленные биологией, чем-то новым?	24
Почему растения	27
Индивидуальность растений	28
Плантоид: пример технологии, вдохновленной биологией растений	31
III	37
Найти образец для подражания, прикинуться и победить	38
Бокила трехлистная, королева мимикрии, и океаны растений	39
Растения, камни и цветные сигналы	51
Человеческие ресурсы. Или, скорее, человек, как ресурс для растений	54
IV	63
И все же они движутся!	64
Шишки и овес	68
Семечко-попрыгунчик: Аистник цикutowый	74
V	80
Искусство манипуляций	81
Дилеры и потребители экстрафлорального нектара	82
Как я познакомился с капсикофагами	85
Манипуляция с помощью химии	96
VI	98
Некоторые предварительные сведения о строении растений	99
Кто-то решает проблемы, а кто-то их избегает	102
Сообщества корней и социальных насекомых	104
Афиняне, пчелы, демократия и растительные модули	110
Теорема жюри	115
Двойная игра логики	117
Порядок и хаос	120
Растения и кооперативы	123
VII	127
Здания как ветви	128
Виктория амазонская: как лист растения спас первую Всемирную выставку	130
Кактус, вода и небоскребы	142
VIII	149
Наши космические попутчики	150
«Камешек в небе»	156
IX	163
Запасы пресной воды не безграничны...	164
Выжить в соленой воде	170

Баржа «Медуза» – плавучая теплица

171

Стефано Манкузо

Революция растений

© Соколова М.С., перевод на русский язык, 2018

© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2019

* * *

Анноте

Предисловие



У меня сложилось впечатление, что истинная важность растений для человеческой жизни до сих пор не осознана до конца большинством людей. Конечно, все знают – во всяком случае, я на это надеюсь – что мы дышим кислородом благодаря деятельности растений, и что вся пищевая цепочка, в которую входит и питание всех животных, живущих на Земле, основана именно на растениях. Но скольким людям известно, что нефть, каменный уголь, газ и другие известные невозобновляемые запасы углеводородов, энергетических ресурсов планеты, являются ничем иным, как преобразованной растениями миллионы лет назад энергией Солнца? Многие ли знают, что лечебные средства нашей медицины имеют в значительной части растительное происхождение? Или что дерево, благодаря своим поразительным свойствам, во многих уголках нашей планеты и сегодня все еще служит наиболее распространенным материалом для строительства? Вся наша жизнь, как и жизнь любого другого животного на земле, зависит от растений.

Можно предположить, что столь необходимые для выживания человечества организмы, от которых зависит в значительной степени наша экономика, изучены достаточно подробно. Но ничего подобного: только в течение 2015 года были открыты 2034 новых вида растений. И не подумайте, что речь идет о каких-то микроскопических растениях, ускользнувших от внимания ботаников; один из этих новооткрытых представителей растительного мира, *Gilbertiodendron maximum*, представляет собой гигантское дерево, произрастающее в тропических лесах Габона, высотой около 45 метров, со стволом, достигающим в обхвате полутора метров, и массой более сотни тонн. А 2015 год не был каким-то особенным – ежегодно количество обнаруживаемых учеными новых видов растений превышает 2 тысячи.

Открывать новые растения – занятие весьма любопытное: никогда не знаешь, на что приведет наткнуться. Более 31 000 различных растительных видов имеют применение, зафиксированное документально. Среди них более 18 000 используются в медицинских целях, 6000 в сфере питания, 11 000 для производства тканей или как строительный материал, 1300 применяются в общественно-социальных целях (включая религиозные ритуалы и лекарственное назначение), 1600 служат источниками энергии, 4000 идут в пищу домашним животным, 8000 используются для улучшения окружающей среды, 2500 служат ядами, и т. д.

Вывод напрашивается сам собой – около десятой части всех видов растений используется человечеством непосредственно. И это очень важно, что хотелось бы подчеркнуть. И было бы замечательно, если бы мы начали использовать растения не только из-за их полезных свойств, но и из-за их возможностей кое-чему нас научить.

На самом деле растения являются настоящим образцом рационального устройства, к концу книги это станет очевидным и для вас. Растения с древнейших времен нашли множество поразительных решений тех сложнейших проблем, которые мучают человечество – от экономии строительных материалов до экономии энергии, от способности к выживанию до стратегий адаптации. Достаточно лишь научиться правильно видеть.

Около 400 миллионов лет тому назад, в отличие от животных, которые решили двигаться, чтобы добывать пищу, растения приняли прямо противоположное эволюционное решение. Они предпочли не перемещаться, но брать от солнца всю возможную необходимую для выживания энергию и адаптировали свое тело к поеданию его другими видами, приспособились ко

всем бесчисленным опасностям, которыми чревато существование с корнями, укрепленными в почве. А это совсем не просто. Попробуйте представить себе, насколько это трудно – жить в полной врагов среде без возможности перемещаться. Вообразите себя растением, атакуемым насекомыми, травоядными животными и хищниками всех мастей, и не имеющим возможности сбежать. Единственный способ выжить в таких условиях – стать несокрушимым, умудриться создать себя на основе принципов, совершенно отличных от тех, что царят в животном мире. То есть именно что стать растением.

Для того чтобы защититься от хищников, они эволюционировали в совершенно особом и удивительном направлении, используя максимально далекие от животного мира способы бытия, и стали примером невероятного разнообразия. Эти организмы настолько отличны от наших, животных, что если присмотреться к ним пристально, можно подумать, что мы имеем дело с инопланетянами. Многие из решений, найденных эволюцией для растений, являются полной противоположностью идеалам мира животных. То, что для животных – белое, для растений – черное, и наоборот: животные перемещаются, растения остаются на одном месте; животные все делают быстро, растения – очень медленно; животные потребляют, растения производят; животные выделяют CO_2 , растения захватывают CO_2 ... И так во всем, вплоть до самого важного и самого известного отличия: противоположности между рассеянием и концентрацией.

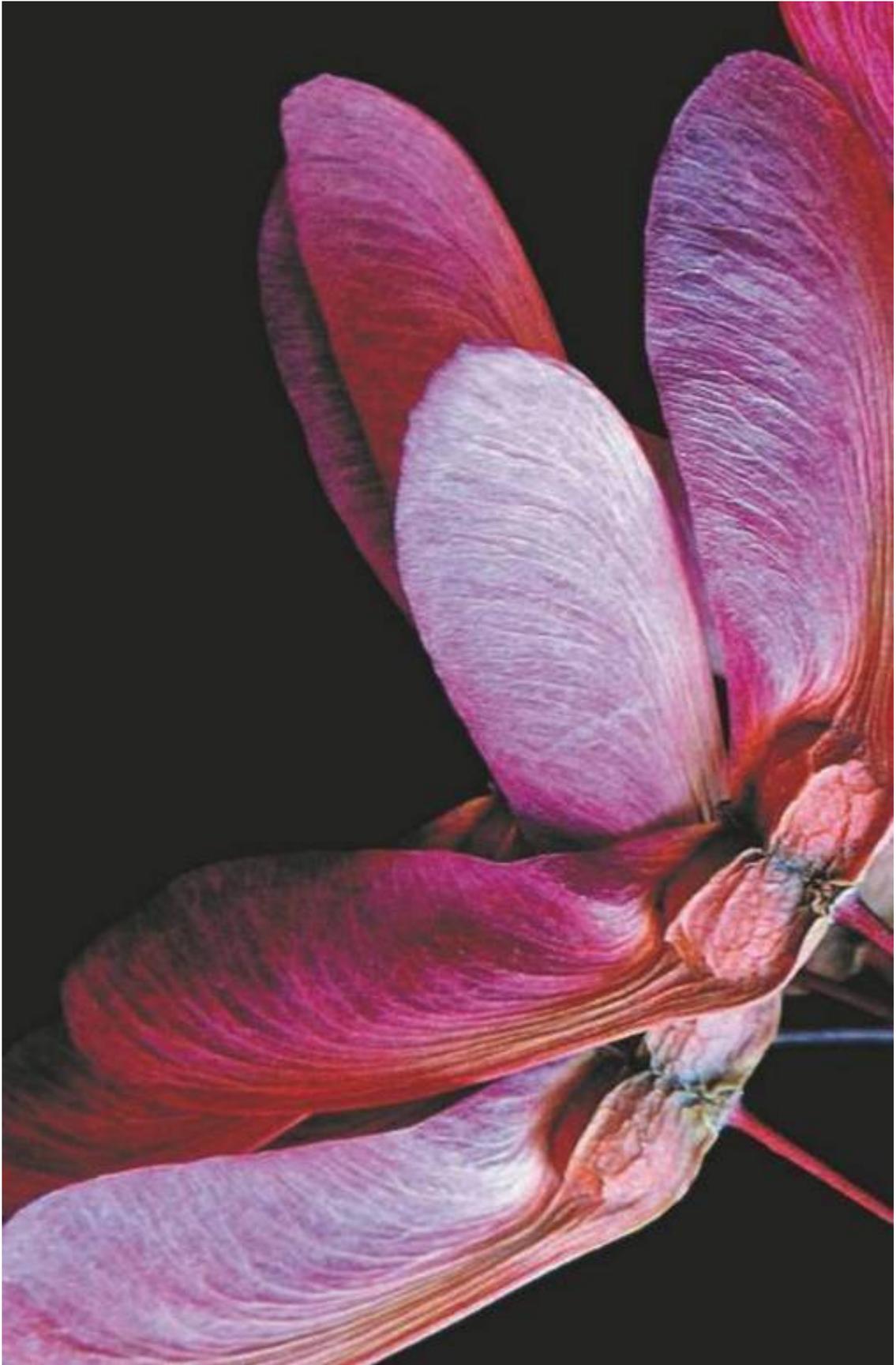
Все функции, которые у животных сконцентрированы в специализированных органах, у растений рассеяны по всему «телу». Это фундаментальное отличие, последствия которого трудно сразу охватить разумом. Эта совершенно иная структура является причиной того, что растения и выглядят совершенно по-другому.

Одно из направлений развития цивилизации – стремление переложить различные человеческие функции на технику, улучшить и облегчить с ее помощью наше существование. А на практике, при создании инструментов и оборудования человек всегда исходил из основных принципов организации животного мира. Например, компьютер создан как «семейство» устройств: процессор, – как бы «мозг» аппарата, – управляет через программное обеспечение жесткими дисками, памятью, видео- и аудиокартами... Это похоже на воспроизведение некоего животного организма с помощью синтетических материалов. Все, что создано человеком, имеет более или менее явным образом выраженную архитектуру подобного рода: центральный командный орган, «мозг» управляет органами, выполняющими его команды. Даже само наше общество выстроено по тому же архаическому принципу, иерархическому и стремящемуся к централизации. В этой модели есть одно преимущество – она способна давать быстрый отклик на раздражение, хотя и не всегда адекватный. Но она весьма хрупка и с трудом принимает инновации.

Растения же, при явном отсутствии центрального органа, который можно было бы сравнить с мозгом, умудряются уловить изменения в окружающей среде с поразительной чувствительностью, значительно превосходящей аналогичные способности животных. Они активно конкурируют за ограниченные ресурсы в почве и атмосфере; выполняют хитроумную оценку баланса своих затрат и прибытков; и, наконец, определяют необходимость ответа на изменение условий и предпринимают соответствующие действия. Их способ существования, таким образом, представляет собой альтернативный путь развития, который следует учитывать сегодня, когда мир меняется с большой скоростью и инновационные решения становятся фундаментальным условием выживания.

Любая централизованная организация обладает слабым местом. И вот тому яркий пример. 22 апреля 1519 года Эрнан Кортес высадился в Мексике, возле того места, где сегодня находится портовый город Веракрус, с сотней моряков, примерно пятью сотнями солдат и несколькими лошадьми. Через пару лет, 13 августа 1521 года, падение великого Теночтитлана ознаменовало конец цивилизации ацтеков. Такая же судьба постигла и империю инков – ее

сокрушил Франсиско Писарро всего 12 лет спустя, в 1533 году. В обоих случаях достаточно мелкие происшествия, то есть пленения правителей: Монтесумы и Атауальпы, – оказались способны обрушить огромные империи, существовавшие целые века, но при этом весьма хрупкие. Это произошло потому, что централизованные системы особенно уязвимы. В нескольких сотнях километров к северу от Теночтитлана племена апачей, гораздо менее прогрессивных, чем ацтеки, и не обладавших даже подобием централизованной системы управления, умудрились долгие годы сопротивляться войскам испанских завоевателей, ведя изнурительную войну.



Семена кленов сухие легкие и имеют крыльшки из мембраны, позволяющие им использовать силу ветра

Растения воплощают гораздо более устойчивую и современную модель выживания, чем животные. Они демонстрируют, как прочность и гибкость могут дополнять друг друга. Их модульная конструкция представляет собой квинтэссенцию современности: кооперативную архитектуру, распределение функций без единого командного центра, способность успешно противостоять повторяющимся катастрофическим событиям без потери функциональности и очень высокую степень приспособляемости к самым серьезным изменениям окружающей среды.

Сложность внутренней организации и функциональные особенности растения требуют высокоразвитой сенсорной системы, которая позволяет его организму эффективно использовать внешнюю среду и быстро реагировать на потенциально опасные изменения. Так, растения, чтобы оценивать ресурсы, поступающие из внешней среды, используют весьма хитроумную сеть, сформированную постоянно растущими корнями, активно ощупывающими почву. Не похоже ли это на Интернет – символ современной жизни, построенный по тому же принципу?

Ничто не может сравниться с растениями по части прочности и способности к инновациям. Благодаря эволюции, растениям удалось выработать разнообразные способности, кардинально отличающиеся от способностей представителей животного мира, и с этой точки зрения они представляют собой гораздо более современные организмы.

Об этом следует помнить, проектируя наше будущее.

Библиография

C. Risen, The world's most advanced building material is... wood. And it's going to remake skyline, «Popular science», 284 (3), 2014.

State of the world's plants, отчет за 2016 Королевских Ботанических садов Кью, см. на сайте https://stateoftheworldsplants.com/report/sotwp_2016.pdf.

I Память без мозга

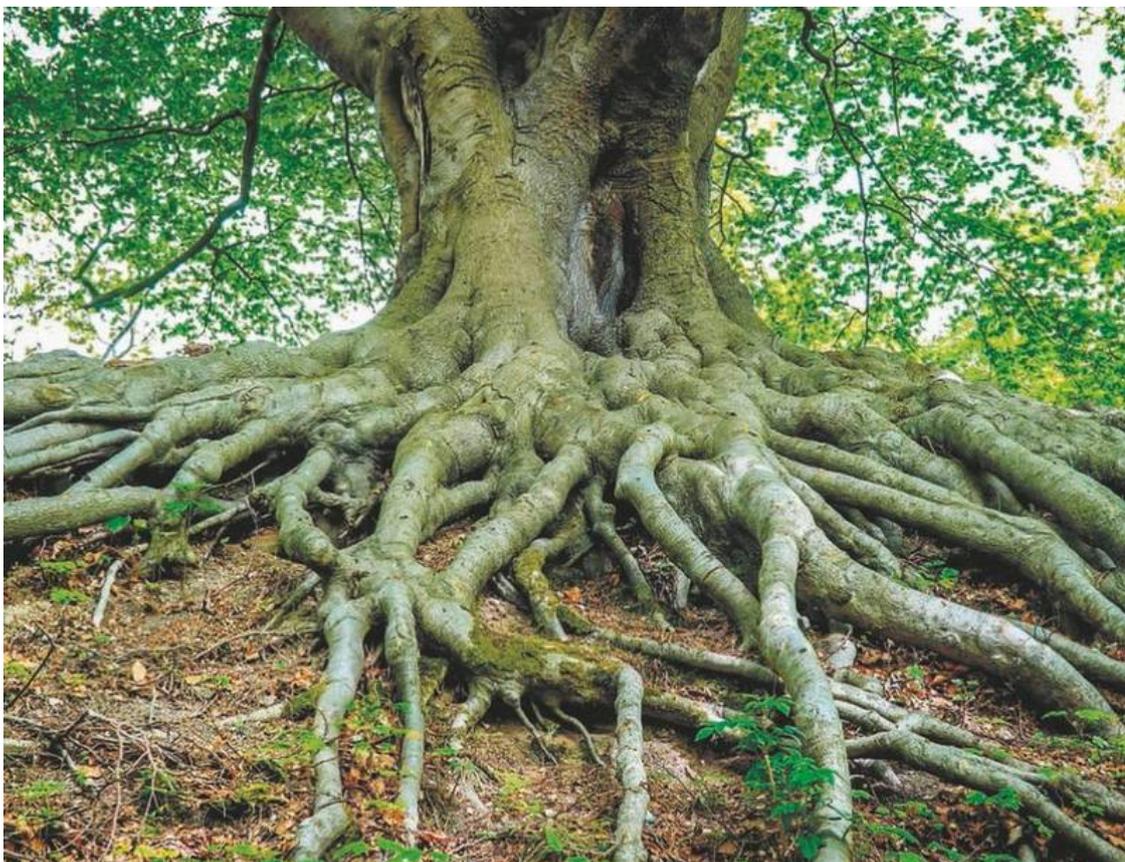
Память (в наиболее широком смысле) – способность, свойственная множеству организмов, сохранять более или менее длительное время более или менее полную информацию об испытанном воздействии внешних раздражителей и собственных реакциях на него.

Словарь итальянского языка Треккани

Ум – это жена, воображение – любовница, память – служанка.
Виктор Гюго. Послесловие к моей жизни

Мы обладаем огромной памятью, о которой не отдаем себе отчета.

Дени Дидро



Мы привыкли определять растение по той его части, которая находится над землей. А на самом деле корневая система составляет порой не менее половины тела растения, и это, пожалуй, самая интересная его часть

Растения или животные: опыт, который учит



Я часто думаю о разумности растений, поэтому не мог обойти вниманием и их способность к запоминанию. Это утверждение может показаться странным, но попробуйте задуматься об этом хотя бы на минуту. Нетрудно представить, что разум может быть результатом работы не одного-единственного органа, что это свойство жизни, и он не обязательно базируется в мозгу. Растения, с этой точки зрения, служат весьма очевидным доказательством того, что мозг есть всего лишь эволюционная «случайность», присущая относительно меньшему количеству живых существ, – животных, – в то время как для подавляющего большинства, то есть растений, характерно развитие разума без формирования специального органа, для этого предназначенного. С другой стороны, решительно невозможно вообразить себе разум, который не базировался бы на той или иной форме памяти.

Память на самом деле является отдельной от разума характеристикой живого существа: без нее невозможно учиться, а способность к обучению является одним из свойств, лежащих в основе интеллекта. Может ли существо, обладающее инстинктами, быть неспособным повысить эффективность реакции на повторяющиеся проблемы одного и того же типа? Я уверен, каждый из нас осознает, что порой решает повторяющиеся жизненные задачи одним и тем же манером, отдавая себе отчет в том, что это неправильно. Я также думаю, что любой мог бы привести многочисленные примеры из жизни друзей или родных, упорно не меняющих свои способы реагировать на одни и те же, неизменно возникающие в их жизни личные проблемы. Однако это только поверхностное впечатление: за вычетом ряда исключений или случаев особых патологий, живые организмы вполне способны учиться на собственном опыте. Растения тоже следуют этому принципу и реагируют – только более тонко и точно – на повторяющиеся изменения, возникающие в окружающей среде. Это было бы невозможно без способности сохранять некую часть информации, относящуюся к способу выживания в тех или иных меняющихся обстоятельствах, иными словами – без памяти.

Однако слово «память» практически не используется в описании деятельности растений, аналогичной той, для которой животными используется мозг. Когда речь идет о растениях, у которых нет такого органа, наука использует специфические термины: «акклиматизация», «отвердение», «кондиционирование», «гидроизоляция»... Вся эта словесная эквилибристика, придуманная за годы исследований учеными, нужна только для того, чтобы не использовать старое, удобное и простое слово «память».

Тем не менее все растения способны учиться на собственном опыте и обладают механизмом запоминания. Приведем пример: представьте себе какое-нибудь растение, например, оливковое дерево, которое переживает некий стресс: засуху, засоление почв или нечто тому подобное. Оно непременно внесет изменения в собственное строение и метаболизм, чтобы обеспечить выживание. Ничего странного, не правда ли? Если спустя некоторое время мы подвергнем это же растение воздействию тех же факторов, возможно даже в более агрессивной форме, мы сразу же заметим: оно ответит на стресс значительно успешнее. Значит дерево выучивает урок! Оно каким-то образом сохранило следы использованных решений и, когда понадобилось снова приспособливаться, быстро их извлекло и среагировало более эффективно и точно.

Таким образом, растение чему-то научилось и сохранило в памяти лучшее решение, наиболее подходящее для выживания.

У растений нет короткой памяти

Сравнительные исследования памяти, – в отличие от изучения многих других присущих растениям важных способностей, демонстрирующих явное сходство с аналогичными способностями животного мира (такими как интеллект, коммуникативные способности, способность к разработке стратегии защиты, поведенческие характеристики и т. д.), – начались не так давно, хотя некоторые теории уже сформировались. Первый ученый, который занялся этим вопросом, оправдал возложенные на него ожидания. Речь идет, конечно же, о Ламарке. О Жане-Батисте Пьере Антуане де Моне, шевалье де Ламарке (1744–1829). Торжественность имени вполне соответствует важности его вклада в науку. Отец биологии – в прямом значении слова, поскольку именно он придумал это название – интересовался, как и все натуралисты той эпохи, жизнью растений. А в особенности – феноменом быстрых движений, присущих так называемым «чувствительным растениям» (то есть тем, которые мгновенно и явственно реагируют на определенные раздражители). Значительную часть своей долгой научной жизни он посвятил детальному исследованию механизма закрытия листьев у растения Мимоза стыдливая (*Mimosa pudica*), стараясь понять, что приводит его в действие. Следует отметить, что у нас до сих пор нет четкого представления об этом механизме.



Мимоза стыдливая в цвету: соцветия розового цвета утыканы многочисленными удлиненными тычинками, придающими растению забавную пушистость.

Полагаю, все знают, что это за растение. Сегодня мимозу продают даже в супермаркетах. Однако для тех, кто никогда не видел этого цветка, поясню: речь идет о необычном и изящном растеньице, которое, в полном соответствии со своим названием, деликатно складывает листочки воистину стыдливым движением в ответ на внешнее воздействие (например прикосновение).

Именно благодаря мгновенной реакции, столь редкой в растительном мире, эта необычная жительница тропических лесов американского континента, прибыв в Европу, вызвала огромный интерес.

Ею интересовались такие выдающиеся ученые, как Роберт Гук (1635–1703), великий английский естествоиспытатель, усовершенствовавший микроскоп и описавший впервые в истории клетку, а также французский врач Анри Дютроше де Неон (1776–1847), считающийся отцом биологии клетки. Таким образом, на протяжении многих лет Мимоза стыдливая была настоящей звездой ботаники.

Перед ее колдовским очарованием не устоял и наш шевалье де Ламарк, который самым детальным образом изучил ее поведение с помощью многочисленных и порой довольно оригинальных экспериментов. Одна способность мимозы сразила Ламарка просто наповал. Если растение подвергать повторяющимся воздействиям одинакового характера, некоторое количество листьев прекращает реагировать и полностью игнорирует все последующие стимуляции. Ламарк был прав, приписав это поведение «усталости»: складывая листья раз за разом, растение растратило все запасы энергии, у него просто кончились силы. Нечто подобное происходит во время работы мышц у животных, которые не могут двигаться до бесконечности. Такой же ограниченный запас энергии оказался присущ и мимозе. Однако не во всех случаях.

Ламарк отметил, что иногда, после серии одинаковых раздражений, «субъект» перестает складывать листья задолго до исчерпания запасов энергии. Это явление озадачило ученого, он не мог понять причину подобного – явно непредсказуемого – поведения. Загадка оставалась неразгаданной до тех пор, пока в один прекрасный день исследователь не наткнулся на результаты опытов своего коллеги.

Рене Дефонтен (1750–1833) провел эксперимент, который ответил на мучавший Ламарка вопрос. Французский ботаник поставил весьма оригинальный эксперимент: он поручил одному из своих студентов провезти в коляске вокруг Парижа довольно большое количество растений и тщательно описать их поведение. Особое внимание ученик должен был обращать на случаи складывания листьев. Студент, имя которого осталось неизвестным, явно успел привыкнуть к необычным фантазиям своего учителя. Установив на сиденьях коляски многочисленные горшки с мимозами, он приказал кучеру спокойной рысью, по возможности без остановок, провезти его по самым красивым местам французской столицы. Увы, наслаждаться красотами ему не полагалось. Задание требовало безостановочно записывать в полевой тетради мельчайшие подробности поведения растений, которые должны были складывать листочки, каждый раз, как коляска подсакивала бы на парижской мостовой. Эксперимент вряд ли бы показался ученику сильно интересным, а Дефонтен вряд ли бы был удовлетворен результатом, если бы не произошло нечто непредвиденное.

Да, растения сложили листочки при первом же подскоке повозки на камнях мостовой. И что же? Чего все-таки ожидал ученый от этого эксперимента? Наверняка ученик подумал, что ничего нового опыт не даст. Однако, когда они отъехали подальше, растения повели себя неожиданным образом – вначале одно, затем еще два, потом уже пять мимоз вдруг расправили листья, хотя тряска продолжалась с той же интенсивностью. Что же случилось? Студент был потрясен и записал немедленно в тетрадь: растения просто привыкли!



Мимоза стыдливая – чувствительное растение родом из Латинской Америки, с берегов Карибского моря, распространенное во многих странах тропического пояса.

Результаты парижского уличного опыта остались в архивах Ботанического общества и были описаны в статье «Flore française» («Флора Франции») Ламарком и его соавтором Огюстеном-Пирамом Декандром (1778–1841). Этот результат был почти забыт, что случается – гораздо чаще, чем думают люди – со многими гениальными озарениями. Однако выводы, вытекающие из эксперимента Дефонтема, стали понятны только сегодня. Они решительно указывают на адаптивное поведение и свидетельствуют о запоминании информации. Как рассада Мимозы стыдливой смогла бы привыкнуть к постоянным сотрясениям повозки, если бы не обладала определенной формой памяти?

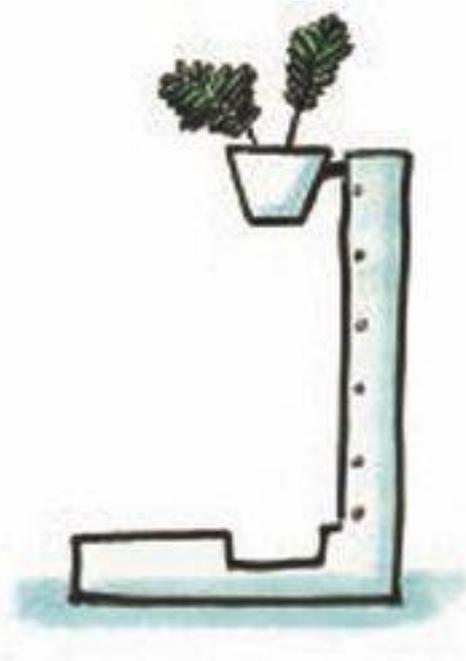
Это потрясающее предположение, тем не менее, долгое время отвергалось научной средой – до тех пор, пока в мае 2013 года Моника Гальяно, исследователь из Университета Западной Австралии в Перте, не приехала на стажировку в мою лабораторию. Когда Моника прибыла в Международную лабораторию нейробиологии растений, которой я руковожу во Флорентийском университете, она специализировалась на морской биологии, и ее интересовали многие научные проблемы: от философии эволюции до ботаники. Моника хотела улучшить свои знания о мире растений, точнее – узнать больше об их поведении. И вот, – после долгих дискуссий о целях стажировки, – мы решили поставить несколько экспериментов, которые, с одной стороны, оправдали бы ее стажировку в моей лаборатории, а с другой – смогли бы удовлетворить наше любопытство и дать ответ на вопросы, которые возникли в ходе обсуждения особенностей поведения растений.

Кроме того, я полагал, что экспериментальное доказательство гипотезы о том, что растения обладают памятью, имеет фундаментальное значение. Многим моим коллегам эта гипотеза казалась интуитивно правильной, но она не имела под собой строгой научной базы. После того как мы согласовали цели нашего исследования, началось самое трудное: как показать, что растения запоминают свой ответ, и это помогает им результативнее отвечать на внешние воздействия?

За несколько месяцев до этого я посетил филиал нашей лаборатории в Японии, в городе Китакою. Мой близкий друг и коллега Томонори Кавано, руководитель филиала, с гордостью показал мне некоторые из тех тысяч томов, которые Университет Сорбонны в Париже списал и отправил на уничтожение и которые он, благодаря своей уникальной способности договариваться, спас от гибели и привез в Японию. Среди этих сокровищ и обнаружилась оригинальная копия «Флоры Франции» Ламарка и Декандоля, в которой мы нашли описание опыта Дефонтена, возившего по парижским улицам рассаду Мимозы стыдливой. История катания мимозы в коляске нас развеселила, а Томонори не без сарказма назвал ученика Дефонтена идеалом японского студента. Я же никак не мог выкинуть ее из головы и рассказал о ней Монике. Возник вопрос: можно ли повторить этот классический опыт на современной научной основе? Причем так, чтобы его результаты могли служить доказательством? Несколько дней спустя был готов протокол исследования, которое мы назвали «опытами Ламарка и Дефонтена».

В 2013 году найти коляску с лошастью, чтобы возить растения по городу, не представлялось возможным, но мы сохранили сам принцип повторяющегося возбуждения. Эксперимент должен был убить двух зайцев:

– показать, что растения Мимозы стыдливой способны после определенного количества повторений опознать некое раздражение как неопасное и прекратить складывать листья;





Растения Мимозы стыдливой учатся на собственном опыте, распознают безопасные внешние воздействия (такие как спуск горшка на несколько сантиметров вниз) и не складывают листья.

– убедиться, что эти же растения после определенного периода подготовки способны научиться различать раздражения, опознавать из двух разных воздействий уже знакомое и реагировать соответствующим образом. Иными словами, мы хотели понять, могут ли растения запоминать воздействие, не грозящее им опасностью, и отличить его потом от другого, возможно, несущего угрозу.

Довольно быстро мы собрали прибор для опыта – простой, но эффективный.

«Ламарк и Дефонтен» позволял постепенно спускать горшок с растением вниз через определенные промежутки времени и с шагом в десяток сантиметров. Это перемещение можно было измерить с высокой точностью, и именно оно было воздействием на растение.

Результаты не замедлили себя ждать и оказались вдохновляющими. Они подтвердили наблюдения Дефонтена: после нескольких повторений (примерно семи или восьми) растения прекращали складывать листья и переставали, со все возрастающим равнодушием, реагировать на спуск.

Дальше надо было понять, что послужило причиной: простая усталость, или растения на самом деле поняли, что бояться им нечего?

Единственный способ выяснить это доподлинно заключался в том, чтобы подвергнуть участников эксперимента другому воздействию, отличному от первого. Для этого мы придумали рычаг, который сдвигал горшки горизонтально, и подвергли растения новому воздействию. Оно тоже было вполне измеряемым, и растения ответили на него, сложив листочки. Прекрасный результат. Наша установка «Ламарк и Дефонтен» помогла показать, что растения могут опознать безопасное событие и отличить его от других, несущих потенциальный риск. Именно это они продемонстрировали во время нашего эксперимента.

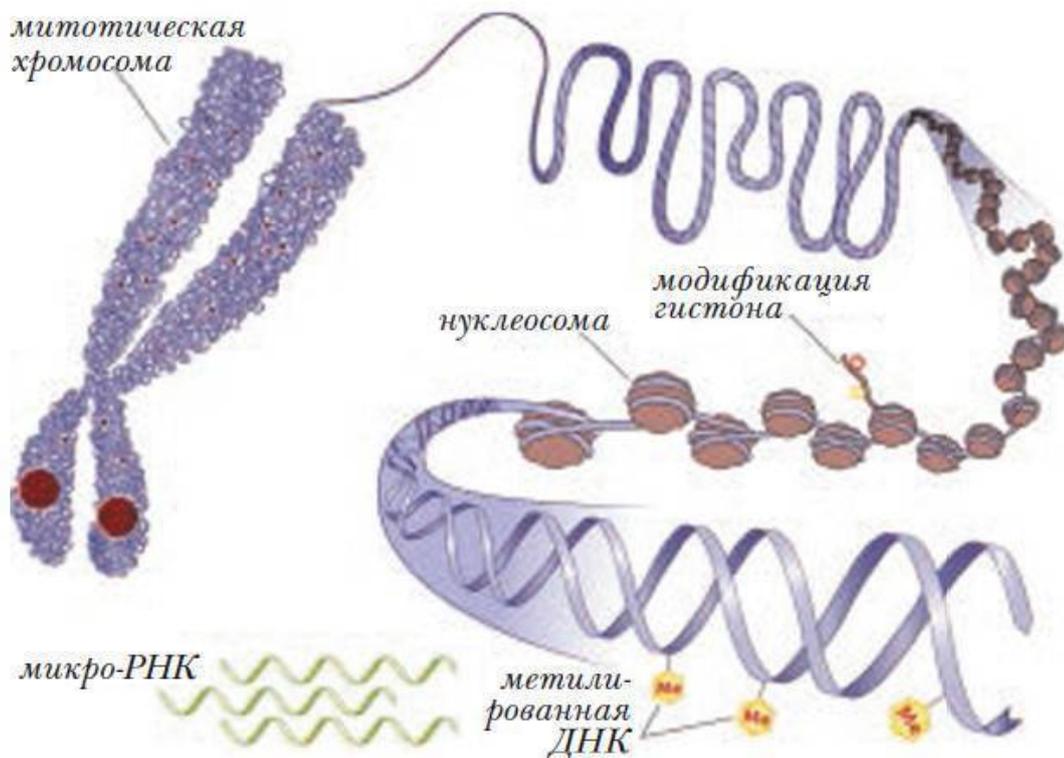
Но насколько долго может служить такая память? Для того чтобы ответить на этот вопрос, мы подвергли испытанию около сотни растений, при этом каждое из них учили различать два разных воздействия. Повторный опыт показал, что они запомнили то, чему мы их учили. Более того, результат превзошел все наши ожидания: Мимоза стыдливая помнила о характере воздействий в течение 40 дней. Это поразительно длительный период по сравнению с продолжительностью памяти многих насекомых, и даже некоторых животных с более высокой организацией.

Как работает этот механизм у растений – до сих пор загадка, ведь мозга то у них нет. Многочисленные исследования, посвященные прежде всего реакции на стресс, показывают, что, похоже, решающую роль в формировании памяти о событии играет эпигенетика растения. Эпигенетика описывает наследуемость изменений, которые не связаны с модификациями последовательности ДНК. Другими словами, речь идет о таких изменениях, как модификация гистонов – протеинов (белков), играющих важную роль в формировании ДНК, или метилировании, то есть связывании метильной группы $-CH_3$ с азотным основанием самой ДНК. Эти процессы изменяют активность тех или иных генов, но не саму их последовательность.

Совсем недавно выяснилось, что значительная часть цепочки ДНК, не играющая роли в кодировании процессов, но присутствующая в клетке и ранее считавшаяся «лишней», выполняет совершенно неожиданные задачи, крайне важные для биологии клетки. Например, эта якобы лишняя часть отвечает за воспроизводство молекулы РНК, играющей ключевую роль в развитии эмбриона, в обеспечении функционирования мозга и других процессов, без которых невозможна никакая жизнедеятельность. Как это часто случалось в истории биологии, значительный прогресс в науке стал возможным благодаря исследованиям растений (прежде всего – предпринятым в самое последнее время), многочисленным попыткам прояснить тайну их памяти. Конкретный пример: как растениям удастся запомнить, когда нужно начинать цветение? Их репродуктивный успех и вообще способность производить потомство основаны, прежде всего, на умении выбрать правильное время. Многие растения расцветают после ухода зимних холодов, спустя определенное количество дней с окончания зимы. Выходит, они способны понять, сколько времени прошло.

Несомненно, речь идет об эпигенетической памяти. Но до совсем недавнего времени мы вообще ничего не знали о том, как она работает. В сентябрьском номере за 2016 год журнала *Cell reports* группа исследователей под руководством Кариссы Санбонматсу из Национальной лаборатории Лос-Аламоса опубликовала результаты, полученные в процессе работы с особой последовательностью РНК, называемой COOLAIR. Именно она контролирует наступ-

ление момента весеннего цветения, определяя, сколько времени прошло с того момента, когда растение подвергалось воздействию холода. Если эта последовательность в РНК дезактивирована или удалена, растения не способны цвести вовсе. Не углубляясь в детали сложного процесса функционирования последовательности COOLAIR (которую можно назвать репрессором репрессора цветения), следует отметить, что подобные механизмы распространены куда как шире, чем предполагалось ранее, и, судя по всему, служат основой для растительной памяти. У растений эпигенетические модификации, похоже, играют более важную роль, чем у животных. Вероятно, что изменения в активности генов в результате стрессового воздействия могут быть запомнены клеткой именно благодаря эпигенетическим модификациям.



Метилирование – одна из наиболее распространенных эпигенетических модификаций ДНК.

Из недавних достижений следует упомянуть работу группы ученых под руководством Сьюзен Линдквист из отдела биологии Массачусетского технологического института в Кембридже (США). Они заметно продвинулись в попытках доказать гипотезу о том, что растения, – по крайней мере в тех случаях, когда подразумевается наличие у них памяти о времени цветения, – могут использовать такие протеины, как прионы. Прионы – это белки, у которых аминокислотная цепочка скручена аномальным образом (по-английски – misfolding) и которые провоцируют «эффект домино», распространяя аномальное строение на все соседние белковые цепочки. Животным прионы не несут ничего хорошего: они вызывают у них такое страшное поражение, как болезнь Крейтцфельда-Якоба, более известную как коровье бешенство. Однако растениям прионы позволяют иметь биохимический вариант памяти.

Можно подумать, что такого рода исследования имеют чисто научное значение для ботаники, однако это не так. Постигание того, как работает память, действующая вне мозга, разгадка тайны растений помогают нам понять и то, как действует наша собственная память, какие механизмы лежат в основе различных отклонений или патологий, как память может храниться вне нервной системы. Кроме того, открытия в области биологических законов работы памяти

имеют огромное значение для будущих технологических прорывов. Другими словами, открытия в этой сфере имеют значение для всех областей науки и несут в себе возможности, которые пока даже трудно вообразить.

Библиография

A.-P. De Candolle, J.B. Lamarck, *Flore française ou descriptions succinctes de toutes les plantes qui croissent naturellement en France, Paris 18053.*

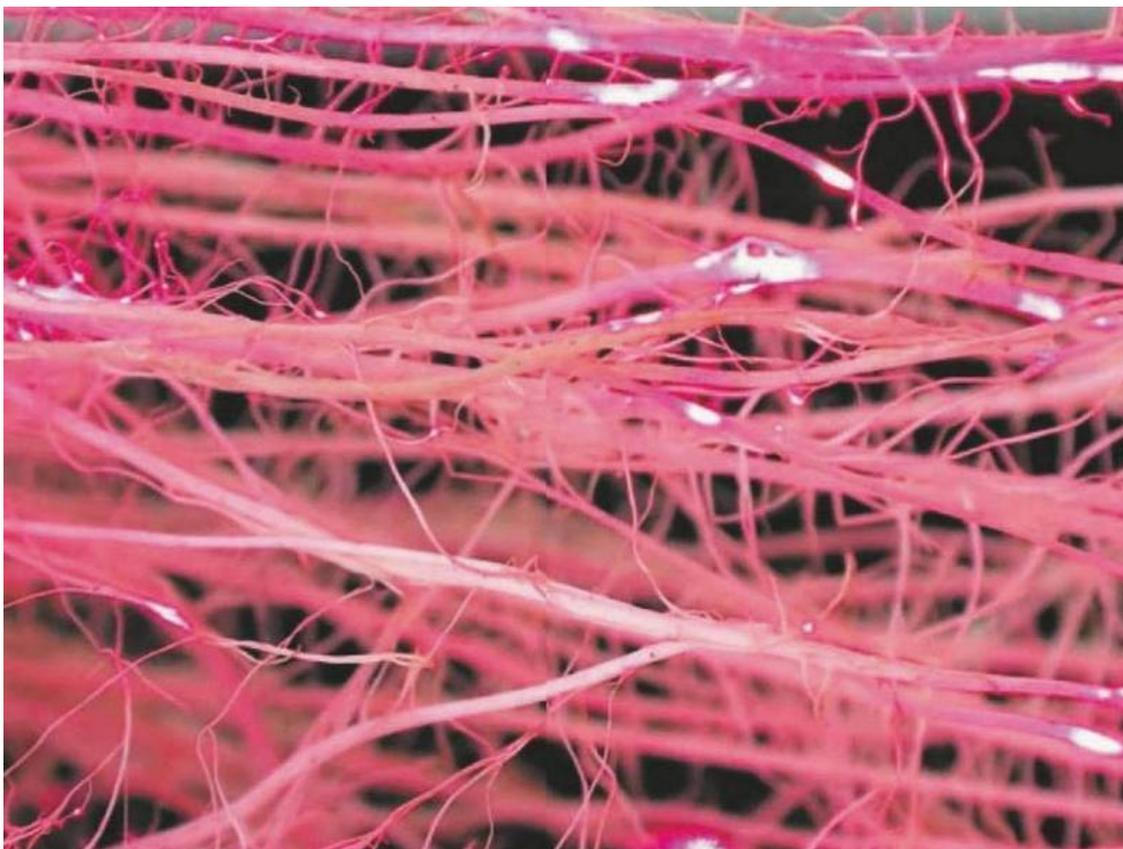
S. Lindquist et al., *Luminidependens (LD) is an arabidopsis protein with prion behavior*, «*Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America*», 113 (21), 2016, сmp. 6065–6070.

S. Mancuso et al., *Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters*, «*Oecologia*», 175 (1), 2014, сmp. 63–72.

K.Y. Sanbonmatsu et al., *COOLAIR antisense RNAs from evolutionarily conserved elaborate secondary structures*, «*Cell reports*», 16 (12), 2016, сmp. 3087–3096.

II От растений к плантоидам

*Загляни глубже в природу, и ты поймешь все гораздо лучше.
Альберт Эйнштейн*



Корневая система может состоять из миллионов ростков. Изображение позволяет увидеть небольшой кусочек сложнейшей корневой системы кукурузы.

Являются ли технологии, вдохновленные биологией, чем-то новым?

Спустя годы после появления первых прогнозов, многочисленных исследований, поисков и корректировок долгожданная революция роботов, кажется, наконец принимает вызов, брошенный человечеством. Дешевые и надежные автоматы через несколько десятков лет смогут заменить людей во многих видах деятельности, которая раньше считалась исключительно человеческой прерогативой. Некоторые профессии уже сейчас могут выполняться роботами – они вполне способны убрать пыль в квартире, обрезать траву на газоне или собрать мусор на улице, и это не воспринимается больше как фантастика.

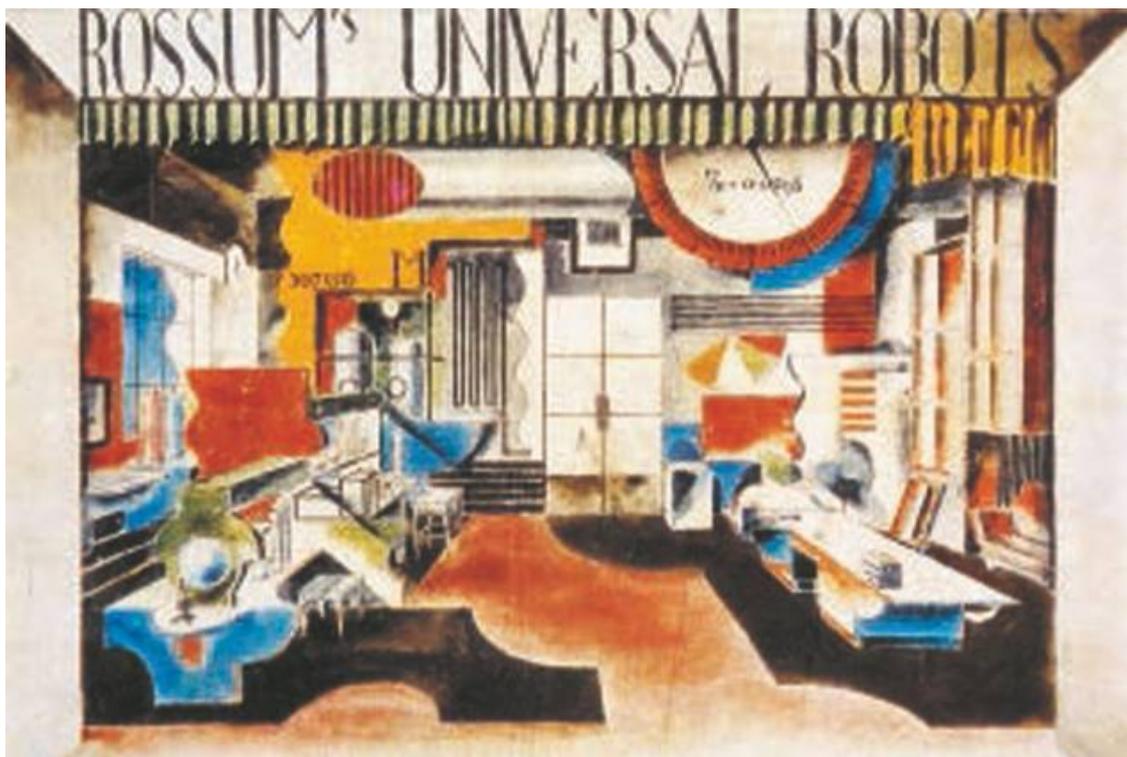
Несмотря на то что автоматы давно стали реальностью, и в некоторых областях без них уже нельзя обойтись, мир все еще убежден, что они по-прежнему где-то в будущем. Их выход на сцену все еще ожидается. Это во многом ошибочное мнение порождено представлениями о том, как должны работать эти новые машины.

На самом деле их распространение уже давно идет по экспоненте в таких сферах, как индустриальная автоматизация, медицина, подводные исследования и подобных – там без роботов уже не обойтись. При этом каждый день появляются новые роботы: саперы, мусорщики, подводники... Однако, если обсуждать эту тему с друзьями и знакомыми, выясняется, что никто, похоже, не отдает себе отчета в том, что, по сравнению с ситуацией 30-летней давности, мы на самом деле окружены роботами со всех сторон. Почему так? Полагаю, из-за того, что массовые представления о роботах сформированы сотнями фильмов и книг, в которых те изображены в виде андроидов, чья конструкция имитирует поведение и облик человека.

Между прочим, само слово «робот» произошло от чешского «robota», означающего тяжелый физический труд (по-польски «robotnik» тоже значит не работник, а именно «фабричный рабочий»). Это слово было придумано чешским писателем Карелом Чапеком для его пьесы, написанной в 1920 году и называвшейся «R.U.R.» – «Россумские универсальные роботы». Новое слово быстро стало популярным и способствовало распространению новых идей. По сюжету пьесы, искусственные рабочие были на самом деле органическими гуманоидами, которых собирали на фабрике из искусственно выращенных человеческих органов, чтобы облегчить жизнь настоящим людям. В значительной мере поэтому в обществе распространилось убеждение, что робот, даже механический, должен обязательно иметь человекоподобный вид и быть нашей упрощенной копией. Спустя несколько лет, в 1927 году, на экраны вышел экспрессионистский фильм Фрица Ланга «Метрополис», окончательно сформировавший в общественном сознании образ человека-машины.

Однако за пределами фантастических произведений никто никогда не утверждал, что человеческий облик является самым подходящим для робота. Конечно, наше представление о том, что эти новые машины должны быть похожими на человека, несет в себе известную долю соблазна, поскольку предполагает, что целью новых технологий является облегчение и улучшение человеческой жизни. Человек ведь всегда пытался воспроизвести самого себя – или по крайней мере основы своего животного дизайна – при создании инструментов, помогающих упростить жизнь. Возьмем, к примеру, компьютер, неотъемлемый признак современности. Может показаться, что он не имеет с нами ничего общего. Однако процессор имеет сходство с мозгом и управляет программным обеспечением, периферическими устройствами, жесткими дисками, видео- и аудиокартами, представляющими собой как бы технологические воплощения наших органов. Все, что конструирует человек, имеет в более или менее явном виде ту же архитектуру, что и наше тело: «мыслящий мозг», управляющий «исполнительными органами». Даже наше общество, как можно убедиться, имеет аналогичную структуру.

К счастью, в последние годы для создания новых материалов и механизмов начал использоваться биоинженерный подход, стремящийся подражать природе в процессе решения технических проблем. Хотя ничто не ново под луной: еще Леонардо (1452–1519) предлагал эти идеи во многих своих трудах. Например, он создал «робота-рыцаря», придуманного им около 1495 года и ставшего проектом первого в истории действующего робота-гуманоида. Согласно записям в Атлантическом кодексе и другим рукописям, рыцарь мог переступать ногами, двигать руками и головой, открывать рот и даже издавать звуки. Изобретение было придумано для одного из великолепных праздников Миланского дома Сфорца и явно вдохновлено изучением природы, поскольку Леонардо использовал данные анатомических исследований, вылившихся в Витрувианского человека – знаменитый рисунок тосканского гения пером и тушью.



Эскиз декораций к спектаклю по фантастической пьесе Карела Чапека «R.U.R.», поставленной в Праге в 1921 году.



Офис Домина, творца роботов и главного героя театральной постановки; эскиз Владислава Гофмана.

Биоинженерия принесла с собой новые веяния и в современное роботостроение. Однако человек перестал быть единственной моделью для подражания: весь животный мир стал источником идей и современных решений. Не так давно появились роботы, которых можно назвать анималоидами и инсектоидами¹, хорошие результаты были получены при создании роботов, имеющих свойства саламандры, мула, даже осьминога. Естественно, если вы хотите создать робота, который бы мог под водой брать и передвигать предметы, самое надежное – попробовать создать механизм с гибкими как у осьминога щупальцами. Если же вам необходим робот-амфибия, способный работать то в водной среде, то на воздухе – кто лучше саламандры справится с такой задачей? Но пока все-таки биоинженерия ограничивается миром животных. А как же растения? До сих пор считалось, что они не могут дать ничего значительного современным технологиям.

Однако я с этим не согласен. Верю, что растительное царство может дать нам много полезного. Растения потребляют энергию крайне умеренно, способны выполнять ограниченные движения, состоят из отдельных «модулей», весьма прочны, обладают распределенным интеллектом (в противоположность централизованному интеллекту животных) и объединяются в колонии. Если вам требуется нечто прочное, энергетически устойчивое и легко адаптирующееся к постоянным изменениям во внешней среде, то на нашей планете не найти ничего лучше растения.

¹ От лат. animal – животное, и insectum – насекомое. – Прим. ред.

Почему растения

Возможно, вы уже недоумеваете: «Что, серьезно? Робот-растение? Для чего же он может понадобиться?» Давайте посмотрим вместе. Растения – это многоклеточные эукариотические организмы², обладающие способностью к фотосинтезу, обладающие, за редким исключением, надземной частью и корневой системой. Для того чтобы компенсировать отсутствие четко выраженного пола и адаптироваться к постоянно меняющейся среде, и не имея возможности перемещаться, растения выработали способность двигаться вверх через рост и потрясающую пластичность.

Реакция на окружающую среду проявляется в виде переориентации клеток, известной под названием тропизм³. Она характеризуется направленным ростом отдельных частей (органов) растения, особенно корневой системы, в ответ на внешние стимулы, самым важным из которых является свет (фототропизм), сила тяготения (гравитропизм), прикосновение (тигмотропизм), уровень влажности (гидротропизм), содержание кислорода (окситропизм) и электрическое поле (электротропизм). Благодаря опытам, проведенным недавно в моей лаборатории, к этому списку добавился еще фонотропизм – рост, стимулируемый звуком. Сочетание всех этих способностей позволяет растению выживать во враждебной среде и заселять почвы, развивая корневую систему, обеспечивающую стабильное существование. Порой эта система значительно превышает по массе и длине надземную часть, и достигает просто невообразимых размеров.

Чтобы увеличить поглощающую способность корней, природа прибегает к удивительному трюку, похожему на тот, что описан в поэтической античной легенде о царице Дидоне, мифической основательнице Карфагена. В ней рассказывается об африканском правителе Иарбанте, который пообещал продать царице, бежавшей со своим народом из Тира, столько земли, сколько покроет воловья шкура. Иарбант хотел обмануть царицу, но она умудрилась решить задачу оригинальным способом в свою пользу. Разрезав шкуру на тонкие полоски и связав их между собой, Дидона обвила получившейся веревкой гору, на которой и был основан город. Аналогичным образом один стебель пшеницы может под землей протянуть корни на двадцать километров по горизонтали (такова общая длина всех корневых ответвлений). Если же мы решим измерить объем этих корневищ, то сможем поместить их в кубик со стороной в полтора сантиметра.

Другая фундаментальная характеристика корней – способность находить пути для роста в самых прочных материалах. Несмотря на то что они кажутся довольно тонкими и нежными, корни растений могут выдерживать огромное давление и способны раскалывать самые твердые скалы благодаря клеточному делению и экспансии. Корни растений могут прорастать сквозь поры и трещины в почве, размером чуть больше самих корней. Вода, находящаяся внутри клеток, создает давление, которое дает силу, необходимую для роста и проникновения. Осмотический потенциал в корнях создает градиент потенциалов, поддерживающий циркуляцию жидкости внутри клетки. Клетки раздуваются, и их мембраны подталкивают твердую преграду. Давление, возникающее таким образом, варьируется в пределах, в зависимости от вида растения, от одного до трех мегапаскалей, и объясняет, каким образом растения умудряются разрушить такие прочные материалы, как асфальт, цемент или даже гранит.

² Эукариоты – домен (надцарство) живых организмов, клетки которых содержат ядро. Эукариотами являются все животные, растения, грибы и простейшие. – *Прим. ред.*

³ От *греч.* τροπος – рост, направление. – *Прим. ред.*

Индивидуальность растений

У растений есть еще одно, мало известное свойство, которое, по идее, могло бы вдохновить создателей робототехники – они представляют собой многократно повторяющуюся модульную конструкцию. Тело дерева состоит из реплик одного и того же модуля, и вместе они составляют единое целое и обеспечивают общую физиологию. Именно эта особенность строения отличает растительный мир от животного. Поэтому понятие «особь», применяемое для обозначения представителей животного мира, звучит абсурдно в мире растений. Попробуем понять, почему это так. Наиболее распространены два различных определения понятия «особь»:

1. Этимологическое. Особь – это биологическая сущность, которая не может быть разделена на две части без последствий – хотя бы одна из получившихся частей обязательно умрет.

2. Генетическое. Особь – это биологическая сущность, обладающая геномом, остающимся неизменным во времени и пространстве. В пространстве – поскольку геном неизменен в любой клетке организма, во времени – поскольку он сохраняется в клетках неизменным всю жизнь.

Однако эти определения утрачивают смысл, если попробовать применить их к растению.

Попробуем начать с этимологии: растение, разделяясь надвое, размножается. В конце XIX века французский натуралист Жан-Анри Фабр (1823–1915) написал, что «животных, в большинстве случаев, поделить на части невозможно – это ведет к уничтожению; растения, наоборот, при делении на части размножаются». Этот вывод понятен не только исследователям, но и обычным садоводам-любителям: многие используют методы размножения растений черенками или посредством прививок, и вполне успешно.

Однако и генетическое постоянство кажется не столь уж бесспорным в царстве растений. Животное, вне зависимости от размеров, живет с геномом, одинаковым во всех клетках тела, и сохраняет его неизменным всю жизнь. На растения данное правило, похоже, не распространяется – с этим сталкиваются исследователи, занимающиеся мутациями плодовых деревьев. История плодового садоводства рассказывает о случаях обнаружения на одном и том же дереве ветвей-мутантов, с плодами, отличающимися от остальных плодов. Тому масса примеров, потому что таким путем появились многие сорта фруктов. Нектарин – скорее всего, результат мутации персика, а виноград сорта «пино гриджио» – мутация сорта «пино nero».

Удивительным примером сосуществования двух разных геномов в одном растении могут служить так называемые «химеры», то есть растения, которые подобно персонажу греческой мифологии, состоят из разных видов, сосуществующих в результате прививки одного растения к другому. Таким образом получаются разные фруктовые «дикивины». Например, апельсины витой формы, или гибрид мандарина с грейпфрутом – яркие примеры особенностей растительной жизни. Среди химер следует особо отметить бишцарию, *Citrus aurantium bizzarria*, довольно редкое растение, приносящее плоды, похожие на горький апельсин с хвойным привкусом. Это растение длительное время входило в аптечный набор первой помощи. Оно было впервые описано в 1674 году директором ботанического сада Пизы Пьетро Нати (1624–1715) и долгое время считалось утраченным. Оно было обнаружено вновь в 60-е годы прошлого века. Это один из самых удивительных феноменов в мире растений: все деревья одинакового возраста имеют одни и те же генетические изменения.

Таким образом, выделить «особь» в мире растений очень и очень трудно. Уже в конце XVIII века начала распространяться идея, что растения, в особенности деревья, вполне способны создавать колонии, состоящие из повторяющихся элементов. В 1790 году Иоганн Вольфганг фон Гете (1749–1832), который был не только прекрасным писателем и философом, но и блестящим ботаником, написал: «Боковые ветви, зарождающиеся в узлах растения, могут

рассматриваться как отдельные растения, укорененные в материнском теле точно так же, как оно само укоренено в земле». А Эразм Дарвин (1731–1802), дедушка знаменитого английского натуралиста Чарлза Дарвина (1809–1882), подтвердил в 1800 году мысль, ранее высказанную Гете: «Каждая часть дерева суть отдельное растение; дерево же, таким образом, суть семья отдельных растений». В 1839 году его внук Чарлз добавил: «Удивительным кажется тот факт, что различные особи могут быть тесно соединены между собой, однако деревья подтверждают это своим примером: на самом деле все ростки могут рассматриваться, как отдельные растения. Полипы внутри коралла или ветки на дереве – пример того, что разделить их полностью невозможно».



Одна из многочисленных цитрусовых химер, знаменитая Биццария (Citrus aurantium bizzarria). Сегодня ее можно полюбоваться на вилле Медичи, в садах Боболи во Флоренции.

Наконец, в 1885 году немецкий ботаник Александр Браун (1805–1877) утверждал: «Жизнь растений, прежде всего деревьев, заставляет подумать, что речь не идет о неких отдельных особях, таких, как животное или человек, но, скорее, о сообществе особей, тесно и неразрывно соединенных между собой».

Можно заметить, что концепция «колонии растений» имеет уже довольно давнюю поддержку в научном мире; кроме того, среди биологов популярна теория, весьма перспективная для робототехники, предполагающая, что колониям растений свойственно жить дольше, чем отдельным живым элементам, их составляющим. Одинокий полип может прожить всего несколько месяцев, в то время как коралловая колония практически бессмертна. То же самое и с деревом: жизнь одной ветки, как архитектурной единицы, довольно коротка, в то время как колония, то есть само дерево, живет порой очень долго.



Каждое отдельное дерево можно сравнить с колонией, состоящей из отдельных повторяющихся модулей.

Следует добавить также, что концепция повторяющихся составных элементов верна не только для надземной части растения, но и для его корневой системы. Один-единственный корешок имеет собственный командный центр, определяющий направление роста, однако, как настоящий член колонии, он обязательно кооперируется с другими корнями для успешного разрешения возникающих в жизни растения сложностей.

Возникновение интеллекта, распределенного по телу, стало естественным шагом эволюции растений. Эта простая и функциональная система позволяет им быстро и эффективно отвечать на вызовы, поступающие извне, от постоянно меняющейся окружающей среды.

Плантоид: пример технологии, вдохновленной биологией растений

Как мы уже убедились, причины, по которым конструкторы берут растения в качестве образца при создании робототехники, многочисленны и весомы. Я убежден в этом, поэтому в 2003 году стал инициатором разработки идеи плантоида. Я был очарован возможностями, открывающимися перед конструктором, который сможет разгадать тайны растений и создать на их основе машину. Слово «плантоид» показалось мне наиболее адекватным для обозначения нового типа автоматов – по аналогии с «андроидом». Эти машины – дадим волю воображению – могли бы служить в самых разных исследованиях: от проникновения в глубины земли до освоения космического пространства.

Мои знания робототехники и по сей день остаются весьма ограниченными, поэтому в одиночестве я никогда не смог бы превратить свои идеи во что-то реальное. На самом деле, я боялся, что – как это часто случается в академической среде – еще одна идея останется всего лишь идеей, записками в блокноте, запертыми в ящике стола.

Однако мне повезло. Как раз в те дни, когда у меня в голове постоянно крутились мысли о плантоиде и способе его создания, – и всякий, кто имел несчастье остановиться и заговорить со мной, вынужден был выслушивать мои идеи (я давно заметил, что если меня что-то интересует, я становлюсь маньяком – все, кто меня знает, имели возможность убедиться в том, насколько я опасен), – я встретил человека, способного воплотить в жизнь то, что до того момента было лишь творческой фантазией, пусть и основательно подкрепленной теоретически. Барбара Маццолаи сегодня руководит Центром микроробототехники Итальянского технологического института (его штаб-квартира расположена в Пизе), однако в 2003 году, когда мы познакомились, она уже была превосходным исследователем. Во время учебы в университете она получила достаточно обширные знания в области биологии. Постепенно наши разговоры о растениях и автоматике стали привычкой, сколь естественной, столь и необходимой, и она тоже заразилась идеей плантоида. Чем активнее мы обсуждали идею его создания, тем больше мы убеждались в том, что она вполне реализуема. Да, перед нами стояли многочисленные технические проблемы, но все их можно было решить. Чем дальше, тем быстрее росла наша уверенность: плантоид увидит свет.

Создать робота с нуля, причем на основе абсолютно новой концепции, да так, чтобы он был готов работать по-настоящему, а не в качестве механической игрушки – задача не для слабонервных, она требует времени, труда и финансовых вложений.

Как и все исследователи-энтузиасты, мы были готовы вкладывать не только труд и время, но и собственные деньги, которые вряд ли могли бы спасти ситуацию (я не буду раскрывать здесь тайну зарплаты итальянских ученых, это просто стыдно). Однако найти спонсора, фонд или другую организацию, готовую инвестировать в проект, было не так-то просто. Поиски заняли довольно значительный период времени. Поначалу теоретические выкладки и солидные доказательства, которые нам с Барбарой казались ясными и невероятно убедительными, оставляли всех, к кому мы обращались, совершенно равнодушными (ну или совсем капельку заинтересованными). К сожалению, убедить тех, кто смотрит на растения, как на что-то примитивное и обыденное, годное для украшения садов и приготовления гарнира, в наличии у них невероятного потенциала – не так-то просто. Еще труднее оказалось убедить потенциальных инвесторов в том, что, имитируя растения, мы сможем создать роботов нового поколения. Для меня, очарованного идеей, это представлялось совершенно ясным, и я надеюсь, что вы, мои дорогие читатели, согласитесь с моим мнением! Однако потенциальные инвесторы и руководители разных фондов не находили в моих идеях ничего завораживающего и не видели конкретных перспектив. Казалось, что то, что они называли «осторожностью», а я – «нехват-

кой воображения», вот-вот приведет к проигрышу. Однако никогда не надо терять надежду, особенно если вы ищете средства на реализацию перспективного проекта. Если вы на самом деле верите в то, что предлагаете, рано или поздно кто-нибудь обязательно заразится вашим энтузиазмом.



Таковыми плантоидов изобразил художник. Поскольку эти роботы созданы в подражание растениям, они могут применяться для любых работ с почвами, разведки полезных ископаемых, очистки природных ресурсов от загрязнений.

Так и случилось с Ариадной, руководителем группы новых проектов Европейского космического агентства (ЕКА). Наши аргументы в пользу возможности создания космического робота, в основу которого была бы положена структура растения, ее убедили. В результате нам удалось получить финансирование на создание технико-экономического обоснования проекта. Финансирование было ограниченным и не позволило нам создать модель, но очень помогло сформулировать идею и предугадать вероятные проблемы, которые могли бы помешать удачной конструкции плантоида. Мы сделали для ЕКА замечательный финальный отчет (с которым можно ознакомиться в Сети) с обещающим названием: «Bio-inspiration from plants'roots» («Вдохновляясь растительной корневой системой»). В отчете в подробностях были изложены перспективы и детали создания плантоида и возможности его использования для освоения космических пространств (например исследования Марса). Наш основной посыл формулировался просто: поскольку растения являются первопроходцами в освоении нашей планеты, результаты исследования их способов выживания, воплощенные в плантоиде, могли бы подарить ученым машину, обладающую большим запасом сопротивления враждебной среде. А пока мы не знаем в космосе ничего более враждебного, чем атмосфера Марса.

Проект предусматривал выброс большого количества плантоидов в марсианскую атмосферу, где предполагалось их оставить. По своим размерам они не должны были превышать 10 см. Плантоиды рассеялись бы по Красной планете и запустили корни в марсианскую почву. Так им удалось бы исследовать подпочвенные слои, наружные же подобия листьев обеспечивали бы им практически неиссякаемый приток энергии, благодаря фотоэлементам. Наш проект обещал переворот в освоении Марса! Вместо того, чтобы отправлять на Марс огромные и дорогостоящие марсоходы, которые двигаются очень медленно и способны исследовать лишь небольшой кусочек поверхности планеты, можно было заслать туда тысячи плантоидов, которые бы исследовали не только почвы, но и атмосферу, распространились по значительной площади и, не двигаясь вовсе, могли бы связываться между собой и с командным пунктом на Земле. Плантоиды передавали бы данные о составе почв из разных уголков Марса, что позволило бы значительно быстрее и точнее построить карту планеты.

По завершении исследования для ЕКА проект снова подвис и несколько лет ожидал финансирования. Наконец, в 2011 году мы с Барбарой попробовали получить помощь от Европейского союза – мы приняли участие в конкурсе самых фантастических проектов, характеризующихся высокой вероятностью неудачи и в то же время высоким уровнем инновационности. Эта программа получила название FET (Future and emerging technologies) и стала самой престижной ареной конкуренции за финансирование среди авторов самых революционных идей в области новых технологий в Европе. Мы назвали нашу заявку «Плантоид». Проект «Innovative robotic artefacts inspired by plant roots for soil monitoring» («Инновационная роботизированная технология мониторинга почв на основе устройства корневой системы растений») получил умопомрачительную оценку – 15 баллов из 15! Абсолютное большинство голосов! Таким образом у нас появилось нормальное финансирование, которое позволило построить первый плантоид.



Первый прототип плантоида, сконструированный для европейского проекта FET (Технологии будущего), погружает корни в почву.

Последующие три года мы посвятили решению тысяч проблем, возникших в процессе проектирования и изготовления модулей, из которых состоит наш плантоид, и его окончательной сборке. Одним из главных камней преткновения для лаборатории Барбары стал процесс имитации роста корня – и он же принес наибольшие дивиденды. Это была на самом деле серьезная задача. Создание механизмов, способных к самовоспроизведению, является одной из ключевых проблем робототехники.

У растений процесс роста и движения корней обеспечивается двумя механизмами: делением клеток меристематических тканей⁴ в зоне деления на конце корня и распуханием клеток в задней части корня, так и именуемой – зоной роста. Оба эти механизма мы попытались воспроизвести в конструкции наших искусственных корней с помощью резервуара для пластика, который использовался для постоянного наращивания автоматического корня. Кроме того, стремясь воспроизвести разнообразные способности природного корня, мы снабдили наш автоматический корень акселерометром для надежного определения направления приложения силы тяжести; датчиком влажности, чтобы воспроизвести способность растения чувствовать малейшие изменения гидрорежима; несколькими химическими сенсорами; осмотическими преобразователями (устройствами, преобразовывающими осмотическое давление в движение), которые обеспечивали сохранение направления и проникновение в почву. Робот-корень был снабжен микроконтроллером, который обрабатывал информацию, поступающую от различных сенсорных устройств и создавал подобие распределенного интеллекта, свойственного растительным корневым системам. Когда мы наконец сконструировали корни аппарата, пришлось заняться листьями. Эта задача была менее сложной, и ее удалось решить с помощью фотоэлементов, которые имитировали процесс фотосинтеза и снабжали наш аппарат энергией, необходимой для выполнения всех оперативных функций.

Плантоид, воспроизводя адаптивную стратегию растения, движется очень медленно, тщательно исследуя окружающую среду, активно реагируя на изменения и демонстрируя низкое энергопотребление. Корни плантоида растут, как настоящие, и постепенно погружаются в почву с помощью осмотических преобразователей нового вида; все плантоиды коммуницируют между собой, обмениваясь данными и создавая распределенный интеллект, типичный для мира растений.

Сегодня плантоиды стали реальностью – их можно использовать в самых различных ситуациях и обстоятельствах: в местах химического или радиационного заражения, в случаях террористических атак, для картирования минных полей, исследования космоса, геологической разведки или поисков нефтяных месторождений, в мелиорации или высокотехнологичном сельском хозяйстве. Барбара продолжает совершенствовать аппарат и создавать специализированные версии для различных вариантов применения.

Итак, мы стоим в самом начале очень интересного пути, при этом количество людей, поддерживающих идеи воплощения в робототехнике принципов устройства растительного мира, постоянно растет. И я надеюсь, даже, скорее, уверен в том, что пройдет совсем немного времени, и мы увидим целые группы мирных плантоидов, ухаживающих за садами и фермерскими хозяйствами.

Библиография

F. Baluška, S. Mancuso, D. Volkmann, Communication in plants. Neuronal aspects of plant life, Springer, Berlino 2006.

P.B. Barraclough, L.J. Clark, W.R. Whalley, How do roots penetrate strong soil? «Plant and soil», 255, 2003, сmp. 93–104.

A. Braun, The vegetable individual, in its relation to species, «The American journal of science and arts», 19, 1855, сmp. 297–318.

C. Darwin, Journal of researches into the geology and natural history of the various countries visited by H.M.S. Beagle, under the command of captain Fitzroy, R.N., from 1832 to 1836, Colburn, Londra 1839 (trad. it. Viaggio di un naturalista intorno al mondo, Giunti, Firenze 2002).

⁴ Эмбриональные ткани растений, состоящие из интенсивно делящихся и сохраняющих на протяжении всей жизни физиологическую активность клеток. – Прим. ред.

E. Darwin, Phytologia. Or the philosophy of agriculture and gardening, Johnson, Londra 1800.
J.H. Fabre, La plante. Leçons à mon fils sur la botanique, Librairie Charles Delagrave, Parigi 1876.

J.W. von Goethe, Versuch die Metamorphose der Pflanzen zu erklären, C.W. Ettinger, Gotha 1790 (trad. it. La metamorfosi delle piante, Guanda, Parma 2013).

E.L. Greacen, J.S. Oh, Physics of root growth, «Nature new biology», 235, 1972, cmp. 24–25.

S. Mancuso et al., Plant neurobiology. An integrated view of plant signaling, «Trends in plant science», 11 (8), 2006, cmp. 413–419.

S. Mancuso et al., The plant as a biomechatronic system, «Plant signaling & behavior», 5 (2), 2010, cmp. 90–93.

S. Mancuso, B. Mazzolai, Il plantoide. Un possibile prezioso robot ispirato al mondo vegetale, «Atti dei Georgofili 2006», c VIII, vol. 3, mom II, 2007, cmp. 223–234.

D. Murawski, Genetic variation within tropical tree crowns, in Biologie d'une canopée de forêt équatoriale. III: rapport de la mission d'exploration scientifique de la canopée de Guyane, octobre-décembre 1996, a cura di F. Hallé et al., Pronatura International e Opération canopée, Parigi-Lione 1998.

III

Тонкое искусство мимикрии

Воссоздание природной красоты либо следует одной-единственной модели, либо является результатом соединения в одно целое результатов наблюдений над разными моделями.

Иоганн Винкельман. Рассуждения о подражании

Чем больше я изучаю природу, тем глубже становится моя убежденность, что различные приспособления и улучшения, медленно зарождающиеся в процессе случайных изменений, неспешных и многократных, какого-либо организма, и сохраняемые и накапливаемые в силу приносимой ими пользы организму в сложных и постоянно меняющихся условиях жизни, безусловно оставляют далеко позади те приборы и приспособления, каковые способна придумать самая буйная человеческая фантазия.

Чарлз Дарвин. Различные приспособления, при помощи которых орхидеи опыляются насекомыми



*Эти растения, относящиеся к роду *Lithops*, получили название «живые камни». Они растут в самых засушливых районах Южной Африки и Намибии*

Найти образец для подражания, прикинуться и победить

Когда речь заходит о способностях к мимикрии, обычно в качестве примеров приводятся те или иные животные: хамелеон, палочник, богомол, некоторые виды бабочек и гусениц, разные рыбы, камбала, осьминог... И при этом никто не вспоминает о растениях, хотя они могут составить достойную конкуренцию самым изощренным чемпионам мимикрии животного мира, и которые в своих способностях порой достигают гораздо большего изящества и изобретательности.

В природе существуют самые разные формы мимикрии. Чаще всего мы встречаемся с двумя основными формами, имеющими по большей части камуфляжный характер: мимикрией цвета и формы, когда один организм имитирует другой, подражая его форме, цвету, поведению, и мимикрией, имитирующей исчезновение, когда организм делается невидимым, подражая окружающей среде. Однако термином «мимикрия» следовало бы обозначать феномен, имеющий гораздо более разнообразные проявления, о которых многие и не подозревают. Чтобы вы смогли понять по-настоящему природу и механизм этого явления, потребуется небольшое отступление от темы. Вы увидите, что оно необходимо для продолжения повествования.

Стремление поддерживать в порядке внутреннюю организацию перед лицом естественного стремления к деградации и беспорядку – важнейшая и необходимая способность живого организма, не зависящая от его сложности. Эта способность проявляется через умение существа делать правильный выбор. К примеру, выбрать правильную молекулу из некоего субстрата и выжить, в отличие от других, отличать врагов от друзей, размножаться или сокращаться в зависимости от наличия или отсутствия ресурсов, и т. п. Любой организм – это открытая система, которая обменивается информацией с окружающей средой. Любое существо сообщает миру данные о себе и получает данные об окружающем его мире – в конечном итоге это помогает ему выживать. Именно по этой причине обмен информацией – неотъемлемое свойство живых существ: без него даже самые примитивные организмы не смогли бы поддерживать крайне хрупкое равновесие, от которого зависит выживание.

Итак, распознавание различных объектов, представителей собственного вида, опасности и тому подобного – насущная задача для каждого живого существа в каждый момент его жизни. Взаимодействие с другими организмами – неизбежность, и оно осуществляется путем обмена сообщениями.

Когда живое существо подает сигнал тем или иным способом (визуальным, в виде запаха или звука) другому существу, с целью повлиять на его поведение к собственной выгоде, мы имеем дело все с той же мимикрией. Потому что так или иначе для этих действий нужен пример для подражания (т. е. организм-передатчик, который посылает соответствующее сообщение), раздражитель (который воспроизводит сигнал, используя его для получения желаемого), и, наконец, организм-приемник (который должен среагировать на сигнал в соответствии с потребностями раздражителя).

Бокила трехлистная, королева мимикрии, и океаны растений

На мой взгляд, возможно, слегка заинтересованный, искусство мимикрии у растений достигло уровня столь утонченного и виртуозного, что животные вряд ли смогут с ними сравниться ловкостью и эффективностью. Понимание того, насколько изысканными могут быть способности растений прикидываться кем-то другим, приводит к совершенно неожиданным выводам. Изучение этого феномена приоткрывает дверь к возможностям, наличие которых у растений вряд ли кто мог предвидеть. Случай бокилы трехлистной – явление удивительной способности к мимикрии.

Бокила – настоящий Зелиг (герой одноименного фильма Вуди Аллена, умевший перевоплощаться в человека, с которым общался⁵) растительного мира: несомненно, это самый удивительный пример мимикрии из всех, что существуют в природе. Бокила – лиана, произрастающая в тропических лесах Чили и Аргентины, и является единственным представителем этого рода. Это растение носит множество разных названий (пилпил, воки, вокичилло, вокилло, белый воки) и имеет съедобные плоды.

Растение известно уже давно, его изучали сотни ботаников, экспертов, любителей, опиравших все основные периоды его роста в естественной среде. Тем не менее до совсем недавнего времени никто не знал о его поразительной способности к мимикрии. Только в 2013 году, во время расслабленной прогулки по лесу на юге Чили, ботаник Эрнесто Джаноли в очередной, далеко не первый раз встретил бокилу трехлистную. Он не нашел в этом ничего странного – растение было многожды описано и хорошо известно, но вдруг нечто привлекло его внимание. Ботаник в лесу – то же самое, что коллекционер на блошином рынке, все его существо начеку, он ищет что-то, что ускользнуло от взглядов коллег. Когда он бродит по лесу в поисках новых видов, его глаза шарят по сторонам в поисках незамеченных другими учеными деталей, каких-то особенных форм или цветов, какого-то необычного, ранее не изученного растения или новых проявлений у уже известных экземпляров. Так, пристально изучая распространенную в этом регионе Чили флору, Эрнесто вдруг увидел, что листья, трепетавшие на его пути, не принадлежат кустарнику, росшему в этом уголке леса. Подойдя поближе, он обнаружил, что на самом деле это листья лианы, обвивавшей кустарник, и эта лиана – бокила трехлистная, листья которой вдруг стали необычайно похожи на листья кустарника, по которому она карабкалась вверх. Ботаник чрезвычайно заинтересовался явлением и начал искать другие ветви бокилы поблизости, чтобы проверить, похожи ли они на увиденные. То, что он обнаружил, лишило ученого дара речи: на всех деревьях и кустах, на которые забралась бокила, она мастерски имитировала листья «гостеприимного» растения.

⁵ Точнее говоря, герой фильма перевоплощался не в собеседника, а в типичного представителя той среды (социальной, профессиональной, национальной и т. д.), к которой принадлежали те люди, с которыми он вступал в общение. При этом изменялся он как ментально, так и физически. – *Прим. ред.*



Бокила трехлистная, лианоподобное растение, встречающееся в тропических лесах Чили и обладающее удивительными способностями к мимикрии. На фото у растения листья находятся в нормальном состоянии.

Уникальная бокила может с легкостью имитировать листья самых разных растений. Насколько мне известно, ни одно другое растение не обладает способностью делать нечто

подобное. Даже орхидеи, считающиеся чемпионами мимикрии в растительном мире, могут имитировать только одно растение. Максимум, они цветут цветами, напоминающими цветы других видов. Способность имитировать представителей других видов до недавнего времени считалась прерогативой животных.

Возбужденный открытием, но все еще пребывающий в сомнениях по поводу того, что он видел, Эрнесто, вместе со студентом Фернандо Карраско-Урра провел длительную серию опытов и проверок, необходимых для доказательства собственного открытия. Это было на самом деле трудно – убедить научное сообщество в том, что растение способно имитировать размеры, форму и даже цвет других – совершенно разных – растений. Окончательные результаты исследований оказались еще более поразительными, чем можно было вообразить вначале – бокила не просто способна имитировать растения, на которых она закрепляется, она делает еще более удивительные вещи. Произрастая поблизости от двух или трех растений разных видов, бокила способна изменить собственные листья на разных ветках так, чтобы они походили на листья того растения, которое ближе к конкретной ветке. Кроме того, один и тот же экземпляр бокилы может менять форму, размер и цвет листьев несколько раз в течение дня, в зависимости от того, какое растение оказывается с ним рядом. Открытие Джаноли и Карраско-Урра имеет фундаментальные последствия. Способность изменять с такой поразительной гибкостью характеристики листьев означает наличие у растения способности менять собственную генетическую природу доселе невиданным способом.

Как вы уже поняли, бокила является уникальным случаем мимикрии. Я не эксперт в этой области, и мне нелегко представить себе достаточно четко те пути, которыми шло чередование бесчисленных способов и форм, посредством которых способность к мимикрии развилась у разных живых организмов. Тем не менее я полагаю, что можно достаточно уверенно утверждать: никакой другой вид не способен к мимикрии, предполагающей одновременное изменение формы, размера и цвета собственного тела.

Изменение одного параметра в целях мимикрии, как правило цвета, встречается довольно часто; изменение двух параметров – весьма вероятно, но сразу трех и одновременно – случай уникальный даже для мира животных, не то что растений. Как я уж отмечал в начале главы, способность к мимикрии, по идее, должна давать какое-то преимущество нашему уникальному зеленому артисту, в данном случае – бокиле: однако какую выгоду может получить растение, заставляющее собственные листья подражать листьям дерева, которое его приютило? Первое, что приходит на ум – она защищается таким образом от вредоносных насекомых. К примеру, если бокила делает свои листья похожими на листья растения, ядовитого для насекомых, питающихся зеленью, и научившегося таким образом отгонять вредителей, то, несомненно, она учится на чужих ошибках и достижениях. Подобная форма мимикрии называется бейтсовской; она получила свое название в честь английского естествоиспытателя Генри Уолтера Бейтса (1825–1892).

Получается что-то типа ситуации, когда овца переодевается волком, чтобы затеряться среди хищников. Случаи бейтсовской мимикрии в мире растений весьма распространены: наиболее известны случаи защиты таким способом от травоядных животных.

Например, растения семейства губоцветных, яснотка белая (*Lamium album*) и чистец лесной (*Stachys sylvatica*), способны имитировать листья крапивы. Вторая, более простая гипотеза, предполагает, что бокила, делая свои листья похожими на листья других растений, стремится не быть съеденной насекомыми – и это объяснение, будучи более простым, скорее всего, и есть правильное, согласно известному принципу Оккама⁶.

⁶ Уильям Оккам (1285–1349) – английский монах-францисканец, философ. Методологический принцип, им сформулированный (т.н. «брита Оккама»), гласит, что «не следует умножать сущности без необходимости». Или, говоря иначе, «что можно сделать на основе меньшего числа [предположений], не следует делать, исходя из большего». – *Прим. ред.*

И действительно, в случае нападения насекомых, растение, приютившее бокилу, пострадает сильнее – у него просто листьев больше. Так или иначе, но на сегодняшний день нет достаточно надежных доказательств ни первой, ни второй гипотезы. Ученые предполагают, что возможно и сочетание сразу нескольких причин, объясняющих подобную мимикрию.



Чистец лесной, чье название на латыни переводится как «лесной колдун», успешно притворяется крапивой.

Эрнесто Джаноли отметил, что зафиксировать специфические характеристики каждого из листочков бокилы (например зубчатость) оказалось весьма непросто: растение ловко «создало впечатление наличия зубчиков», как бы рисуя их по краю листочка. Открытие этого уникального поведения стало спусковым крючком для массы вопросов. Самый важный из них – это не как бокила смогла с такой скоростью изобразить соседа, но как она узнает, кем ей срочно надо прикинуться. В своей статье, впервые описывающей этот случай мимикрии, Эрнесто Джаноли и Фернандо Карраско-Урра выдвинули две гипотезы. Первая гипотеза предполагает, что бокила улавливает некие летучие вещества, испускаемые соседом, и начинает процесс мимикрии. Однако это предположение кажется маловероятным – бокила в лесу обычно окружена десятками растений с более или менее мощными эманациями летучих субстанций. Вторая гипотеза предполагает горизонтальный обмен генной информацией с растением, на кото-

ром пристроилась лиана бокилы, осуществляемый с помощью микроорганизмов; она кажется еще более невероятной. Итак, пока тайны артиста остаются за семью печатями.

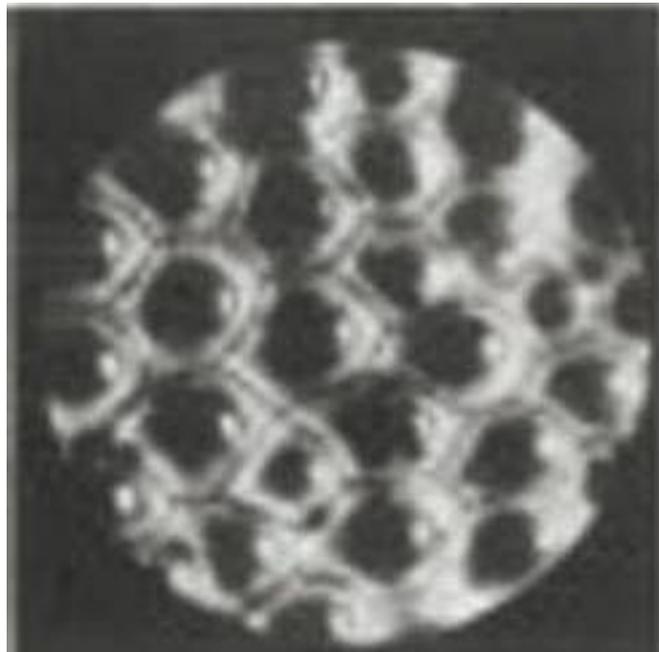
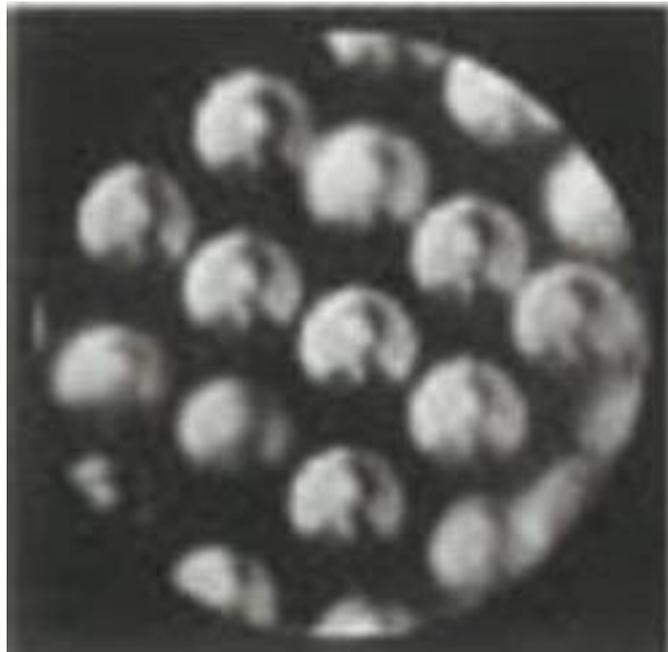


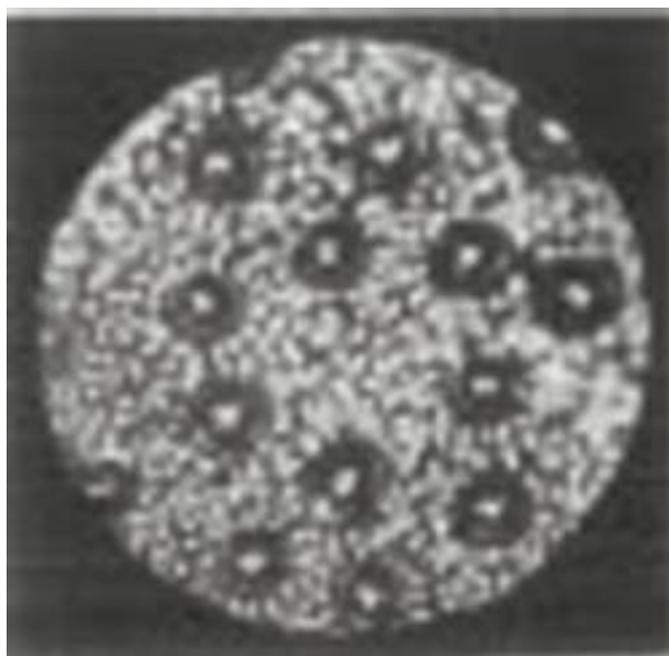
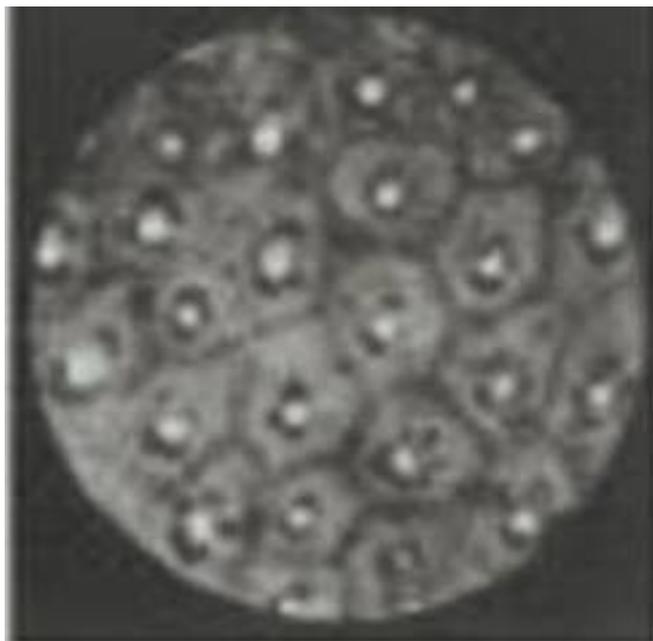
У крапивы (Urtica dioica) листья и стебли покрыты жгальными волосками, таким образом она защищается от врагов.

В сентябре 2016 года мы с моим другом и коллегой, профессором Франтишекком Балушкой из Боннского университета (мы являемся соавторами около 50 научных работ), выдвинули предположение, объясняющее загадку: мы думаем, что у растения есть нечто, что можно назвать «зрением». Это может показаться невероятным и фантастичным, однако с моей точки зрения это может оказаться вполне реальным. Думаю, вам интересно, почему мы так считаем – попробую объяснить.

Еще в 1905 году знаменитый ботаник Готлиб Хаберландт (1854–1945) написал статью, вызвавшую большой скандал в научной, да и не только научной, среде, предположив, что растения способны воспринимать изображения, то есть наделены неким подобием зрительного восприятия. Эта способность возможна благодаря клеткам эпидермиса, которые имеют выпуклую форму, и могут передавать, как линзы, изображения на нижние клеточные слои. Хаберландт считал, что клетки эпидермиса растений служат чем-то вроде глаз (совсем простых, даже примитивных) – подобные глаза есть у многих беспозвоночных. Эта теория очень понравилась Френсису Дарвину (1848–1925), сыну великого Чарлза, и, как и его отец, действительному профессору кафедры физиологии растений Кембриджского университета. Френсис неоднократно упоминал эту теорию в своих статьях, подчеркивая ее научность и обоснованность.

На конгрессе в Дублине Френсис Дарвин в своем докладе поведал о способности растений запоминать события и вести себя определенным образом (я уже писал об этом в моей книге «О чем думают растения»), а Гарольд Уоджер (1862–1929), член Королевского общества, продемонстрировал пораженной публике многочисленные фотографии, для создания которых он использовал в качестве линз клетки эпидермиса различных видов растений. На фотографиях достаточно четко можно было увидеть портреты разных людей и пейзажи английской природы. Помимо оптических качеств клеток, фотоизображения показали, что наличие у растений примитивного зрения вполне возможно. А потом – ничего.





PLANTS HAVE EYES, BOTANIST SHOWS

Prof. Wager Finds Outer Skins of
Leaves Are Lenses Much
Like Eyes of Insects.

PHOTOGRAPHS WITH THEM

And Pictures of Persons and Land-
scapes Thus Secured Are Re-
markably Clearly Defined.

Special Cable to THE NEW YORK TIMES.

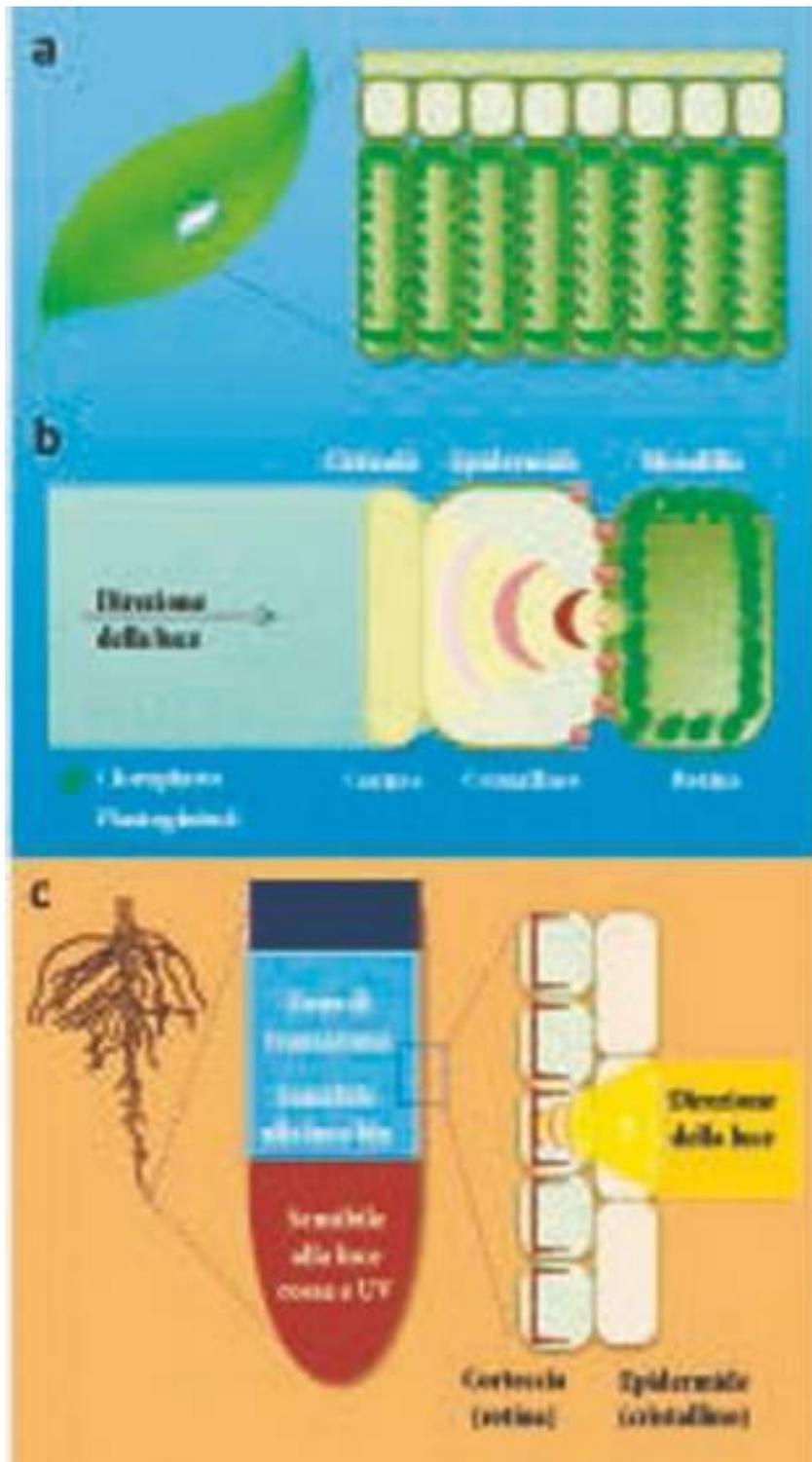
LONDON, Sept. 7.—The interest
aroused by the contention made by
Francis Darwin, son of the author of

Фотографии, сделанные Гарольдом Уоджером при помощи клеток эпидермиса листьев некоторых видов растений. Сбоку – объявление о мероприятии в газете New York Times.

Как это часто случается в биологии с многочисленными теориями, особенно объясняющими жизнь растений, теория Хаберландта была благополучно забыта. Никто не озаботился ни доказательствами, ни опровержением. Возможно, предположение о том, что у растений есть зрение было слишком смелым и эксцентричным для научного сообщества того времени и не заслуживало, по мнению ученых, ни временных, ни финансовых затрат. Теория Хаберландта канула в Лету – она не была упомянута ни в одной статье на протяжении последующих ста лет. Умерла, так умерла. Однако целый ряд удивительных открытий, сделанных в течение последних пяти лет, подтверждающих на основе солидных доказательств возможность наличия зрения у растений, вновь вытащил ее на свет. Предположения Хаберландта о наличии у растений глаз стали в результате чем-то весьма более интересным и значимым, чем просто старая забытая теория.



Динофлагелляты – микроскопические водоросли, один из самых важных представителей фитопланктона. Некоторые виды обладают сложно устроенными глазами.



Некоторые признаки, характерные для глаз, структуры, похожие на роговицу и сетчатку, можно обнаружить в эпидермисе листьев и корней некоторых растений.

То обстоятельство, что растения, возможно, обладают рудиментарным зрением, как я уже писал, стало одним из наиболее вероятных объяснений изменчивой мимикрии бокилы. На самом деле эта функция, которую мы боимся признать у растений, есть у многих более примитивных одноклеточных организмов. Недавние исследования прокариота⁷, цианобакте-

⁷ Прокариоты – домен (надцарство) живых организмов, клетки которых, в отличие от эукариотов, не содержат ядра. Про- 49

рии *Synechocystis sp.* PCC 6803, доказали, что она способна оценивать яркость и цвет падающего на нее светового луча, и делает это с помощью многочисленных фоторецепторов. Клетка работает как микрообъектив, который измеряет свое местоположение по отношению к источнику света. Изображение источника света поступает через выпуклую мембрану клетки и проецируется на ее противоположную стенку, и провоцирует реакцию движения.

Другие одноклеточные организмы – эукариоты, имеющие более высокий уровень внутриклеточной организации, такие как динофлагелляты, – обладают уже весьма хитроумно устроенными окелоидами (протоглазами), которые функционируют посредством линзы и сетчатки, как настоящие глаза. У большинства беспозвоночных окелоиды заменяются настоящими глазами, устроенными более или менее сложно, но заметно отличающимися от наших глаз. На самом деле, сегодня, когда мы обсуждаем функцию зрения, следует учитывать, что в природе существует множество зрительных устройств, весьма разнообразных и несхожих между собой.

Итак, у нас есть все предпосылки для выводов о том, что растения (например, такие как бокила трехлистная) вполне могут обладать примитивной формой зрения.

Наверное, вам интересно узнать, подтвердилась ли моя гипотеза? Еще чуть-чуть терпения, осталось совсем немного, и вы узнаете, к чему привели научные изыскания. «Красивые теории разрушаются уродливыми фактами», – вспоминал Эйнштейн.

Растения, камни и цветные сигналы

Мимикрия в растительном мире встречается повсеместно: не все, конечно, способны устраивать столь яркие представления, как бокила, но, тем не менее, есть и другие удивительные артисты. Несомненно, заслуживает упоминания такое загадочное растение, как литопс. Об этом явлении в мире растений многие знают именно из-за его уникального камуфляжа. Литопс (название происходит от греческого *lithos* – камень, и *opsis* – внешний вид) – род из семейства *Aizoaceae* (Аизовые), он включает виды растений, произрастающих в пустынных зонах Намибии и Южной Африки. Речь идет о растениях, похожих, как намекает их название, на камни. И, помимо сходства с камнями, они проявляют свои удивительные способности к адаптации в других удивительных формах, что позволяет им выживать в пустыне. Литопсы растут в виде длинных колоний и имеют всего по два листочка, разделенные щелью, из которой растут цветы. Суккуленты бывают разных цветов (от зеленого до красновато-розового, серовато-бежевого и даже фиолетового, часто они покрыты полосками и пятнами); их листья прекрасно имитируют форму и оттенки мелких камней. Весьма вероятно, что вы видели их в магазине или на рынке, они обычно продаются под названием «живые камни». Для того чтобы выжить при высоких температурах и в условиях нехватки воды, эти растения сократили стебель до минимума, его небольшой кусочек спрятан под землей, и наружу торчат лишь листья, в основном их плоские верхние части – все, чтобы стать похожим на камешек. Листья литопса имеют даже специальные прозрачные кончики, лишенные хлорофилла – они позволяют лучам солнца проникать вглубь, во внутреннюю часть листьев, лишённую света.



Блоссфельдия (Blossfeldia liliputana) – кактус, который, как и Литопс, имитирует камни, чтобы не быть съеденной.



Растение Lithops aiscatriae: половинки овала представляют собой листья растения, которые приспособились к засухе, специально став особенно мясистыми.

Растения, не защищенные колючками или другими приспособлениями, вряд ли бы выжили и не были съедены животными, если бы не были так похожи на каменистую почву пустыни. В этой местности вода, запасенная в толстых листьях суккулентов, является драгоценностью. Кроме того, изменение цвета и цветовых сочетаний может служить эффективным инструментом коммуникаций. Тем не менее хотя роль цвета была одной из ключевых в истории эволюции, и ей посвящено значительное количество научных исследований в области биологии животных, в ботанике этот фактор как-то стыдливо замалчивался, если исключить труды, посвященные опылению цветов. На самом деле, помимо растений, таких как литопс, использующих форму и цвет для маскировки от хищников, существует масса случаев использования цвета для отправки вонне сообщения о собственной силе и опасности. Одним из наиболее интересных примеров подобного типа мимикрии могло бы служить осеннее окрашивание листьев. Я использую условное наклонение, поскольку до сих пор не ясно, откуда взялась эта гипотеза. Несколько лет назад появилось предположение, которое объяснило осенний взрыв красного, желтого, оранжевого в лесах банальным побочным эффектом деградации хлорофилла, который, постепенно разрушаясь, позволяет выйти наружу другим краскам, прячущимся в листьях под зеленым.

Я же подозреваю, что это явление имеет более сложную природу, учитывая то, что, согласно недавним открытиям, некоторые виды растений вкладывают значительные ресурсы в производство веществ, необходимых для окрашивания листьев в осенний цвет. Причем все это происходит всего за несколько дней, порой недель, до опадания листьев с деревьев. Зачем же прилагать столь значительные усилия, если результат заведомо будет скоро утрачен? Это просто бессмысленно. Гипотеза, сформулированная в 2000 году, за несколько месяцев до смерти, Биллом Хамилтоном из Оксфордского университета, допускает, что усилия деревьев, направленные на создание великолепного осеннего представления, можно рассматривать как сигнал чести, или послание силы от растения насекомым, в частности, тле. Послание, привлекающее гораздо больше внимания, с учетом усилий, которые пришлось потратить на его создание.

Я не знаю, возможно, вы видели газелей, которые при появлении льва не убегают, а начинают подсакивать на месте, словно на пружинках. На первый взгляд, их поведение кажется бессмысленным; на самом же деле они как бы приглашают льва обратить внимание: «Смотри, как я сильна и крепка, попытка поймать меня для тебя будет лишь пустой потерей сил и времени». Своим ярким окрасом деревья могут, возможно, тоже слать сообщение тле, насекомым, у которых на осень приходится пик миграции, сообщение о том, что они сильные и крепкие, и что следует поискать менее чреватое опасностями убежище.

Случайно ли, что клены, которые больше всего страдают от атак тли, имеют и наиболее яркую осеннюю окраску? Другие характерные примеры подобного типа сигналов – например, хвост павлина, или чисто человеческая привязанность к различным видам статусных отличий; эти проявления никак не интерпретировать, кроме как в виде посланий о собственной мощи.

Американский исследователь в области физиологии и эволюционной биологии Джаред Даймонд строго доказал, что многие наши рискованные поступки, например прыжки вниз головой с моста на резинке, тоже могут быть посланиями миру такого же рода.

Человеческие ресурсы. Или, скорее, человек, как ресурс для растений

Примерно от 10 до 15 тысяч лет тому назад, в регионе нашей планеты под названием Плодородный полумесяц, который нынче страдает от непрерывных войн, родилось сельское хозяйство. И вместе с ним – цивилизация.

В тот момент, когда человек забросил охоту и собирательство, и стал оседлым жителем, возделывающим землю, началась его история совместной с растениями эволюции. С некоторыми растениями человек сошелся очень тесно и почти не расстаётся: они дают пищу, а человек обеспечивает им уход и защиту. Но, сверх того, растения получили сверхэффективный толчок, который позволил им заселить всю планету. Это была отличная сделка для обеих сторон, и она продолжает работать тысячи лет спустя после подписания контракта. Три вида растений – пшеница, кукуруза и рис – поставляют около 60 % всех калорий, потребляемых человечеством. Именно за счет этого они смогли распространиться по поверхности почти всех континентов, превзойдя остальных растительных конкурентов на Земле. Отношения между нами и этими растениями столь тесны, что могут рассматриваться как пример настоящего симбиоза. Если представить, что углерод, из которого состоит среднестатистический гражданин США, на 59 % поставляется одним-единственным растительным видом – кукурузой...

Но, если для этих трех растений монополия на поставку питания для человечества может быть успешным предприятием, то для человечества, связавшего свое выживание с этими тремя-четырьмя видами, перспектива представляется не столь радужной. Речь идет о слишком небольшой свободе выбора, чтобы можно было полностью доверить им снабжение человечества калориями. Увы, этот выбор вдобавок постоянно уменьшается. В прошлом человек выращивал гораздо большее количество растительных видов. В XVIII веке количество съедобных растений, известных в Европе, было значительно меньше, чем сегодня (те, что позднее были названы экзотическими, или колониальными, еще не вошли в обиход), однако количество потребляемых в пищу видов было в три раза большим, чем сегодня. Не говоря о более древних временах, до изобретения сельского хозяйства – тогда человек употреблял в пищу сотни растительных видов. Таким образом в течение последних 10 тысяч лет, и особенно интенсивно в течение последних ста, мы все теснее связывали нашу жизнь с постепенно сокращавшимся количеством видов растений. И неудивительно, что в голову приходит довольно печальный вывод: чем меньшее число видов растений мы используем в пищу, тем больше мы от них зависим, и тем выше риск, что в один прекрасный момент что-то пойдет не так. Например, пшеницу или рис может поразить заболевание, и это сразу станет катастрофой для человечества. Такое уже случалось. Лучше, как советуют финансисты, хранить деньги равными порциями в разных банках.

Как бы то ни было, сделка оказалась весьма прибыльной для растений и должна была бы привлечь подражателей, мошенников или просто любопытных, желающих получить свою долю прибыли. Это был успех, несомненно; многие виды с помощью всевозможных хитростей пытались выдавать себя за сельскохозяйственные растения, чтобы получить подобные преференции: искусство мимикрии было как будто специально создано для этого. Они стремились выдать себя за других, чтобы привлечь внимание человека.

С самого момента зарождения культуры земледелия люди старались селекционировать, по разным причинам, те растения, которые показывали лучшие результаты в следующих областях: величина плода или семян, форма, цвет, устойчивость к заболеваниям, рост... Однако тогда же, когда человек начал отбирать растения по подходящим для его задач признакам, растения, в свою очередь, начали стараться этим требованиям соответствовать. Один из самых известных случаев подражания одного растения другому, с целью получить все преимущества

культивации – это история с видом *Vicia sativa* (Вика посевная, она же – Горошек посевной), который проникает в посадки *Lens culinaris* (Чечевица пищевая). Чечевица – один из древнейших видов бобовых, выращиваемый человеком: его употребляли в пищу еще 15 тысяч лет тому назад. Чечевица – одна из самых распространенных сельскохозяйственных культур в Средиземноморье, о чем свидетельствует история Исава из Книги бытия (Быт. 25,29–34), когда он продал право первородства близнецу Иакову за миску чечевичной похлебки.



Чечевица (Lens culinaris) – одно из первых растений, окультуренных человеком. Археологические данные относят начало выращивания чечевицы к периоду между 13-м и 10-м тысячелетием до нашей эры.

Вика посевная похожа на чечевицу в том, что ей требуется столько же примерно солнечного света и аналогичные климатические условия. Таким образом, появление вики среди чечевичных посадок стало неизбежным. Проблема обнаружилась позднее: круглые семена вики, заметно отличающиеся от чечевичных, можно было просто удалить в процессе сборки урожая, не заметить их просто невозможно. Но вика решила, что так просто от нее не отделаются, и начала изменять форму семян поколение за поколением, постепенно, делая их все более похожими на чечевичные зернышки, уменьшая размер и меняя цвет. Наконец дело было сделано: семена вики стали неотличимы от чечевичных, человек вынужден был выращивать растения вместе. Вика совершила весьма ловкий трюк и отныне могла пользоваться всеми преимуществами сельскохозяйственной культуры.

Этот пример мимикрии просто поразителен, он занимает особое место в истории мира растений и называется «мимикрией Вавилова», в честь великого российского генетика и агронома Николая Ивановича Вавилова (1887–1943). Вавилов первым обнаружил этот феномен, описал его и предсказал удивительные последствия этой способности растений. Я уже писал о Вавилове в моей книге «Люди, которые любили растения», однако не лишним будет напомнить об этом великом ученом. Он стал автором первого в истории науки исследования о происхождении и географии сельскохозяйственных растений (Вавилов Н. И. Генетика и ее отношение к агрономии, 1912). Вавилов не только создал теорию центров происхождения культурных рас-

тений, но и стал вдохновителем создания коллекций семян этих растений. Созданный Вавиловым первый генетический банк семян до сих пор существует в Петербурге, но наиболее полно его идея воплотилась в создании Всемирного семеновохранилища на острове Шпицберген.



Вика посевная (Vicia sativa) – весьма распространенное кормовое растение, семена которого очень похожи на зерна чечевицы.

Там, в максимальной безопасности и с соблюдением всех необходимых условий, хранятся семена самых важных сельскохозяйственных растений, культивируемых человеком. Это всемирное генетическое наследство. В хранилище собраны семена риса, кукурузы, пшеницы, картофеля, яблони, маниоки, таро, кокоса и многих других растений; оно гарантирует сохранение генетического разнообразия на нашей планете. Интуиция Вавилова, побудившая его собирать семена растений, сохраняя хотя бы малую часть от уничтожения, была гениальной – мы недавно получили конкретные доказательства правоты ученого, когда Сирия обратилась во Всемирное семеновохранилище с просьбой дать ей посадочный материал, чтобы восстановить сельское хозяйство в полностью уничтоженном войной регионе. Кроме того, Вавилов первый в истории биологии высказал идею генетического улучшения свойств растений, с целью создания возможности их выращивания в регионах с тяжелым климатом, которых немало в России.



Сегодня существуют уже сотни сортов чечевицы, они отличаются размером и цветом зерен, который варьируется от коричневого и зеленого до желтого и даже оранжевого.

Величайший генетик и гигант сельскохозяйственной науки был приговорен Сталиным к смерти от голода в тюремном carcere и сегодня совершенно забыт. Однако еще более чудовищным выглядит то, что его враг, ничтожество и подлец, омерзительный ученый-самозванец Трофим Денисович Лысенко (1898–1976), один из пропагандистов безумной идеи о том, что генетика – это «буржуазная» теория, которая не имеет под собой никакой научной основы, цитируется в научной среде гораздо чаще, чем Вавилов. Однако это совсем другая история...



Всемирное семеновохранилище находится на норвежском острове Шпицберген. Оно обеспечивает сохранность семенного фонда человечества на случай внезапного уничтожения традиционных запасов семян.

Вавилов, таким образом, исследовал окультуренные растения и связанную с ними деятельность. Он первым обратил внимание на то, что селекция растений, в соответствии с полезными человеку характеристиками, может спровоцировать феномен мимикрии среди других растений с самыми непредсказуемыми последствиями и далеко не всегда негативными, как можно было бы подумать. Многие растения, выращиваемые человеком сегодня, стали таковыми благодаря способности к мимикрии.

Возьмем, к примеру, рожь (*Secale cereale*), растение, выращиваемое в качестве сельскохозяйственной культуры уже не менее трех тысяч лет. Этот злак когда-то был сорной травой на полях пшеницы и ячменя, и постепенно, подражая соседям, добился соответствующих характеристик у собственных семян. Чтобы понять, каким образом сорняк может превратиться во вполне приличное сельскохозяйственное растение, мы должны поставить себя на место древних земледельцев. Вообразите себе наших предков, которые постепенно дополняли охоту и собирательство поиском растений, которых можно было бы приручить. Какими принципами они руководствовались? Что определяло выбор? Уверен – они выбирали виды с самыми крупными семенами и самым обильным урожаем, который было легко собирать – таковы колоски. Совершенно точно их не могли заинтересовать растения, которые спонтанно разбрасывают семена: собирать зерно с земли слишком утомительно.

Превращение человека из собирателя в земледельца было долгим и трудным процессом, он сопровождался ошибками и размышлениями. Можно с уверенностью сказать, что некоторые растения, такие как пшеница или ячмень, с их крупными зернами и колосьями, в которых зерна вызревают, полностью соответствовали ожиданиям первых земледельцев, а потому и были отобраны одними из первых для нужд сельского хозяйства. Однако вместе с этими прекрасными растениями люди, не отдавая себе в том отчет, окультурили и росшие по соседству сорняки.

Так началась история ржи, которая в начале пути мало чем отличалась от сорняка.



Рожь (Secale cereale) – типичный для зон умеренного климата злак. Люди начали выращивать ее примерно три тысячелетия назад, мигрируя из района современной Турции. Рожь

прибыла на новое место жительства вместе с пшеницей, под которую она успешно мимикрировала (мимикрия Вавилова).

Предки той ржи, которую мы едим сегодня, могли служить классическим примером мимикрии Вавилова. Они были очень похожи на пшеницу и ячмень, и древние жители Плодородного полумесяца, чтобы отделить зерна от плевел, должны были бы тщательно перебирать посадочный материал в поисках незваных гостей. В те времена это было не самой легкой задачей, поэтому ржи удалось стать одним из самых распространенных сорняков. А когда пшеница и ячмень распространились на другие регионы, дальше на север, восток и запад, вместе с ними путешествие совершила и примкнувшая к ним рожь (самый эффективный распространитель семян – человек, не стоит об этом забывать). Так расширился ареал ее обитания.

Когда же рожь прибыла в места с более холодным климатом и менее плодородными почвами, ей удалось проявить собственные способности выживать в более суровых условиях, и она стала давать урожаи гораздо более обильные, чем пшеница и ячмень, и постепенно их вытеснила. Именно рожь стала в новых ареалах главным окультуренным растением.

История ржи представляет собой классическую историю мимикрии Вавилова со счастливым концом. Однако не все подобные истории кончаются хорошо. Можно вспомнить те случаи, когда виды-сорняки вырабатывают устойчивость к гербицидам, и чем больше гербицидов используется в сельском хозяйстве, тем более устойчивыми к ним становятся сорные растения. А в последние годы использование гербицидов росло по экспоненте. Благодаря неконтролируемому росту использования этих веществ некоторые из них, – такие, как, например, глифосфат, – привели к обратному, патологическому приросту генетически модифицированных видов, совершенно нечувствительных к их воздействию. Фермеры же используют гербициды бесконтрольно.



Амарант происходит из Центральной Америки. Его семена съедобны и похожи на семена злаковых (т.н. псевдозерновые).

Если главная культура хорошо защищена и не подвергается никакой опасности, зачем использовать все возрастающие количества гербицидов и устранять любой «раздражающий» сорняк? В качестве аргумента можно привести довольно пугающие данные по использованию гербицидов в сельском хозяйстве: в 1974 году только в США было использовано 360 тысяч килограммов глифосфата; в 2014 году – уже 113,4 миллиона килограммов. За 40 лет использование этого вещества выросло почти в 300 раз!

Подобное невероятное химическое воздействие на сорняки способствовало развитию устойчивости не только у видов, которые обыкновенно росли вместе с основной культурой, но и у мимикрирующих растений, про которых я писал выше. В США сегодня произрастают целые поля *Amaranthus palmeri*, вполне съедобного растения, ненавидимого фермерами – оно мешает монокультурным посевам. Амарант устойчив к воздействию глифосфата, и распространение этого злака на полях, засеянных кукурузой или соей, стало большой проблемой. С ним пытаются бороться с помощью все возрастающих доз глифосфата в смеси с другими гербицидами.

Эти устойчивые сорняки начали расти повсюду. Меня лично это совсем не беспокоит – я всегда любил сорные растения: их способность к выживанию там, где их никто не хочет видеть, восхищает меня так же, как их интеллект и приспособляемость. В любом случае подобное распространение растений не следовало бы останавливать гербицидами, разрушая все надежды на сохранение сельскохозяйственных экосистем. Для этого существуют другие способы, более бережные по отношению к окружающей среде.

Нам следует по возможности научиться сосуществовать. Мне, повторяю, эти растения симпатичны: они могли бы стать когда-нибудь полезными, как рожь, или наплевать на человека, как многие другие. Хорошо бы еще осознать, что ущерб, наносимый борьбой с сорняками окружающей среде, имеет отдаленные, но куда как более существенные последствия, чем те, которые они наносят нашим сельскохозяйственным посадкам.

О последствиях надо думать всегда...

Библиография

- F. Baluška, S. Mancuso, Vision in plants via plant-specific ocelli?*, «Trends in plant science», 21 (9), 2016, сmp. 727–730.
- Plant ocelli for visually guided plant behavior*, «Trends in plant science», 22 (1), 2017, сmp. 5–6.
- C.M. Benbrook, Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally*, «Environmental sciences Europe», 28 (1), 2016, сmp. 3.
- S.P. Brown, W.D. Hamilton, Autumn tree colours as a handicap signal*, «Proceedings of the Royal Society of London B», 268 (1475), 2001, сmp. 1489–1493.
- F. Darwin, Lectures on the physiology of movement in plants. V. The sense-organs for gravity and light*, «New phytologist», 6, 1907, сmp. 69–76.
- G.S. Gavelis et al., Eye-like ocelloids are built from different endosymbiotically acquired components*, «Nature», 523 (7559), 2015, сmp. 204–207.
- G. Haberlandt, Die Lichtsinnesorgane der Laubblätter*, W. Engelmann, Lipsia 1905. *S. Hayakawa et al., Function and evolutionary origin of unicellular camera-type eye structure*, «Plos ONE», 10 (3), 2015.
- S. Mancuso, A. Viola, Verde brillante. Sensibilità e intelligenza del mondo vegetale*, Giunti, Firenze-Milano 2013.
- S. Mancuso, Uomini che amano le piante. Storie di scienziati del mondo vegetale*, Giunti, Firenze-Milano 2014.
- N. Schuergers et al., Cyanobacteria use micro-optics to sense light direction*, «eLife», 5, 2016.
- N.I. Vavilov, Origin and geography of cultivated plants*, Cambridge University Press, Cambridge 1992.
- H. Wager, The perception of light in plants*, «Annals of botany», 23 (3), 1909, сmp. 459–490.

IV Движение без мускулов

Сознание возможно только в изменении, изменение возможно только в движении.

Олдос Хаксли. Как исправить зрение

Я двигаюсь, следовательно, существую.

Харуки Мураками. 1Q84

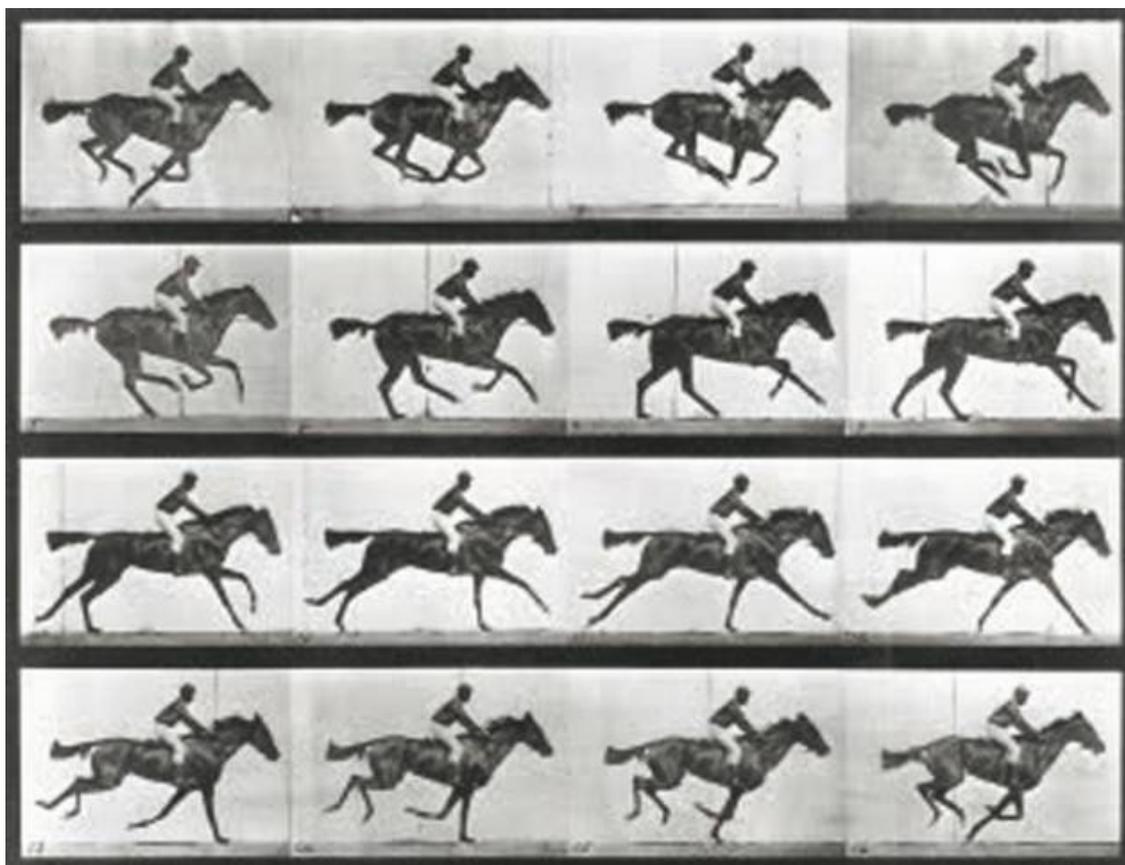


Одуванчик (Taraxacum officinale) – одно из самых распространенных растений из семейства астровых (Asteraceae). Он использовался в качестве лекарственного растения с античных времен, и его повсеместная распространенность привела к тому, что у него множество имен: насадка для душа, львиный зуб, собачий зуб, свиная трава, писюн и луговой подсолнух.

И все же они движутся!

Если бы кому-нибудь в 1896 году задали вопрос о замедленной съемке, стоп-кадре или интервальной фотосъемке – фантастической фотокинотехнологии, позволяющей уложить в несколько секунд или минут фильма события, которые в реальном времени длятся целый день (а порой месяцы или годы) – он бы не понял, о чем вообще речь.

Первый кинематографический сеанс был проведен братьями Огюстом и Луи Люмьер 28 декабря 1895 года в доме № 14 на бульваре Капуцинов в Париже. На сеансе присутствовали 33 зрителя, среди которых двое были журналистами – они первыми соприкоснулись с этой новой формой развлечения. Но уже в 1896 году, спустя всего несколько месяцев после этого сеанса, ботаник Вильгельм Фридрих Филипп Пфедфер (1845–1920), находившийся в зените своей научной карьеры, умудрился снять первый фильм в технике замедленной съемки. Над разработкой этой техники Пфедфер трудился несколько лет, с того момента, когда начал заниматься ботаникой. Ему выпал шанс присутствовать в 1878 году на съемках первого экспериментального фильма Эдварда Мейбриджа «Салли Гарднер в галопе»⁸. С тех пор он мечтал сделать видимыми медленные движения растений, ускорив их не только для того, чтобы все смогли оценить их красоту и изящество, но прежде всего, чтобы иметь возможность изучать поведение растений. Эта идея стала для Пфедфера настоящим призванием. Интерес к движениям растений зародился у него в период работы ассистентом великого Юлиуса фон Сакса (1832–1897) в университете Вюрцбурга, во время исследований гравитропических движений (то есть вызванных гравитацией) корней.



⁸ Точнее говоря, это была серия фотографий, снятых в быстрой последовательности. – *Прим. ред.*

Скаковая лошадь Салли Гарднер, сфотографированная Мейбриджем в 1878 году. Последовательность изображений соответствует двадцати пяти секундам скачки.

Эти исследования были предметом полемики и долгих научных споров между учителем Пфеффера и Чарлзом Дарвином и определили направление научной карьеры молодого ботаника. Его опыты доказали правоту Дарвина, а не Сакса, что закрыло ему перспективы продолжения научной карьеры в Германии. В те времена противоречить своему научному руководителю было не принято. Так, Пфеффер, подгоняемый необходимостью восстановить свое доброе имя исследователя, подпорченное скандалом с Саксом, и осознав перспективы, открываемые перед ним изобретением кинематографа, начал раздумывать над возможностью использовать новую технологию в качестве инструмента для исследования движения растений.

Биологи и ботаники веками уклонялись от изучения форм поведения растений, пытаясь любой ценой защитить сложившиеся представления о мирах животных и растений, считая «аномалией» или «абберрантным поведением» способность некоторых растений к быстрым движениям. Эти виды даже называли ошибочно зооспорами, специально, чтобы подчеркнуть их близость к животному миру.

Удивление и восторг тех, кто может наблюдать подобные движения вполне объяснимы; движения мимозы стыдливой, к примеру, вызывают удивление всех, кто ее наблюдает – обычные люди убеждены в том, что неподвижность – это фундаментальная характеристика растений, отличающая их от мира животных.

Попытка Пфеффера сделать наглядной двигательную активность растений стала историей научного успеха. Спустя несколько месяцев после киносеанса братьев Люмьер Пфеффер был готов показать свой фильм потрясенной группе коллег-биологов. Они впервые в истории смогли увидеть растения в движении, исследовать направления и характеристики этого движения, поведение растений.

На глазах у пораженных ученых немецкий ботаник показал последовательность цветения тюльпана, дневные движения и ночной сон Мимозы стыдливой (и снова она), постоянные шевеления телеграфного растения (*Desmodium gyrans*), и наконец, жемчужину своей коллекции, самую трудоемкую работу – рост и подземное движение корней, ощупывающих почву, будто червяки или муравьи.



Телеграфное растение (Codariocalyx motorius) – представитель семейства бобовых, распространённый в тропическом поясе Азии. Оно известно своей способностью непрерывно шевелить листочками, настолько быстро, что это можно заметить невооружённым глазом. Цель этого движения пока остаётся загадкой.

Благодаря Пфефферу сбылась мечта многих ученых – еще в IV веке до нашей эры, Андростен, соратник Александра Великого, заметил, что листья растений могут двигаться днем и ночью, и это стало доказанной реальностью. Пфеффер дал ботаникам инструмент, с помо-

щью которого можно сделать видимым то, что ранее никто увидеть не мог. Точно так же, как телескоп Иоанна Липперсгея (ок. 1570–1619) (нет, это не Галилей изобрел телескоп) сделал доступными для исследований дальние глубины космоса, а микроскоп Захария Янсена (ок. 1585–1632) позволил рассмотреть все, что не видно обычному глазу, новая кинематографическая техника Вильгельма Пфедфера позволила изучать крайне медленные процессы.

Доступность этих новых граней реальности не осталась без последствий. Растения, составляющие большую часть живой массы на Земле, перестали рассматриваться в качестве предметов, а стали живыми существами, начали приоткрывать свои тайны и позволили взглянуть на удивительное многообразие доступного им движения. Это была настоящая революция в науке, изменившая общее восприятие живого. Те, кто раньше смотрел на розовый куст или липовое дерево как на что-то, доставляющее эстетическое удовольствие, но бездушное, вдруг почувствовали интерес и нечто вроде уважения к растениям.

В период между последними годами XIX века и Первой мировой войной были весьма распространены исследования, посвященные феномену тропизма (движения под воздействием внешних сил). Но после открытия Пфедфера биологи посвятили себя изучению собственных (независимых от внешних стимулов) движений растений, их поведению и в конечном итоге их когнитивным способностям. Кульминационным моментом исследований стала речь, прочитанная сэром Френсисом Дарвином на открытии ежегодного конгресса Британской ассоциации содействия развитию науки 2 сентября 1908 года. В своей речи первый преподаватель новой науки, получившей название «физиология растений» и сын великого ученого Чарлза Дарвина без обиняков заявил, что растения представляют собой организмы, наделенные интеллектом, и не отличаются от остальных представителей живого мира.

Так, благодаря изобретению Пфедфера, сегодня мы уже различаем различные типы двигательной активности растений, отличаем активное движение от пассивного и понимаем, как возможно движение существа, не обладающего мышцами. Эти знания имеют ключевое значение для будущего современных технологий, особенно в области создания новых материалов.

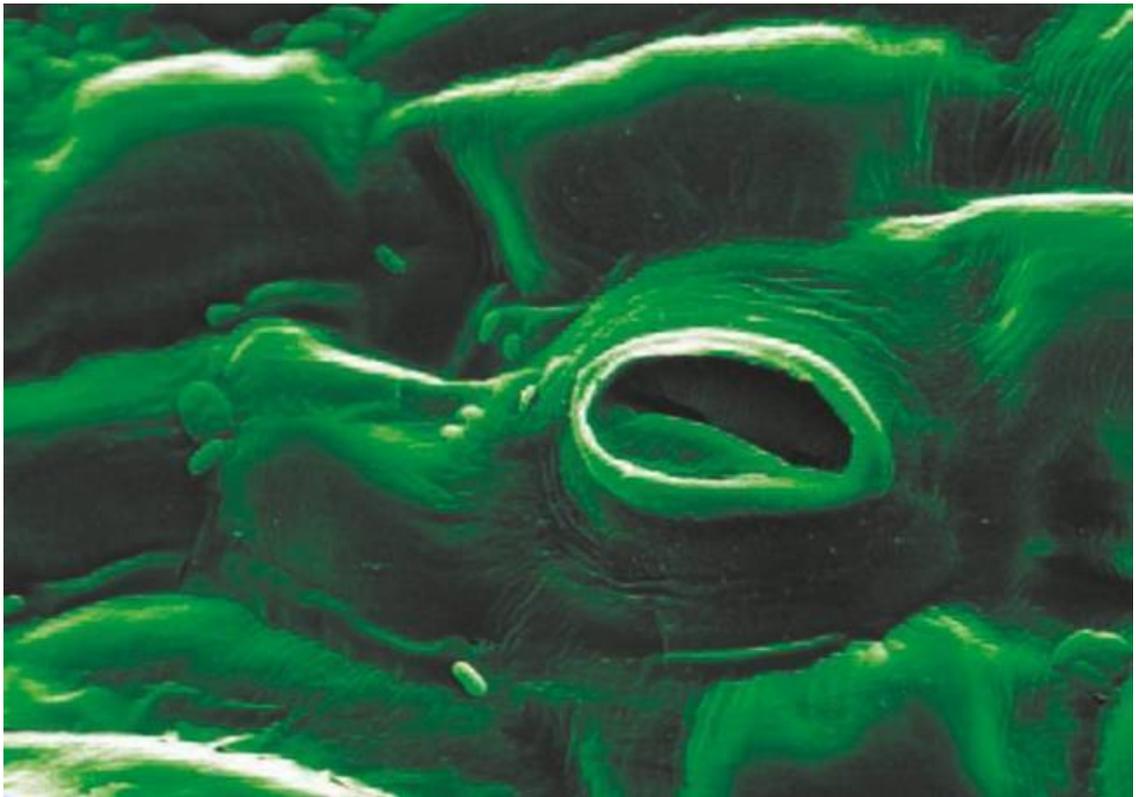
Шишки и овес

Собственные движения растений требуют дополнительных энергетических затрат, в то время как на пассивное движение под воздействием внешних факторов тратится энергия окружающей среды. Например, многие растения используют разницу в дневном и ночном уровнях влажности для того, чтобы выполнить сложные перемещения. Весьма важной общей характеристикой всех двигательных активностей растений является, как уже неоднократно было отмечено выше, отсутствие у них специальных белковых структур, предназначенных для движения – мышц. Их движения имеют гидравлическую природу, то есть в их основе лежит перемещение воды – парообразной либо жидкой, сквозь растительную ткань.

Активное движение является прямым следствием изменения тургора клетки⁹, вызванное осмотическим давлением воды на клеточную мембрану. Вода притекает в клетку при изменении концентраций клеточных растворов и вызывает рост давления на мембрану и стенки клетки, клетка раздувается и двигает части растения. Регулируя концентрацию клеточных растворов, растения могут совершать такие движения, как открытие-закрытие устьиц и цветов: мимоза может сложить листочки, а венерина мухоловка – схватить жертву. Пассивные же движения связаны с изменением гигроскопичности¹⁰ некоторых составляющих клеточной стенки. Эти составляющие типичны именно для растительной клетки; я бы даже сказал, что вместе с хлоропластом (клеточная органелла, ответственная за процесс фотосинтеза) они представляют собой фирменный бренд растений. На свете не существует более ничего подобного, такой устойчивой структуры у животных просто нет. Клеточные стенки служат растению чем-то вроде скелета, они обеспечивают устойчивость структуры и способность придерживаться определенной формы. Они состоят из волокон целлюлозы, встроенных в мягкую матрицу из структурных полисахаридов, гемицеллюлозы, растворимых белков и других веществ. Именно эта мягкая матрица, распухая в нужном месте при взаимодействии с молекулами воды, и обеспечивает открывание шишек, стручков акации, выбрасывание хвостиков с семенами журавельника или дикого овса.

⁹ Тургор – напряженное состояние оболочки клетки. – *Прим. ред.*

¹⁰ Гигроскопичность – способность поглощать водяные пары из воздуха. – *Прим. ред.*



Устьице томатного растения, сфотографированное под микроскопом. Через устьице в растение поступает необходимый для фотосинтеза углекислый газ CO_2 .

Чтобы у вас не осталось сомнений или вопросов, я рассмотрю в подробностях, как происходят эти пассивные движения на конкретном и весьма распространенном в природе примере.



*Венерина мухоловка (*Dionaea muscipula* названа по одному из имен богини Афродиты) – хищное растение, произрастающее на болотах в штатах Флорида, Северная и Южная Каролина (США).*

Шишка – плод хвойного дерева, в котором созревают семена, репродуктивные органы растения, в научной терминологии она называется стробилом. Шишка может служить примером хитроумного устройства из тканей, которые язык не повернется назвать мертвыми, хоть они и совершенно сухие на первый взгляд. Чешуйки шишки открываются, когда влажность воздуха падает, и закрываются, когда она повышается. Приходилось ли вам наблюдать, что происходит с шишкой в дождливый день? Если да, то вы наверняка заметили, что под дождем шишки плотно закрываются, чтобы перекрыть утечку семян, и напротив, в солнечный день они открываются, чтобы позволить семенам разлетаться. Видимо, эта стратегия связана с тем, что при высокой влажности семена лягут рядом с материнским растением, и это помешает эффективному их распространению на большое расстояние.



Шишка (или стробил) сформирована из древесных прицветников, между которыми вызревают семена голосеменных растений. У сосновой шишки чешуйки расположены по спирали, в соответствии с последовательностью Фибоначчи.

Как же работает этот, на первый взгляд, совсем простой, но на самом деле чрезвычайно сложный механизм (особенно если принять к сведению, что растения умудряются не затратить на него ни капли собственной энергии)? Секрет спрятан в строении чешуек. Они все состоят из двух видов растительной ткани, совершенно неразличимых невооруженным взглядом: только под микроскопом можно разглядеть в чем состоит разница. Внутренняя поверхность чешуйки состоит из особых склеренхимных волокон, как бы скрученных в микроскопические канатики, а на наружной поверхности расположены волокна-склереиды, более короткие и широкие. Эти волокна по-разному взаимодействуют с водой, они имеют разную гигроскопичность. Колин Доусон, Джулиан Ф. В. Винсент и Анна-Мария Рокка в 1997 году выяснили, что изменение влажности на 1 % при температуре 23 °С увеличивает длину склереид на 33 % по сравнению со склерехимными волокнами. Так была раскрыта тайна шишки: когда вода впитывается волокнами, или, наоборот, испаряется, ткани удлиняются или, соответственно, укорачиваются, и закрывают или открывают чешуйки.

Это явление легко воспроизводится в лаборатории (это можно сделать даже дома, достаточно погрузить шишку с раскрытыми чешуйками в воду), что позволило провести тщательные исследования, вдохновившие ученых на создание принципиально новых материалов с похожими свойствами. Представьте себе, какие возможности открываются перед материалом, способным изменяться в зависимости от влажности окружающей среды? В 2013 году профессор Мингминг Ма и его коллеги из МТИ создали полимерную пленку, способную впитывать воду из атмосферы, быстро расширяться и сжиматься, создавая движение. Эта ткань может развивать давление в 27 мегапаскалей и поднимать предметы в 380 раз тяжелее собственного веса. Кроме того, подключение к пленке пьезоэлектрического элемента позволило ученым создать электрическое напряжение с пиковым значением в 1 вольт; именно такое напряжение необходимо для питания микро- и нанoeлектронных устройств. И все это только за счет изменения влажности.

Перед нами открываются удивительные возможности, позволяющие создать самые удивительные механизмы. К примеру, мы в настоящее время ищем возможность использовать это явление для питания датчиков, мониторящих электрическую активность деревьев. Но это не единственный способ использования полученных знаний. Системы подобного типа (которые, как вы можете заметить, имеют совсем крошечные размеры), вшитые в одежду, или в любые используемые нами в быту ткани, могут сделать их источниками энергии или чем-то вроде датчиков. Можно вообразить, как одежда, соприкасаясь с нашим телом, выдает нам клинические данные о состоянии организма или уровне стресса; занавески подают сигналы об атмосфере в комнате, или других параметрах нашего жилища. Совсем скоро все это вполне может стать реальностью, и значительная часть новых технологий или материалов будет основана на особенностях жизни растений.

Возможности пассивного движения растений на этом не заканчиваются. Можно упомянуть еще один способ двигаться, используемый растениями (с помощью длинных и тонких усиков, которые есть у многих трав), и в основе которого тоже лежит изменение влажности. Некоторые виды овса, такие как Овес бесплодный, Овес пустой и Овес бородачатый, растущие в сельской местности или вдоль дорог, скручивают и раскручивают длинные усики в зависимости от влажности.



Род Avena (Овес) включает в себя множество видов, произрастающих в Европе, Африке и Азии. Многие из них используются в сельском хозяйстве уже тысячи лет, и служат пищей для людей и животных.

Долгое время подобные принципы использовались для создания точных гигрометров¹¹. Кстати, вы можете достаточно просто сделать свой собственный гигрометр, и увидите, как увеличение влажности воздуха способно спровоцировать движение. Как же его сделать? Вот несколько практических советов. Возьмите центральную часть усика овса, закрученную в спираль, и закрепите один из его концов в центре диска, на который нанесена шкала в угловых градусах. На другой конец прикрепите щепку или какой-нибудь другой указатель из твердого и легкого материала. Закройте самодельный прибор стеклом – вы стали обладателем точного природного гигрометра, единственный минус которого – недолговечность. Сохранность усика имеет ограничения, и его надо время от времени заменять.

¹¹ Гигрометр – прибор для измерения влажности воздуха. — *Прим. ред.*

Семечко-попрыгунчик: Аистник цикutowый

Среди всех возможных пассивных движений, которые можно обнаружить у растений – а среди них есть весьма странные – ни одно, на мой взгляд, не может соперничать по степени оригинальности с движениями семян Аистника обыкновенного, которые разлетаются в момент отделения от материнского растения, и умудряются зацепиться за шкуру проходящего мимо животного, прыгают на землю и скачут, пока не найдут подходящую ямку в земле, чтобы там закрепиться. Такую последовательность действий трудно реализовать даже для существ, обладающих запасом собственной энергии и невозможно вообразить для неживых тканей.

Аистник обыкновенный – член семейства гераниевых (*Geraniaceae*) и родственник распространенного цветка, живущего на балконах. Он произрастает во многих регионах мира. Своим именем он обязан тому, что его плоды формой напоминают клюв аиста, а листья – листья цикуты. Кстати, и другие представители этого семейства имеют названия, намекающие на сходство с птичьим клювом. Само слово «герань» происходит от греческого *géranos* (журавль), а название одного из родов, относящихся к этому семейству, «пеларгония» – от греческого *pelargòs*, то есть аист.

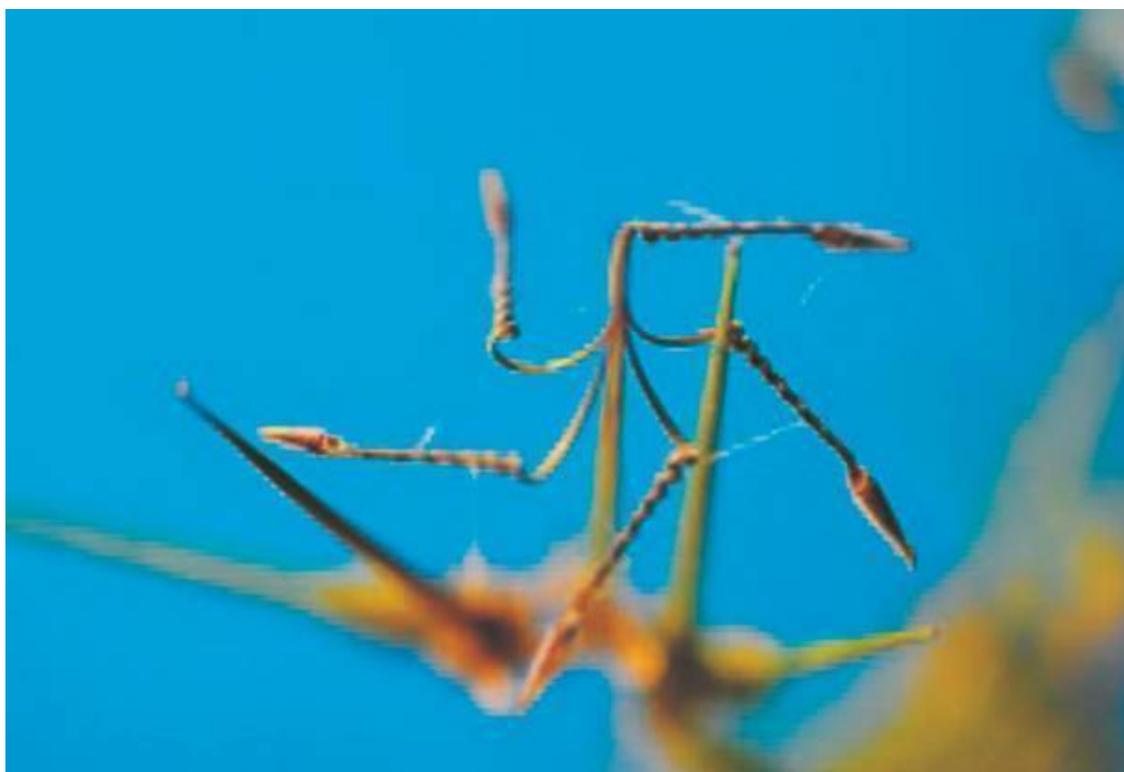


Аистник цикutowый (семейство гераниевых) – травянистое однолетнее или двухлетнее растение родом из Средиземноморского бассейна.

Но вернемся к нашему аистнику: это однолетнее травянистое растение, довольно широко распространенное, цветет лиловыми цветами с пятью лепестками. Самое удивительное в нем – семена. Каждое семечко состоит из собственно семечка, длинного и заостренного, как конец гарпуна, и длинного усика, закрученного спиралью и покрытого волосками. Каждая из этих частей, как можно убедиться, имеет особую функцию в удивительной цепи передвижений семян.

Мой интерес к аистнику возник совсем недавно, после того как одна из сотрудниц моей лаборатории, Камилла Пандольфи, отправилась на пару лет работать в особый отдел Европейского космического агентства. Этот отдел, очаровательно и многообещающе названный *Ariadna – Advanced concepts team* (Команда передовых концепций «Ариадна»), должен был осуществлять связь между ЕКА и европейским академическим сообществом в области исследований передовых космических технологий. Команда действительно достигла впечатляющих успехов, поэтому когда Камилла пришла ко мне с известием о том, что ей предложили стажироваться в этом центре, возражений у меня не было – она должна была поехать. Два года в таком исследовательском коллективе со столь многообещающим именем должны были стать великолепным опытом. С другой стороны, наша лаборатория уже несколько лет проводила исследования, как влияет на растения невесомость и поэтому сотрудничала с многочисленными космическими агентствами. Камилла должна была почувствовать себя в своей среде.

Когда она наконец переехала в главный исследовательский центр ЕКА в Амстердаме, выяснилось, что задача Камиллы еще интереснее, чем нам представлялось. Ее ждала работа с материалами, созданными непосредственно на основе принципов растительного мира и предназначенными для разработки новых космических технологий. Завораживающая задача, однако на первый взгляд совершенно нереализуемая. Чем растения могут помочь в изучении космических пространств? Казалось бы, ничем. Тем не менее растения оказались весьма изобретательными. Камилла набросала целый список тем, разработка которых могла бы привести к появлению инновационных технологий, и среди них были две, показавшиеся нам весьма интересными: изучение усиков растений в качестве основы для создания транспортных механизмов и применение принципов распространения семян аистника для создания зондов, использующих минимум энергии и способных проникнуть под поверхность иных планет.



Весной семена Аистника цикутного выбрасываются в атмосферу благодаря давлению, постоянно возрастающему по мере созревания и изменения формы семенной коробочки.

Конечно, все знают о работе зондов Pathfinder и Spirit, марсоходов Opportunity и Curiosity, отправленных на Марс в последние годы. Совсем недавно совершил полет спускаемый аппарат Philae, который 12 ноября 2014 года сел на поверхность кометы 67P Чурюмова-Герасименко.

Основной целью отправки этих аппаратов было именно исследование поверхности планеты и взятие образцов с определенной глубины. Обнаружение воды, даже в форме льда, под поверхностью планеты, определение химического состава почвы, и потенциальная возможность обнаружения микроскопических следов жизни – таковы были цели миссий, и поэтому технология бурения космического тела стала приоритетом для всех космических агентств мира.

Устройство, посылаемое в космос, должно отвечать множеству критериев, но среди них принципиально важными являются два: оно должно весить как можно меньше и потреблять минимум энергии. Вес устройства и его энергоемкость служат двумя главнейшими ограничениями для космических технологий. Именно поэтому семечко Аистника цикутного представляет такой интерес для космических технологий – его структура позволяет ему иметь минимальный вес, а энергии оно не потребляет вовсе. Представьте, если бы нам удалось воспроизвести те биологические решения, которые позволяют ему перемещаться.

Аистник стремится распространить свои семена на как можно большие площади, как и все растения. Материнское растение совершенно не заинтересовано в том, чтобы быть окруженным себе подобными; наоборот, оно применяет всевозможные уловки, чтобы отправить потомство как можно дальше. Эта стратегия имеет значительные преимущества с эволюционной точки зрения: к примеру, она позволяет избежать конкуренции между соседними, соперничающими за источники энергии, растениями.

Растения изобрели сотни различных способов, как распространить свои семена в окружающей среде, тем самым обеспечивая наилучшие возможности для выживания. Аистник предложил свое решение проблемы – его плодовая коробочка просто взрывается. Семена группируются в ней так, чтобы механическая энергия накапливалась, как в сжатой пружине. Эта энергия возрастает до тех пор, пока не происходит случайное нарушение равновесия, например, на коробочку присаживается насекомое, его задевает проходящий зверек или просто ее толкает порыв ветра, и тогда семена высвобождаются взрывным манером. Они буквально катапультируются на многие метры от материнского растения; те же, которые умудрились зацепиться за шерсть животного, могут проехать на нем многие километры и осесть совсем в другой местности.

А на земле начинается второй этап приключений семечка: длинный усик (семя аистника по форме напоминает сперматозоид) начинает удлиняться, в зависимости от влажности воздуха. Усик и щетинки позволяют семечку перемещаться до тех пор, пока оно не обнаружит трещинку в почве, и помогают ему погрузиться туда верхушкой вниз. Разница между дневным и ночным уровнями влажности создает необходимое давление, которое позволяет семени погрузиться в почву.

Спираль, в которую скручен усик, раскручиваясь, заталкивает семя все глубже и глубже в почву; а его остроконечная форма ускоряет и облегчает это движение. Через несколько дней, то есть после ряда колебаний дневной/ночной влажности, семя достигает оптимального положения – на глубине в несколько сантиметров; и оно готово прорасти и формировать новое растение.

Теперь, когда вы узнали, какими удивительными способностями обладает семечко аистника, вы можете представить, почему исследования Камиллы и ее коллег по группе *Advanced concepts team* заняли почти год – они изучили в деталях стратегию и механизмы, разработанные этим удивительным растением. Для разработки основ конструкции самодвижущихся и внедряющихся в почву зондов, которые можно было бы использовать в исследовательских миссиях

без присутствия человека, оказались очень важны знания о способности семян проникать в разные почвы с помощью механических приемов, вполне воспроизводимых на Луне, Марсе или астероидах.

Для исследования всех этих многочисленных движений пришлось использовать различные технологии видеосъемки. Аистник некоторые движения совершает крайне медленно, и для их фиксации потребовалось применить методы, изобретенные Пфедфером, а для исследования сверхбыстрых движений, чтобы иметь возможность понять все в деталях, пришлось снять видео, которое потом можно было просматривать в очень медленном темпе. Анализ медленных движений, особенно тех, что совершаются уже на поверхности почвы, потребовал использования покадровой съемки, специально разработанной для визуализации процесса ввинчивания семени в почву за счет разницы между уровнями дневной и ночной влажности. Для того чтобы снять процесс выброса семян и их приземления на почву, пришлось применить специальную видеотехнику скоростной съемки.

Это не было тривиальной задачей. В нашей лаборатории мы все – эксперты по покадровой съемке, но у нас нет никакого опыта съемки скоростных процессов, необходимой для изучения процесса взрыва семенной коробочки. Подобные съемки требовали иной аппаратуры и иных навыков, нам пришлось учиться этому с нуля. Поначалу у нас не было никаких идей, как снять сам момент взрыва: предлагались самые разные решения, от достаточно наивных, разработанных нами, до весьма причудливых, предложенных нам друзьями, заходившими в лабораторию и чувствовавшими себя обязанными дать совет.

В конце концов, предложений накопилось больше, чем требовалось, мы просто тонули в них. Главная проблема заключалась в том, что нам недостаточно было заснять один или парочку выбросов семян: нам надо было снять в буквальном смысле тысячи подобных «взрывов», причем при разных температурах и показателях влажности, на разных почвах, имитирующих по возможности внеземные условия. Нам нужна была вдобавок техника, которая бы позволяла заставить семена вылетать по команде, в момент полной готовности необходимых условий эксперимента.

Прошел почти месяц, а у нас не было никакого решения, кроме самого простого – отправить экспериментатора с камерой ждать, пока растение само решит «взорваться». Нам нужны были тысячи фотографий в секунду, снятых с высоким разрешением, то есть объем информации должен был бы превысить все разумные пределы (многие гигабайты в секунду). У нас не было хранилищ для такого объема данных, а ведь для исследований понадобились бы часы съемки! Мы оказались в тупике. За месяц мы обессмертили всего парочку «взрывов» семенной коробочки аистника, а идей, что делать дальше, не было. Пока не наступил один прекрасный день, когда решение пришло совершенно неожиданно (или, точнее, по счастливой случайности), и его принес школьник, пришедший в лабораторию на экскурсию. Все, кто приходят в лабораторию, будь они юными студентами или пожилыми дамами, обязаны прослушать краткую инструкцию о том, как надо себя вести в научном учреждении, и что нельзя ничего трогать. Этот запрет помогает, как избежать повреждения тонких инструментов или вмешательства в эксперимент, так и несчастных случаев с посетителями. Но, к счастью, в этот раз один из школьников решил нарушить запрет.

Подойдя к аппаратуре, предназначенной для опытов с аистником, пока один из наших сотрудников рассказывал об особенностях этого растения, мальчишка воскликнул: «А, круто, аистник!» Он вытащил из кармана тонкую деревянную палочку и начал ею тыкать в семена, висевшие на растении, в то место, где они крепились к стеблю, вызвав их внезапный выброс. Пока учительница, которая сопровождала детей, извинялась за недисциплинированного ученика, я застыл, пораженный результатом такого простого действия. Мальчик оказался родом из окрестностей Флоренции, где растет в изобилии аистник, и научился, бегая по лугам во время игр, устраивать «салют» из семян. Достаточно легкого толчка в место, где семена соеди-

нены друг с другом, и упругая сила рвет связь, и семена разлетаются. Наконец у нас была идея, как заставить семена разлетаться, мы получили «контролируемый взрыв». Да защитит Господь недисциплинированных детишек!



Длинные усики Аистника цикутного выполняют двойную задачу: они играют роль двигателей при выбрасывании семян весной и служат буром при посеве их в землю.

Результаты исследований показали, что каждая деталь семени аистника имеет свою особую функцию. Способность пробуровать землю и зарыться в нее обеспечивается:

- а) геометрией семени;
- б) структурой усиков и их способностью двигаться, используя изменение влажности;
- в) наличию у усика неактивного участка;
- г) волоскам, растущим на плодолистике и на усиках.

Собранные нами данные были использованы для создания модели двигательной активности аистника, мы передали ее в ЕКА вместе с отчетом (тот, кто заинтересуется, может найти его в Сети), в котором подробно описали все характеристики этого поразительного явления растительного мира.

Может быть, однажды кто-нибудь на самом деле решит построить зонд для космических исследований, основанный на этих принципах. Я был бы счастлив. Мы сделали все, чтобы это стало возможным.

Библиография

F. Darwin, The address of the president of the british association for the advancement of science, «Science – New series», 716 (28), 1908, стр. 353–362.

C. Dawson, A.-M. Rocca, J.F.V. Vincent, How pine cones open, «Nature», 390, 1997, стр. 668.

M. Ma et al., Bio-inspired polymer composite actuator and generator driven by water gradients, «Science», 339 (6116), 2013, стр. 186–189.

S. Mancuso et al., Subsurface investigation and interaction by self-burying bio-inspired probes. Self-burial strategy and performance in Erodium cicutarium – SeeDriller. Окончательный отчет, по заказу ЕКА, 2014, доступен на сайте: www.esa.int/gsp/ACT/doc/ARI/ARI%20Study%20Report/ACT-RPTBIO-ARI-12-6401-elfburying.pdf.

C. Robertson McClung, Plant circadian rhythms, «The plant cell», 18 (4), 2006, стр. 792–803.

V

Капсикофаги и другие рабы растений

Когда принимаешь наркотики, твоей возлюбленной становится наркоторговец.

Уильям Берроуз. Обезьяна на спине

Кстати, бытующее мнение, что специи использовались изначально для сокрытия запаха протухшей еды, не выдерживает критики. Те, кто мог позволить себе специи, не держали дома протухшего мяса, и в любом случае специи были слишком большой драгоценностью, чтобы использовать их подобным образом.

Билл Брайсон. Краткая история частной жизни

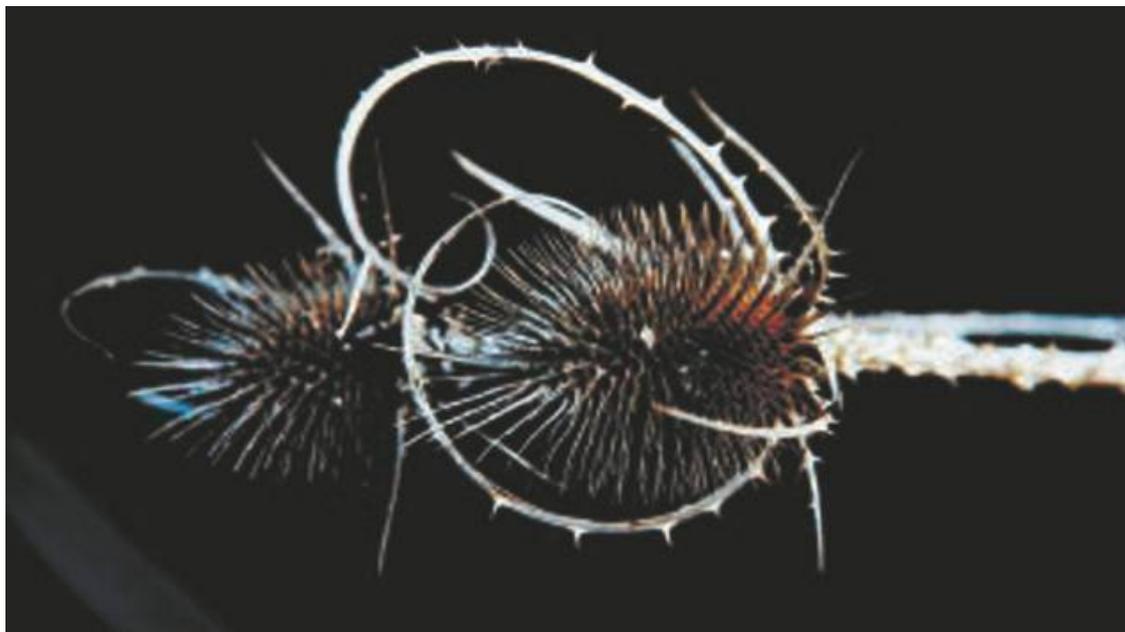


Фельзума (Phelsuma ornate) – небольшой дневной эндемичный геккон, живущий на Маврикии, играет роль опылителя для многих растений острова.

Искусство манипуляций

Очевидно, что растения не могут покинуть место, где родились. Поэтому они вынуждены сотрудничать с животными, особенно в важные моменты своей жизни. Растения пользуются способностью животных перемещаться для того, чтобы распространить семена, для более надежного опыления или даже в целях обороны. Примеры подобной кооперации неисчислимы, и они выгодны для всех ее участников. Обычно животных за оказанные услуги ждет награда: насекомые, помогая опылению, получают порцию вкусного и богатого калориями нектара; птицы, распространяя семена, лакомятся вкусными фруктами, а лучший в этом мире сеятель, человек, в обмен на пищу, украшения для дома и другие нужные вещи, заботится о растениях, в которых нуждается.

Однако все не так просто, как представляется на первый взгляд. Во многих ситуациях поведение растений более хитроумно и скрытно, чем кажется, и некоторые услуги они получают от животных без какой-либо благодарности со своей стороны. Семена лопуха – растение, которое вдохновило инженеров на создание застёжки-липучки, – как и семена многих других «автостопщиков», переезжают на шерсти животных совершенно бесплатно. Во многих случаях поразительные способности растений к мимикрии помогают обмануть животных к выгоде и удобству растений. Ничего нового: на самом деле, обман и дезинформация являются универсальным инструментом для выживания всех живых существ, включая растения. Самое интересное – это те удивительные методы, которые растения применяют, чтобы манипулировать животными (я нахожу, что термин «манипулировать» вполне адекватен явлению).



*Репей чертополоха (*Dipsacus fullonum*) может служить примером плода, эволюционировавшего так, чтобы цепляться за шерсть животных. Существуют даже специальные щетки для вычесывания репейев.*

Дилеры и потребители экстрафлорального нектара

В середине XIX века известный итальянский ботаник, сегодня абсолютно забытый, Федерико Дельпино (1833–1905) и великий Чарлз Дарвин вели оживленную переписку, обсуждая цветочный нектар. Нектар интересовал обоих, но ученые придерживались диаметрально противоположных мнений. Многие виды растений способны производить нектар и не только в цветах, обычно полагаемых местом его хранения, но и на стеблях, ветвях и даже оборотной стороне листьев. Функция нектара в цветах понятна – им питаются те, кто их опыляет. Однако зачем нужен экстрафлоральный¹² – долгое время оставалось загадкой. Дарвин полагал, что жидкости, выделяемые вне цветка, служат растениям для вывода отходов. Таким образом, он предлагал рассматривать места выхода экстрафлоральных нектаров чем-то вроде органов выделения, предназначенных для вывода ненужных веществ. Дарвин вдобавок полагал, что цветочный нектар сформировался в процессе эволюции этих выделительных органов.



Растение Nesocodon mauritianus – редкий эндемичный вид, растущий на острове Маврикий. Оно стало известным в 80-е годы XX века, когда ботаники обнаружили, что его цветы производят красный нектар, привлекающий гекконов, которые его опыляют.

Выводы Дарвина не удовлетворили Дельпино. Зачем растениям нужно было бы выводить отходы в концентрированном растворе сахара, ведь это требует дополнительных затрат энергии. Это казалось биологу маловероятным. Вещество, содержащее такое количество сахара, никак нельзя было назвать «отходами». По мнению Дельпино, использование столь драгоцен-

¹² Экстрафлоральный нектар – нектар, вырабатываемый растениями вне пределов цветка (на листьях, стеблях и т. д.). — Прим. ред.

ных ресурсов должно было приносить растению некие дополнительные выгоды. Он полагал, что экстрафлоральные нектары играли ту же роль, что и нектары в цветах – привлекать насекомых. Непонятным было только, зачем растению нужны были эти насекомые. Присутствие их в цветах было оправдано, но какую пользу могли растению принести насекомые на ветках и стебле? И Дельпино нашел ответ, открыв явление мирмекофилии (от двух греческих слов: *múrmex* – муравей и *philos* – друг).

О чем же шла речь? О растениях, – Дельпино опубликовал в 1886 году монографию о более чем 3 тысячах видов мирмекофилов, – которые использовали экстрафлоральные нектары для привлечения муравьев, получая таким образом защиту от других насекомых и хищников. Это еще одна из областей, в которых растения взаимодействуют с животными. Нектар оказался средством приобретения надежной защиты.

Трудно представить, сколь тонких и изысканных высот достигает сотрудничество растений и муравьев. Существует, к примеру, настоящая ассоциация, объединяющая муравьев и многие виды древовидных растений рода Акация, происходящих из Африки или Латинской Америки. Акации производят особые плоды, служащие пищей для муравьев, и предоставляют им жилище внутри ствола, в котором муравьи могут выращивать личинок. И это не все блага: в точности, как продавцы товаров из телемагазина, «в нагрузку» к питанию и проживанию, акации предоставляют муравьям бесплатное питательное питье в форме экстрафлорального нектара. В благодарность муравьи заботятся о безопасности акации. Они защищают ее от агрессоров из животного и растительного мира, которые тем или иным способом угрожают дереву, на котором они живут. И делают это с высокой степенью надежности. Не только насекомые держатся подальше от акации, но и многие животные во много раз крупнее муравьев, приди им в голову легкомысленная идея приблизиться к акации, получают от муравьев в полной мере. Муравьи будут отчаянно кусать, пока те не отстанут, даже таких крупных животных, как слон или жираф.



Муравьи решительно не могут устоять перед нектаром, скапливающимся на стеблях, почках или листьях многих растений.

Защита муравьев не ограничивается отпугиванием животных любого размера. Любое растение, которое осмелится занять место на расстоянии нескольких метров от растения-покровителя, будет уничтожено без всякой жалости. Подобные явления вовсе не редки в таких местах, как амазонские леса – там можно встретить идеально круглые поляны, лишённые всякой растительности, вокруг акации. Это явление вызывает ужас у жителей амазонских лесов, они называют такие поляны «садами дьявола». Это взаимодействие между растениями и муравьями, казалось бы, являет собой великолепный образец сотрудничества; на первый взгляд – классический пример симбиоза. Однако все обстоит не столь просто, как кажется: недавние многочисленные исследования выявили ряд скорее тревожных подробностей. Под маской идиллии и взаимной выгоды скрывается подлобая история обмана и манипуляции, выставляющая акацию в самом неприглядном виде.

Экстрафлоральный нектар, который производит растение, представляет собой высокоэнергетический сладкий напиток; и все знают, что ничто так не привлекает насекомых, как сахар, и поэтому долгие годы биологи считали, что именно в нем и заключается особая привлекательность нектара. Однако, как выяснилось, нектар содержит не только сахара: в нем были обнаружены еще сотни других химических компонентов, в том числе множество алкалоидов и небелковых аминокислот – таких, как, например, γ -Аминомасляная кислота (сокр. ГАМК, GABA), таурин и β -аланин. Эти вещества играют важные функции в работе нервной системы животных, регулируют возбуждение и, соответственно, поведение. ГАМК, например, – главный нейротрансмиттер, отвечающий за торможение как у позвоночных, так и у беспозвоночных, в том числе у муравьев. Таким образом, изменение ее концентрации из-за питья нектара может заметно изменить поведение насекомого. Кроме того, в нектаре содержатся и алкалоиды, такие как кофеин, никотин и многие другие. Они влияют на когнитивные способности муравьев (так же, как и других насекомых, участвующих в процессах опыления), вызывая при этом привыкание.

Это поразительное свойство растений было открыто при исследовании акации и многих других мирмекофилов. Оказалось, что они способны не только производить подобные вещества, но и регулировать их концентрации в нектаре, управляя таким образом поведением муравьев. Как опытные наркотики, акации завлекают муравьев, подсаживают их на сладкий нектар с алкалоидами и, сделав зависимыми, контролируют их поведение. Они могут легко повышать уровень агрессии насекомых или собирать их вокруг дерева, просто изменяя количество и состав нейроактивных веществ в нектаре.

Неплохо для существ, которые делают вид, что совершенно пассивны и безразличны к происходящему вокруг, только потому, что они укоренены в почве. Их способность манипулировать животными, тонко и ловко используя могущество химии, достигла уровня настоящего искусства.

Как я познакомился с капсикофагами

Не стоит думать, что мы, люди, обладаем иммунитетом перед чарами, с помощью которых растения управляют животными. Отнюдь... К примеру, возьмем обычный перец.

Я родился в Калабрии, провинции любителей перца: там все, ну или почти все, любят остренькое. Но далеко не все – капсикофаги¹³. Эти последние составляют особую расу людей, которые имеют с перцем личные взаимоотношения. Мои знакомые любители перца познакомилась с ним в детстве, в том возрасте, когда любое знакомство с людьми, предметами или событиями врезается в память надолго. Одно из самых ярких воспоминаний моей жизни – свадьба, на которую пригласили всю нашу семью. Это было в августе, когда проводить какие-либо торжественные мероприятия или церемонии следовало бы запретить – натянуть на себя пиджак и галстук и в таком виде продержаться от ожидания в церкви до начала танцев (только потом я узнал, что в остальных частях света эти вещи могут происходить совсем по-другому) означает выдержать страдания продолжительностью почти 14 часов, при температуре воздуха, намного превышающей все разумные пределы. Свадьбы в августе недопустимы в стране, претендующей на ответственное отношение к своим гражданам.

¹³ От *лат.* *capsicum* – перец и греч. *φαγεῖν* – пожирать. – *Прим. ред.*



*Название «перец» относится ко множеству плодов разных видов, относящихся к роду *Capsicum* (Капсикум) семейства пасленовых, произрастающих изначально в Мексике.*

В тот раз, после венчания в церкви, мы отправились на берег моря на свадебный обед. Я точно не помню, были ли мы в ресторане, или в каком-то доме, или где-то еще, я запомнил

только ужас при мысли, что придется есть «при параде». Я был мальчиком, которому, по счастью, еще не полагались пиджак с галстуком, но я все равно ужасно себя чувствовал в жесткой, неудобной «нарядной» одежде, будто нарочно сшитой из ткани, сковывавшей любые движения тела. В те годы я активно рос, и одежды мне хватало всего на несколько недель, а покупать новую каждый раз было разорительно. Поэтому костюм жал в плечах, в бедрах и талии и усиливал многократно мои муки во время нескончаемой церемонии.

Сидя за столом вместе с другими детьми, я покорно ждал окончания мучений, к которым давно притерпелся. Мои родители, казалось, были знакомы с половиной населения Калабрии, поэтому в те годы посещение бесчисленных свадеб было нашим основным занятием в выходные дни весной и летом. Я уже знал, как выжить. Во-первых, игнорировать жару, не обращать внимание на ручьи пота и прилипшую к телу ткань; принимать эти ощущения, как неизбежную жизненную необходимость (уже взрослым я понял, что самостоятельно пришел к философии стоиков). Во-вторых, есть как можно меньше, только то, что по-настоящему нравилось, не обращая внимание на официантов, проносящих мимо блюда, и не жадничать. На всякой достойной свадьбе рано или поздно подают что-нибудь, достойное внимания, ну, или почти.

Я с превосходством завсегда наблюдал, как новички накидывались на закуски, и были не в состоянии проглотить ни кусочка еще к тому моменту, когда ночной пир даже не был в разгаре. Мы, опытные гости, берегли свои желудки до выноса основных блюд, терпеливо ожидая самых любимых. Когда остальные были уже на последнем издыхании, а официанты начинали разносить сыры и затейливые десерты, наступал праздник и на моей улице.

Чтобы пережить скуку бесконечного дня, мне требовалось и нечто иное, чем просто вкусно поесть. Я брал всегда с собой особый набор, состоявший из увлекательной приключенческой книги и нескольких комиксов – этой нехитрой стратегии я следовал в течение нескольких лет. Однако во время одной из свадеб мое отношение к подобным церемониям кардинально изменилось. В тот раз я встретился с капсикофагами, настоящими пожирателями перца. Конечно, я знал, что перец используется как приправа ко многим блюдам (мой отец готов был класть перец в любую еду, разве что не в кофе). Ни один житель Калабрии не может не привыкнуть, в той или иной степени, к острой кухне; однако настоящие капсикофаги – это нечто совершенно иное.

Они пришли впятером в одинаковых костюмах, которые подчеркивали их принадлежность к некоему братству: пиджак, жилет и галстук. Их темная одежда, сшитая из какой-то плотной темной ткани, казалась очень тяжелой, хотя, возможно, мне так просто кажется спустя годы. Они все подошли к одному столу, это я помню отчетливо. Их движения были странно синхронными, так будто это был давно отрепетированный танец. Одновременно они отодвинули стулья, одновременно уселись и... это было поразительно! Двигаясь в унисон, каждый из них достал из кармана букет из стручков перца: длинных, красных и зеленых. Это было прекрасно. Они с трепетом положили стручки на стол, рядом со своими тарелками, между стаканами с красным вином и вилками, короче, под левой рукой, и приготовились к началу обеда. Я сидел за соседним столом, поэтому мне все было отлично видно: обыкновенные люди, не слишком красивые, со слегка озабоченным выражением лица. Казалось, они чего-то ждали. Они обменивались ничего незначащими короткими замечаниями о вечеринке и время от времени трогали каждый свой пучок перца, почти с нежностью, ощупывая плотность и мясистость плодов и украдкой кидая взгляды на перцы соседей. У них были грубые руки со следами работы на земле, но своих «острых друзей» они касались поразительно трепетно и бережно. Официанты начали разносить угощение, и я наконец смог увидеть те жесты, которые выдают настоящего капсикофага в любой точке земного шара. Правая рука подносит кусок пищи ко рту, в то время как левая сжимает стручок перца. Блюдо не имеет никакого значения – ложка еды, укус перца, глоток-укус, глоток-укус, и так без пропусков, с равномерностью метронома. Это

сочетание еда – перец, сопровождаемое невозможностью есть что-либо без острого дополнения, характеризует истинного капсикофага.

Сцена врезалась мне в память в мельчайших деталях: ритм танца не сбивался даже тогда, когда один стручок кончился и надо было извлечь из связки следующий. Они походили на превосходный механизм, отлаженный годами совместных трапез. Я никогда этого раньше не видел, и в моем мальчишечьем воображении они стали пришельцами из каких-то неведомых, загадочных земель. Однако, как я уже говорил, это были только первые капсикофаги, которые меня поразили. В последующие годы я встречал их постоянно в разных частях света: от Китая до Венгрии, от Чили до Марокко и Индии – всех их объединяла потребность закусывать любую еду принесенным с собой перцем. Капсикофага можно безошибочно определить именно по этому ритму: кусок еды – кусок перца. Это не зависит ни от географического места, ни от правил поведения за столом – используются ли серебряные приборы, деревянные палочки, или все лезут руками в одну миску...



Семена Акации ушковидной. Для них характерны желтые хвостики, образующиеся в результате гиперплазии пестика. Они привлекают муравьев цветом и высокой пищевой ценностью.

Но еще больше, чем тяжелые черные одежды в чудовищную жару и огромное количество съеденного перца, меня впечатлило то, что пятерка странных синьоров совершенно не потела. Как это было возможно? Я буквально растекался под жгучим солнцем Калабрии, в то время как на их лицах не блестело ни капли пота. Они выглядели совершенно сухими, будто сидели на пикнике где-нибудь в прохладном Корнуолле в Англии. Этот факт меня заинтересовал настолько, что некоторое время спустя я преодолел детскую стеснительность и осмелился спросить у одного из синьоров, какой перец они поглощают столь усердно – «нормальный» или какой-то особый, не такой острый, но с особым свойством останавливать потливость. Это был, как я понял потом, крайне дерзкий вопрос: никогда не стоит спрашивать у настоящего капсикофага, острый ли перец он ест. Для их языков, закаленных многолетним прижиганием, острога никогда не бывает «достаточной». Тот синьор, к которому я обратился с вопросом,

прервав его трапезу, очень любезно предложил мне попробовать кусочек перчика. Крошечный. Только чтобы я убедился сам. И у меня во рту произошло извержение огненного вулкана, это ощущение знакомо многим, кто пробовал острый перец. Жгло просто чудовищно! Тем не менее около трети населения планеты, примерно 2 миллиарда человек, ежедневно готово подвергаться этим мукам. Как такое возможно?

Для ответа на этот вопрос нужно пояснить, что это за растение, перец, оказавшееся в центре нашей истории. Само слово «перец» обозначает целую группу видов, относящихся к роду *Capsicum*. К нему принадлежит и острый стручковый перец, в плодах которого содержится большое количество капсаицина, вещества, которое отвечает за ощущение жжения (нежгучих видов перца не так уж много). Самыми популярными для выращивания считаются перцы видов *Capsicum annuum* (Перец стручковый), *C. frutescens* (П. кустарниковый), *C. pubescens* (П. опушенный), *C. baccatum* (П. ягодный) и *C. chinense* (П. китайский). Они, в принципе, являются многолетними кустарниками, но очень короткоживущими, поэтому в сельском хозяйстве считаются однолетними.

Перец происходит из Америки, его там выращивали еще 8 тысячелетий тому назад – он считался как весьма важным медицинским средством, так и необходимой для кулинарии приправой, и был очень популярен среди коренного населения континента. В Европу перец привез Колумб, возвращаясь из своего первого путешествия в Центральную Америку. В результате, как и многие другие съедобные виды растений из Нового Света, он широко распространился по всему миру.

Менее чем за сотню лет перец стал неотъемлемой частью гастрономических культур таких стран, как Италия, Венгрия (где он видоизменился в паприку), Индия, Китай, Западная Африка, Корея и многих других. Удивительное, ни с чем не сравнимое, самое успешное мирное завоевание нашей планеты, ее самых отдаленных уголков.

Именно его жгучий, острый вкус сделал перец столь желанным плодом. Для измерения жгучести перца американец Уилбур Сковилл (1865–1942) в 1912 году изобрел специальную шкалу, которую в честь ученого так и назвали шкалой Сковилла. Метод измерения жгучести с помощью шкалы получил название органолептического теста Сковилла. Для теста нужно взять вытяжку из плода и растворить ее в воде с сахаром: группа дегустаторов продолжает разбавлять раствор до тех пор, пока не придет к коллективному выводу, что в нем не осталось и малейшего острого привкуса. Количество разбавлений, – тем большее, чем острее перец, – соответствует числу единиц жгучести Сковилла (он назвал их «шу»). У сладкого перца 0 шу, чистый капсаицин обладает жгучестью в 16 млн шу, и это абсолютный максимум шкалы Сковилла¹⁴. Значение, завораживающее, как и любые физические пределы – такие, например, как скорость света или абсолютный температурный ноль. Недостижимая величина, Святой Грааль капсикофага.

Каждый год селекционеры, используя различные – законные и не очень – методы, добиваются повышения остроты и жгучести перца, выращивая новые сорта, обладающие особой, невиданной ранее пикантностью. Их главная цель – достичь вожаделенного предела, приблизившись, насколько возможно, к заветным 16 млн шу. Названия новых сортов поражают воображение. Обычно растения получают имена, намекающие на грацию, нежность, дружелюбие и красоту. Но с перцами все не так: «Инферно», «Дьявол», «Ядерный», «Мертвый», различные призраки и покойники – вот типичный выбор селекционеров перца. Встречаются также «Тигры», «Скорпионы», «Гадюки», «Кобры», «Драконы», «Тарантулы» и другие аналогичные милые существа.

¹⁴ На данный момент верхнюю строчку в шкале Сковилла занимает резинифератоксин. Это вещество естественного происхождения, обнаруженное в некоторых видах молочая, произрастающих в Африке. Его жгучесть составляет 16 млрд шу (т. е. в тысячу раз больше, чем у капсаицина), и он крайне токсичен. — *Прим. ред.*

В 2013 году сорт «Каролинский Жнец» (не тот жнец, который убирает урожай, а тот, которого принято изображать в виде скелета с косой) был оценен по шкале Сковилла в 2 миллиона шу, его плоды содержат чудовищное количество капсаицина – до 10 % от веса плода. Он обошел «Тринидадского Скорпиона» и стал самым острым перцем на планете. Но соревнование не окончено – в следующем году появится новый мировой рекордсмен жгучести.



По шкале Сковилла можно измерить степень жгучести перца, значения на ней распределяются от нуля для сладкого перца до 15 млн для самых острых сортов.



Мировой рекордсмен по жгучести – «Каролинский Жнец». В мире ежегодно производится около 33 миллионов тонн перца, на площади около 4 миллионов гектаров.

Миллионы селекционеров готовы продавать душу за создание нового, еще более острого сорта, а фанаты рвутся их пробовать и покупать. И чем острее перец, тем больше он получает рекламы, поскольку капсикофаги ищут лишь капсаицин, и ничего другого им не надо. Дозы все возрастают. В США выпущена ограниченная партия «острого соуса» («острый» в данном случае – эвфемизм) под названием «16 миллионов в запасе». Это попросту кристаллы чистого капсаицина в стеклянной банке; стоимость баночки может достигать нескольких тысяч долларов.

Что же представляет собой капсаицин? Это алкалоид, который, взаимодействуя с нервными окончаниями, активирует рецептор под названием TRPV1. Его задача – подавать в наш мозг сигнал о том, что уровень температуры среды становится опасным. Он активизируется обычно при температуре, превышающей 43 °С. Обычно рецептор TRPV1 активизируется, чтобы избежать травм, например, не ухватить кусок раскаленного железа голыми руками, или не пролотить ненароком ложку кипящего бульона. То есть он защищает нас от опасности. Именно

поэтому капсаицин вызывает ощущения жжения, и используется полицией во многих странах в качестве оружия – перцового газа. Но эти же его свойства стали причиной того, что его рассматривают в качестве приправы.

Психически нормальные люди не прыскают себе в глаза лимонный сок, не бьются голенями о ножки стульев – им не нравится испытывать боль. Почему же почти треть населения земного шара обожает засовывать себе в рот (туда, где находится один из самых чувствительных органов нашего тела – язык) большие количества алкалоида, вызывающего ощущение жуткого жжения? Я ломал голову над этим вопросом не один год, строил различные теории. Самое известное и наиболее цитируемое объяснение подобного поведения принадлежит психологу Полю Розену – он окрестил его «доброкачественным мазохизмом». Розен полагает, что людей определенного типа привлекают опасные ситуации, в том числе ощущения сильного жжения. Для них поедание перца – это что-то сродни катанию на «американских горках»: тело воспринимает происходящее, как опасность, а разум знает, что на самом деле риск невелик и поэтому реальной необходимости спасаться нет. Психолог сделал вывод, что после повторных раздражений одним и тем же стимулом первоначальный дискомфорт превращается в удовольствие.

Отдавая дань изяществу теории, я, тем не менее, никогда не считал ее убедительной. Отчасти потому, что я сам люблю острую еду, но совершенно равнодушен к американским горкам, прыжкам с мостов вниз головой или к иным подобным развлечениям. А отчасти потому, что моя жена, тоже обожающая острое, закрывает глаза на фильмах ужасов и никогда не качается на качелях, не говоря уж об американских горках. Еще потому, что многие из прожорливых капсикофагов, которых я знал, относятся к числу весьма робких и предпочитающих никогда не попадать в рискованные ситуации людей. И, наконец, потому, что вряд ли треть населения планеты соответствует вышеупомянутым характеристикам и любит покататься с ветерком над обрывом. Хотя, конечно, я могу и ошибаться. В пользу Розена говорят результаты исследований, проведенных аспирантами Джоном Хайесом и Надей Бирнс в 2013 году. Они изучили 97 случаев различного пищевого поведения и нашли корреляции между теми, кто «жаждал страстей» и любителями остренького.

Моя гипотеза состоит в том, что такое значительное количество людей в мире любят острый перец потому, что действие капсаицина отличается от действия других растительных алкалоидов, влияющих непосредственно на наш мозг (таких как кофеин, никотин, морфин и т. д.), но при этом достигает тех же целей – вызывает зависимость.

Попробую объяснить, как я пришел к такому выводу. Ощущая боль (в данном случае – жжение во рту), наше тело посылает серию сигналов в мозг, а тот, чтобы смягчить страдание, производит эндорфины – нейротрансмиттеры, обладающие болеутоляющим действием и вызывающие эйфорию, похожую на действие морфина. С помощью эндорфинов наше тело снижает болевые ощущения, и именно они играют ключевую роль в том воздействии, которое перец оказывает на капсикофагов.

Зависимость от эндорфинов не является чем-то неожиданным или уникальным: она лежит в основе механизма так называемого «второго дыхания». Если вы когда-либо участвовали в забегах на большие дистанции или ваши друзья занимаются спортом, требующим незаурядной выносливости, типа марафона, плавания или велогонок, вы наверняка знаете об особом чувстве эйфории, которое появляется после длительных нагрузок. Оно сопоставимо с ощущениями, возникающими после приема некоторых наркотических средств. Человек испытывает яркое ощущение счастья или сильного удовольствия от жизни. Долгие годы подлинность этих переживаний никак не подтверждалась научными исследованиями. Многие специалисты были уверены, что это просто легенды, распространяемые любителями бега, пока в 2008 году в Германии не было проведено исследование мозга атлетов до и после интенсивной физической нагрузки. Оно показало, что рассказы бегунов – правда. Второе дыхание оказалось вполне реальным явлением, которое объясняется выбросом эндорфинов в мозг. С другой стороны,

болеутоляющие свойства этих веществ позволяют объяснить высокий уровень порога боли, встречающийся у спортсменов, занимающихся интенсивными упражнениями. Известны многочисленные случаи, когда марафонцы продолжали бежать, несмотря на травмы и переломы, которые бы причиняли невыносимую боль в иных обстоятельствах. Тот же самый механизм лежит в основе потребления чрезмерного количества перца. Похоже, любители острого менее чувствительны к боли. Анестезирующий эффект капсаицина уже давно доказан, ему посвящено достаточно много научных статей, вышедших в последнее время.



Черпахи с Галапагосских островов и с острова Маврикий долгое время служили транспортным средством для семян растений, растущих на островах.

И наконец, пришло время связать все вышесказанное с названием этой главы. Как и многие другие растения, поощрявшие выработку у животных зависимости, перец прибег к химии, чтобы привязать к себе самого могущественного и универсального в мире переносчика семян – человека. На мой взгляд, растение становится от этого еще интереснее. В отличие от других своих собратьев, вырабатывающих наркотические вещества, воздействующие на мозг самых разных животных, перец действует с помощью капсаицина только на человека. Ни одного случая поедания стручков перца какими-либо другими млекопитающими не отмечено.

Похоже, что эволюционный процесс появления капсаицина в перце начался с противостояния грибковым инфекциям – капсаицин препятствует им. В регионах, где грибковая инфекция распространялась особенно интенсивно, выживали те представители рода *Capsicum*, чьи плоды содержали повышенное количество этого алкалоида. Затем перцу повезло с птицами, у которых, в отличие от млекопитающих, нет рецепторов, ощущающих жжение. Так он получил второе эволюционное преимущество, способствовавшее распространению семян самых острых перцев. Капсаицин отталкивал млекопитающих, которые при жевании плода могли уничтожить семечки, но перец поощрял птиц, которые не жуют и при этом разносят семена на большие расстояния. Однако самое главное преимущество капсаицина обнаружи-

лось тогда, когда с помощью нетипичной зависимости перцу удалось привязать к себе человека¹⁵.

Если моя теория, объясняющая как перец с помощью алкалоидов умудрился превратить нас в капсикофагов, по-прежнему вас не убеждает, поезжайте на одну из тысяч ярмарок перца, которые ежегодно проходят в нескольких странах мира. Атмосфера, в которой современные капсикофаги циркулируют между рядами, отличается от той, что я помню с детства. Никаких больше традиционных темных одежд – они носят береты и шапочки с химической формулой капсаицина¹⁶, футболки с надписью «rain is good», а самые отчаянные щеголяют татуировкой с пресловутой формулой. Новые адепты перца изучают состав наиболее острых соусов с апокалиптическими названиями – так теперь выглядит традиционная зависимость...

Тем временем потребление перца в мире растет. Страны, в которых пищевые традиции не способствуют возникновению этой предательской зависимости, за последние несколько лет продемонстрировали резкий рост потребления перца. Таким образом, стратегия, которую перец применил для завоевания человека, заставляет последнего делать все для обслуживания перца – растение победило. Связи с человеком позволили перцу в течение нескольких столетий завоевать всю планету: ни один другой распространитель семян не смог бы сделать ничего подобного за столь короткое время. А будущее манит еще более впечатляющими перспективами – это наименее утомительный и самый простой способ получить дозу эндорфина. Съесть блюдо с перцем чили куда как проще, чем пробежать 42 километра и еще 195 метров¹⁷.

¹⁵ «Боль – это хорошо» (англ.). Название марки острого соуса. – *Прим. ред.*

¹⁶ C₁₈H₂₇NO₃. – *Прим. ред.*

¹⁷ Длина марафонской дистанции. – *Прим. ред.*

Манипуляция с помощью химии

Пример перца и его алкалоида – далеко не единственный. Многочисленные химические соединения растительного происхождения воздействуют на работу мозга, и механизмы этого воздействия давно известны. Единственное, что еще не ясно до конца – зачем растениям тратить энергию на производство веществ, которые воздействуют на мозг животного?

Современные нейробиологические теории, описывающие потребление наркотиков, базируются на предположении, что все вещества, вызывающие зависимость, воздействуют на область мозга, отвечающую за вознаграждение. Всякий раз, как мы делаем что-то полезное для нашего выживания, эта зона, одна из самых древних в нашем мозгу, – она эволюционировала, реагируя на стимулы в виде пищи, воды, секса, – создает ощущение удовольствия, заставляя нас повторять полезные действия раз за разом. Действуя на эту же область, наркотики побуждают повторить прием вещества, которое активировало механизм вознаграждения, создавая, таким образом, зависимость.



Лотос – водное растение, известное и любимое за красоту еще со времен античности. Его яркие белые, розовые, голубые цветы весьма привлекательны для насекомых-опылителей.

Все гипотезы о происхождении растительных наркотиков, наоборот, относят основные алкалоиды (кофеин, никотин и т. д.) к нейротоксинам, которые следовало бы создать, по идее, чтобы наказывать и отбивать охоту к ним у травоядных животных. Согласно этим предположениям, эволюция не должна была производить соединений, которые, действуя на механизм вознаграждения, могли бы повысить потребление растений. В экологических исследованиях это явное противоречие получило название «парадокс вознаграждения за наркотики» (drug-reward

paradox). Однако, если мы согласимся с тезисом, что нейроактивные вещества, производимые растениями, являются не сдерживающим фактором, а инструментом, с помощью которого животных, наоборот, привлекают, чтобы манипулировать их поведением – парадокс разрешается, делая взаимодействие растения–животные более сложным и неоднозначным. Появляются новые, неожиданные перспективы и эффективные инструменты в области борьбы с употреблением наркотиков.

Вспомним экстрафлоральный нектар, о котором я рассказал в начале главы: взаимоотношения муравьев с растениями, долгая история их совместной эволюции могут служить идеальным случаем, на котором можно проверить мою гипотезу. И если, как я думаю, мы сможем доказать, что во взаимодействии с муравьями нейроактивные вещества используются растениями для манипуляций их поведением, у нас будет еще одно свидетельство наличия у растений далеко не безобидных способностей. Эта способность может кардинально изменить наши представления о растениях: из бесхитростных существ, отдающихся на милость животных и их потребностей, они превращаются в сложно устроенные организмы, способные подчинять своим нуждам поведение других.

Такая вот тотальная смена ролей.

Библиография

H. Boecker et al. The runner's high. Opioidergic mechanisms in the human brain, «Cerebral cortex», 18 (11), 2008, сmp. 2523–2531.

N.K. Byrnes, J.E. Hayes, Personality factors predict spicy food liking and intake, «Food quality and preference», 28 (1), 2013, сmp. 213–221.

F. Delpino, Rapporti tra insetti e nettari extranuziali nelle piante, «Bollettino della Società entomologica italiana», 6, 1874, сmp. 234–239.

M. Dicke, L.M. Schoonhoven, Joop J.A. van Loon, Insect-plant biology, Oxford University Press, Oxford 2005.

M. Nepi, Beyond nectar sweetness. The hidden ecological role of non-protein amino acids in nectar, «Journal of ecology», 102 (1), 2014, сmp. 108–115.

S.W. Nicolson, R.W. Thornburg, Nectar chemistry, in Nectaries and nectar, a cura di S.W. Nicolson, M. Nepi, E. Pacini, Springer, Dordrecht 2007, сmp. 215–264.

P.S. Oliveira, V. Rico-Gray, The ecology and evolution of ant-plant interactions, The University of Chicago Press, Chicago 2007.

W.L. Scoville, Note on capsicums, «The journal of the American pharmaceutical association», 1 (5), 1912, сmp. 453–454.

VI Зеленые демократии

Демократия основана на убеждении, что у обычных людей есть необычные возможности.

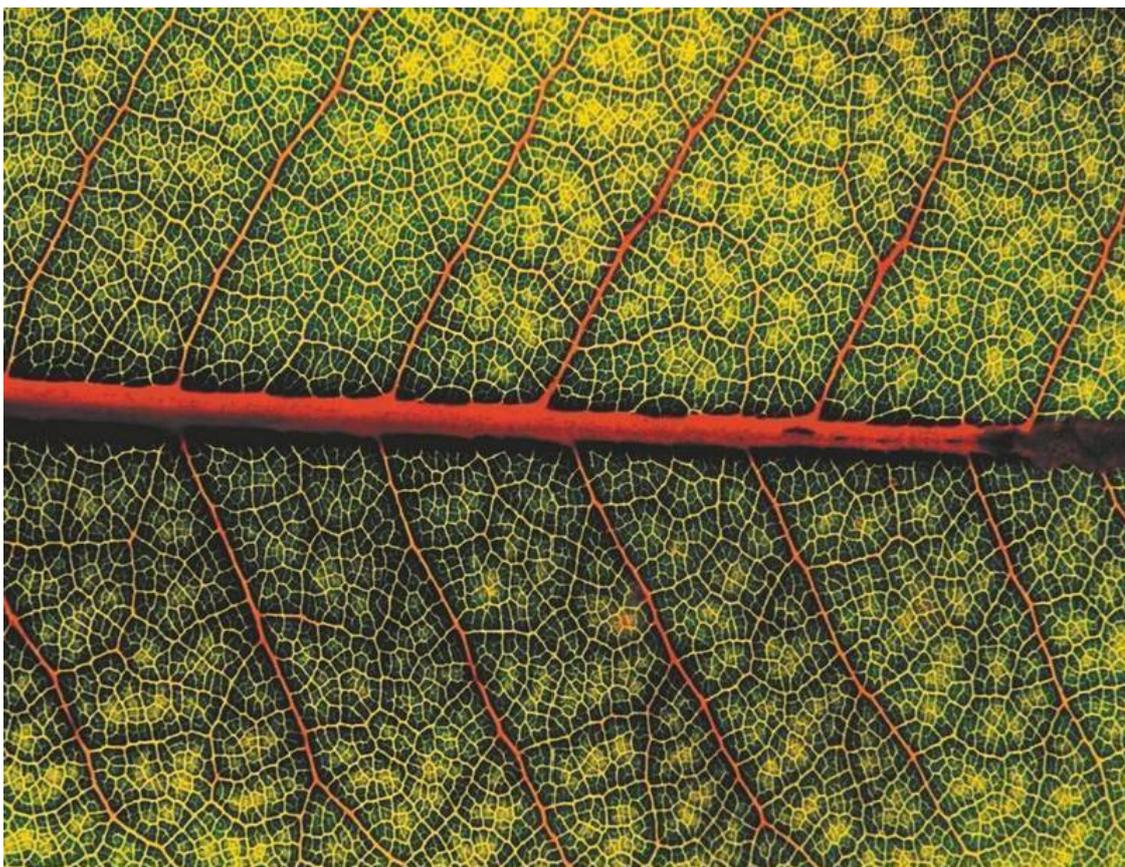
Гарри Эмерсон Фосдик. Домашняя книга цитат – классических и современных

Народная власть без информации для народа или средств ее получения – это пролог к фарсу или трагедии, а может быть, к тому и другому.

Джеймс Мэдисон. Сочинения

Иерархия и власть – явное нарушение законов природы. Они должны быть отменены. Пирамида: Бог, король, элита, чернь – должна быть снесена до основания.

Карло Пизакане. Революция



От прожилок в листьях до корневой системы – у растений все имеет форму сети.

Некоторые предварительные сведения о строении растений

Растение – не животное. Хотя это утверждение может показаться просто воплощением банальности, я обнаружил, что о нем следует постоянно помнить. Наши представления о сложной и разумной жизни связаны с образом животного, поэтому мы бессознательно считаем растения (раз не видим у них типичных свойств животного) пассивными существами, отказывая им в наличии таких способностей, как движение и общение. Отсюда оскорбительные: «растительное существование», «овощ»...

Это та причина, по которой, изучая то или иное растение, мы должны постоянно помнить о том, что перед нами существо, созданное по совершенно другим принципам, чем животное. Его строение настолько необычно, что, по сравнению с ним, любые инопланетные пришельцы из фантастических фильмов – не более, чем детские выдумки.

Растения абсолютно на нас не похожи. Это иные организмы, другая форма жизни, чей последний общий с животными предок жил 600 миллионов лет назад – в эпоху, когда жизнь только начала выходить из океана на сушу. Растения и животные разделились навсегда, чтобы пойти разными путями. Пока вторые учились передвигаться по суше, первые приспосабливались к новой среде, укореняясь в почве и используя в качестве источника энергии неисчерпаемые запасы солнечного света. Если сравнивать успехи, то, пожалуй, у растений они более внушительны: нет сегодня на планете уголка, который не был бы колонизирован растениями, и количество видов у них неизмеримо больше. Существуют разные оценки, которые сильно варьируются, поскольку оценить вес всей биомассы на Земле очень непросто. Однако ни одна из них не дает растениям меньше 80 % общего веса. Другими словами, не менее 80 % массы всех существ, что живут на нашей планете, приходится на долю растений. Это процентное соотношение является неоспоримым доказательством их потрясающей способности выживать и распространяться.

Их изначальный выбор – укорениться в почве – определил соответствующие изменения тела растения. Оно эволюционировало совершенно по-другому, чем тело животного, и постепенно стало для нас непонятным и трудно постижимым. Растения не имеют лица, конечностей, и в целом совершенно не похожи на то, что мы определяем, как «живое существо». Это делает их как бы «невидимыми». Мы воспринимаем их просто как часть пейзажа, потому что видим, по сути, только то, что понимаем, а понимаем лишь то, что похоже на нас самих. Растения – образец «инаковости» на нашей планете.

Чем же «растительный» образ жизни отличается от «животного»? Каковы характеристики типичного растения, делающие его столь далеким и непонятным? Самая важная разница между растениями и животными заключается в том, что у растений нет отдельных, или парных, органов, которые бы выполняли особые функции. Для растения, укорененного в почве, главная проблема – не быть съеденным или уничтоженным «хищником». Оно не может убежать, как поступило бы в подобной ситуации животное. Единственный способ спастись от нападения хищника – не попадаться ему на глаза. Легко сказать, но трудно сделать. Чтобы совершить чудо, нужно быть непохожим на животное, стать растением и не иметь уязвимых мест. Точнее, иметь их в гораздо меньшем количестве, чем у животных. По сути, любой специализированный орган или конечность – уязвимое место. Если бы у растения был мозг, легкие, печень, почки и тому подобное, оно бы стало добычей первого же хищника – даже самого крошечного, такого, как насекомое. Повреждение любого органа стало бы угрозой для выживания всего организма. Именно поэтому у растений нет таких же, как у животных, органов. А не по той причине, как можно было бы подумать, что у них нет таких же потребностей, как у животных. Если бы у растений были глаза, уши, мозг, легкие, никто бы не сомневался в том, что они способны видеть,

чувствовать, вычислять или дышать. У них нет подобных органов и поэтому нужно прибегать к помощи воображения, чтобы представить себе и понять их невероятные способности.

В целом растения распределяют по всему телу те функции, которые у животных выполняют специализированные органы. Децентрализация – вот ключевое слово. Не так давно было доказано, что растения дышат всем телом, видят всем телом (я об этом уже упоминал в главе «Тонкое искусство мимикрии»), чувствуют всем телом, совершают расчеты всем телом и т. д. Наиболее широкое распределение всех функций – единственный способ выжить в мире хищников, и растения научились этому столь хорошо, что могут спокойно перенести ампутацию большей части тела и не потерять функциональности. Растительная модель не предусматривает наличия мозга, играющего роль центрального командного пункта, или отдельных органов, зависящих от него. В некотором смысле растения весьма современны: у них модульная архитектура, это сообщество без командного центра, способное успешно переживать повторяющиеся катастрофы и нападения.



Карликовая пальма (Chamaerops humilis, от греческих слов chamái – на земле и rhóps – куст), одно из самых распространенных растений в Средиземноморском регионе.

Классическим примером, позволяющим представить себе способность растений сопротивляться, может служить их выживание после пожаров. Действительно, растения создали совершенную стратегию борьбы с огнем – одним из самых разрушительных стихийных бедствий. Существуют растения, способные выдержать открытое пламя, некоторые из них устойчивы к воздействию температуры, а некоторые даже привязали свой жизненный цикл к периодическому выгоранию подлеска. Во всех этих случаях способность растений противостоять могуществу огня просто поражает воображение.

Хочу поделиться примером из моего собственного опыта. Я обычно провожу летний отпуск на западном побережье Сицилии, где растут дикие карликовые пальмы, *Chamaerops humilis*. Они имеют европейское происхождение. Все годы, что я там отдыхаю, обширные пожары регулярно опустошают холмы, обращенные к морю и поросшие этими карликовыми

пальмами. Пожар происходит, как правило, каждые два года – с поразительной регулярностью (похоже, что пироманов тоже кто-то жестко программирует...). Несмотря на столь частые катастрофы, к которым я лично привыкнуть никак не могу, пальмы оказываются тут как тут, как только пожар прекращается. Некоторые – сильно обгорелые, другие – превращенные в сплошные угли, третьи – похожие на огарки. Но через несколько дней они скромно, в соответствии со своим названием, начинают выбрасывать новые веточки. На деревьях, о которых невозможно даже подумать, что они живы, появляются скромные бутоны сияющего зеленого цвета, еще более яркого на фоне черного пепла. Эта ликующая демонстрация сопротивления невзгодам – плод иной организации жизни у растений; организации, равной которой и в помине нет у животных. Это возможно именно благодаря отсутствию единого командного центра и распределению всех функций.

Кто-то решает проблемы, а кто-то их избегает

Многие решения, найденные растениями, являются полной противоположностью решений, действующих в животном мире. Это похоже на негатив фотографии: то, что у растений белое, у животных – черное, и наоборот. Животные перемещаются, растения стоят на месте. Животные питаются живыми существами, растения кормят живых существ. Животные производят углекислый газ, растения поглощают его. Животные потребляют, растения производят. И так можно продолжать довольно долго. Среди многих противоположных качеств, отличающих эти два мира, главным отличием, по моему мнению, является наиболее известное противопоставление концентрации и распределения, о которых я уже писал. Типичная для животных централизация гарантирует скорость принятия решений. Во многих случаях скорость реакции является преимуществом для животного (но не всегда, так как взвешенные решения требуют времени), но для растений скорость является ничего не значащим параметром. Важно не то, с какой скоростью они дают ответ, важно, чтобы он был правильным, и способствующим решению задачи. На первый взгляд, предположение о том, что растения могут решать задачи лучше, чем животные, кажется необдуманым, даже диким. Неужели на самом деле растения могут превосходить животных в решении проблем? Однако, если внимательно изучить реакции тех и других, то можно прийти к выводу, что животные прибегают в самых разных ситуациях к одному и тому же решению, к чему-то вроде универсального рецепта для чрезвычайных происшествий. Этот рецепт – движение. Универсальный ответ, годный для любых затруднений. Какова бы ни была проблема, животные решают ее, перемещаясь. Если нет еды – надо ее искать. Если слишком жарко или слишком холодно, слишком влажно или слишком сухо – они мигрируют туда, где условия более комфортные. Если конкуренты становятся более многочисленными или более агрессивными – надо перебраться на новую территорию. Если рядом нет партнера для размножения – надо его найти. Список причин для движения весьма обширен, но на множество чрезвычайных происшествий есть один ответ – побег. На самом деле, если судить строго, это не решение проблемы, а скорее способ избежать трудностей. Таким образом животные не решают проблемы, а достаточно эффективно их избегают. И я уверен, что каждый из нас может поведать о многочисленных случаях из собственного опыта, подтверждающих мои выводы.

Поскольку способность к движению – главный ресурс животных, бегство стало стереотипным ответом на опасность, эволюция работала неустанно над совершенствованием этой способности. Животные двигаются самым разным образом: плавно и быстро. В этом контексте иерархическое строение тела, с центральным органом управления, принимающим решения, самое лучшее, что можно придумать.

Для растений, наоборот, вопрос скорости не имеет никакого значения. Если климат, в котором проживает растение, становится слишком холодным, жарким, или вокруг поселяются многочисленные хищники, скорость ответа на перемены не имеет никакого значения. Гораздо важнее найти эффективное решение проблемы, что-то, что позволит выжить, несмотря на холод, жару или набеги тех, кто хочет тебя съесть. Чтобы в такой ситуации преуспеть, наоборот, предпочтительны длительное время и децентрализованная организация. Как мы увидим дальше, такой ответ носит и более инновационный характер. Растение, укорененное в почве, получает более детальную информацию об изменениях окружающей среды.

Для того чтобы найти правильный ответ, важно собрать точные исходные данные. Растения, выбравшие когда-то неподвижный образ жизни, развили в качестве компенсации удивительную чувствительность. Не имея возможности сменить среду обитания, они умудряются выживать только за счет способности постоянно и с высокой степенью точности определять химические и физические параметры: освещенность, гравитацию, наличие тех или иных мине-

ральных компонентов в почве, влажность, температуру, механические воздействия, спектральный состав света, состав газов в атмосфере и т. д. В некоторых случаях они могут даже измерить приложенную силу, определить направление, длительность, интенсивность и специфические характеристики воздействия. Биотические сигналы (то есть сигналы, получаемые от других живых существ) – такие, как расстояние до ближайших соседей, идентификация их, появление хищника, симбиотических и патогенных микроорганизмов – все эти достаточно сложные массивы данных растение тщательно и постоянно регистрирует и отвечает на них адекватно. Все это подтверждает вывод о том, что идея бесчувственности растений – полный бред.

Итак, животные реагируют на изменения окружающей среды движением, чтобы избежать проблем, а растения отвечают на те же изменения постоянными мутациями, приводящими к адаптации.

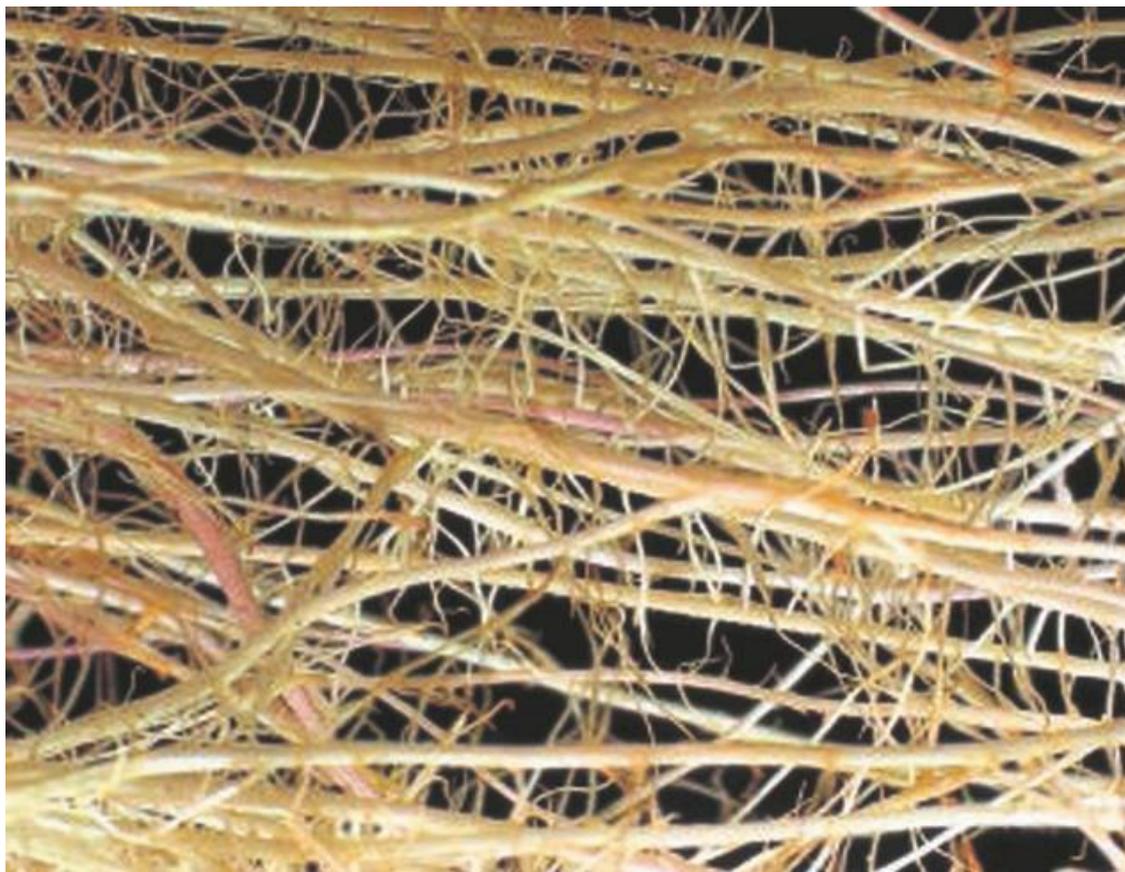
Сообщества корней и социальных насекомых

Остается только прояснить загадку: как растениям удастся существовать без мозга, органа, руководящего всеми реакциями животного? Какие системы они используют вместо него? И вообще, как они умудряются реагировать на продолжительные изменения окружающей среды, принимая при этом правильные решения? Реакция рождается в самой важной части растения – в корневой системе.

Корневая система, без преувеличения, играет решающую роль в жизни растения. Это сеть, новые ячейки которой постоянно растут и продвигаются вперед. Она состоит из бесчисленных микроскопических командных центров, каждый из которых обрабатывает информацию, собранную в процессе роста корня, и принимает решение о направлении этого роста. Таким образом, вся корневая система решает, как жить растению. Она выступает в роли коллективного разума или, вернее, интеллекта, распределенного по поверхности. В процессе роста и развития каждый корень собирает фундаментальную информацию о питании и выживании растения. Система, разрастаясь, может достичь по-настоящему впечатляющих размеров. Одноединственное растение ржи способно создать корневую систему из сотен миллионов отдельных корешков. Впечатляющее количество, но не сравнимое с корневой системой взрослого дерева: мы не обладаем точными данными, но речь идет о миллиардах ответвлений. Известно, что в одном кубическом сантиметре лесной почвы может насчитываться до нескольких тысяч корней. Для взрослого дерева в естественной среде обитания нет даже приблизительных оценок. Отсутствие точных данных показывает, с какими трудностями биологам приходится сталкиваться при изучении этой скрытой части растения. Сегодня отсутствие методов или инструментов, которые могли бы записывать движения корней, – главное препятствие, тормозящее исследование поведения растений. Для получения информации необходимы неинвазивные системы непрерывного анализа трехмерной съемки всей корневой системы. Эти системы еще только предстоит создать.

Несмотря на технические ограничения, в последние годы изучение корневых систем позволило выявить неожиданные аспекты их деятельности, в частности механизмы и способы, используемые корнями для исследования почв. Этот процесс оказался настолько эффективным, что вполне может лечь в основу создания нового робота. Он мог бы использовать методы растений в условиях отсутствия карты или опорных пунктов для ориентации, для освоения незнакомых пространств – это далеко не простая задача для централизованных инструментальных систем. Однако децентрализованная система, состоящая из множества маленьких «исследователей», действующих параллельно, может собрать данные о почве гораздо быстрее и успешнее, чем самый хитроумный, но одиночный аппарат.

Как я уже упоминал в других главах, в последние годы мы все больше опираемся на уже существующие в природе системы, чтобы создавать новые технологические решения. Я не имею в виду только растительный мир. Большие перспективы открываются в области исследования сообществ, способных осваивать новые места обитания – например, сообществ социальных насекомых. Они могут служить источником вдохновения для конструкторов.



Корневая система растения – типичный пример децентрализованной, распределенной системы, состоящей из миллионов отдельных центров (корни), взаимодействующих между собой.

Многие животные, действуя в группе, демонстрируют особые формы поведения. Например, можно вспомнить случаи нашествия насекомых или птичьих стай. Благодаря определенному типу взаимодействия птиц друг с другом, вся стая действует как единый организм. Подобное коллективное поведение стало важным объектом исследования ученых – не только с целью понять базовые принципы поведения группы, но и для получения знаний, позволивших бы применять их на практике, используя одни и те же организационные принципы для различных технологических решений. У таких сообществ есть целый ряд преимуществ. С одной стороны, они демонстрируют чрезвычайно прочные связи (на самом деле, отсутствие единого центра контроля и коммуникаций позволяет успешно встречать самые разные вызовы), с другой – их легко воспроизвести и задействовать, пусть даже в самом примитивном виде, поскольку в самом начале развития правила взаимодействия и обмена информацией совсем просты. Биологи долгое время полагали, что подобные группы существуют только в животном мире (рои, стаи, стада и т. п.). Однако, по идее, любое сообщество, состоящее из единичных агентов (каждый из которых принимает самостоятельное решение, не связанное единым командным центром) и использующее простые правила коммуникации, должно быть похоже на вышеописанные. Существуют и растения, чья модульная структура позволяет сравнить их с роем насекомых.

Трактовка растения, как колонии отдельных модулей, не нова. Еще в античной Греции философ и ботаник Теофраст (372–287 гг. до н.э.) отмечал, что «повторение – сущность растения». В XVIII веке Эразм Дарвин и Иоганн Вольфганг Гете (да, тот самый автор «Фауста») рассуждали, можно ли рассматривать деревья, как колонии повторяющихся модулей. Уже в наше время французский ботаник Франсис Алле описал растения, как метамерические орга-

низмы, тело которых состоит из повторяющихся одинаковых частей, при этом рекурсия отдельных модулей и повторение иерархических уровней корневой системы позволяют применять методы фрактального анализа для их описания.



Птичья стая может служить классическим примером появления у группы свойств, которых нет у единичной особи. При этом для получения сложных результатов достаточно простых правил.

Таким образом, наблюдая рост корневой системы, исследующей почву, можно обнаружить, что, несмотря на отсутствие центральной нервной системы, ее действия вовсе не хаотичны. Наоборот, они весьма структурированы и отлично скоординированы для достижения стоящих перед ними целей. Корни обладают, к примеру, потрясающей способностью ощущать малейшие изменения содержания кислорода и воды, колебания температуры и концентраций питательных веществ. При этом они определяют источник изменений в окружающей среде с потрясающей точностью. Как они умудряются это делать и не путаться в локальных отклонениях от искомым параметров, остается загадкой.

Несколько лет назад мы вместе с моим коллегой Франтишекком Балушкой решили изучить корни растения с точки зрения коллективного организма, рассматривая их, как своего рода стаю птиц или колонию муравьев. Этот подход оказался очень эффективным и позволил подтвердить гипотезу о том, что корневая система, способы ее поведения в почве и освоения ею ресурсов могут быть описаны с помощью моделей поведения стаи, аналогичных тем, что биологи применяют для исследования сообществ насекомых. Для одного-единственного муравья навигация в пространстве по градиентам характеристик среды¹⁸ – задача невыполнимая. Муравей, столкнувшись с малейшими изменениями данных, просто потеряется в пространстве без каких-либо шансов понять, где он. Однако, действуя вместе с остальными, в

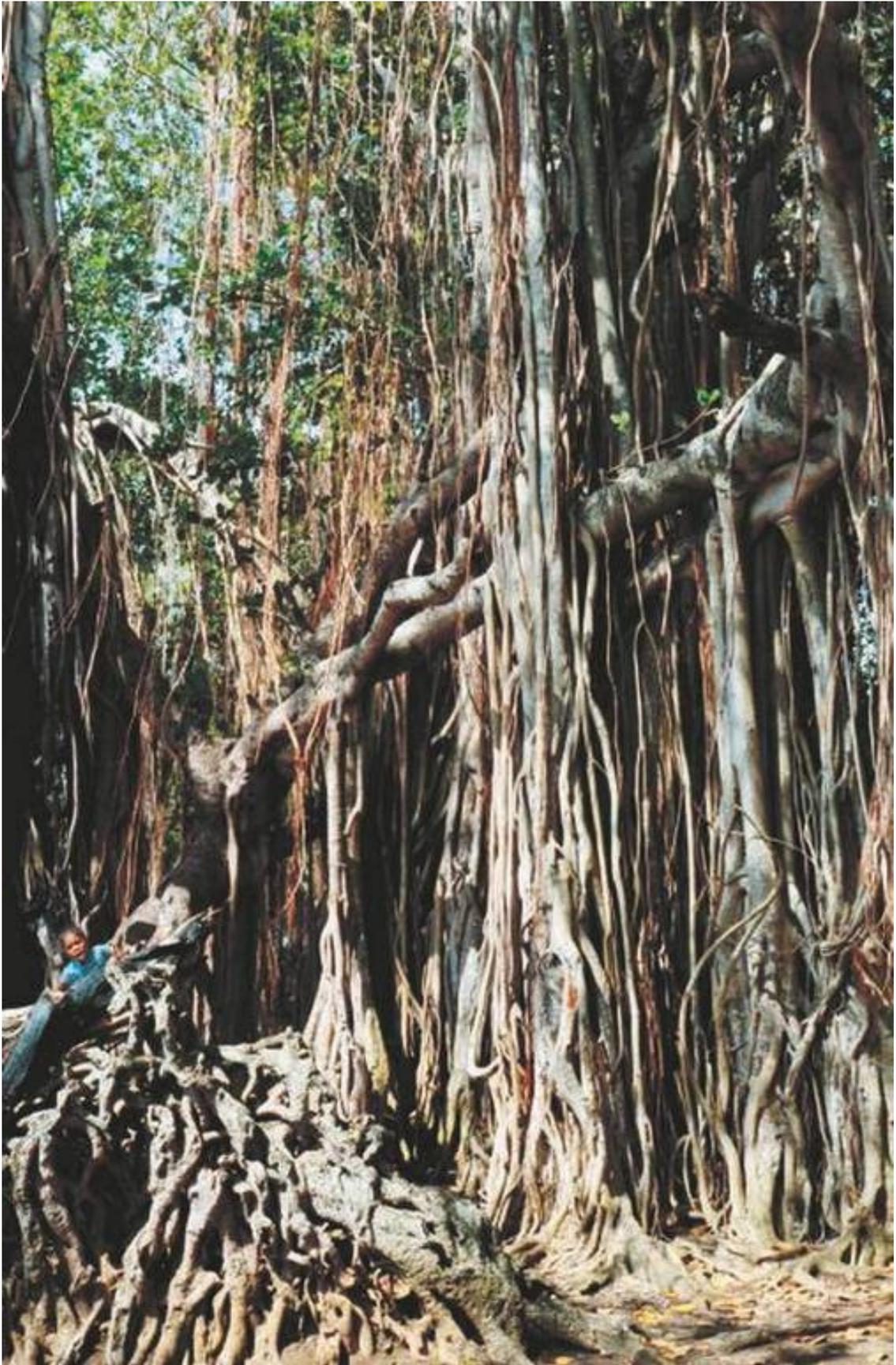
¹⁸ Градиент – вектор, указывающий направление наибольшего возрастания некоторой величины. – *Прим. ред.*

составе колонии, муравьи прекрасно справляются со многими трудностями. Вместе они становятся огромной интегрированной матрицей, оснащенной многочисленными датчиками, которые постоянно снабжают их данными о состоянии окружающей среды. Так мы открыли, что корневая система растения, подобно колонии муравьев, действует как коллектив. И тем самым минимизирует воздействие локальных флуктуаций параметров среды. И, как и в колонии насекомых, принципы передачи информации от одного корня к другому, то есть между разными автономными агентами, весьма вероятно, строятся на основе стигмергии.



Термиты, как и муравьи, создают колонии, способные выполнять чрезвычайно сложные задачи.

Этот термин обозначает типичное поведение систем, не имеющих центра контроля и использующих изменения окружающей среды в качестве инструмента коммуникаций. Типичные примеры стигмергии можно наблюдать в природе – она свойственна сообществам муравьев или термитов. Насекомые считывают химические метки феромонов, оставленные сородичами, и создают из простых земляных комочков восхитительно сложные конструкции – например, гнезда с арками, колоннами, отдельными помещениями, путями эвакуации. Стигмергия работает, впрочем, не только в сообществах насекомых. Наше общение в Интернете, сообщения, оставляемые многочисленными пользователями в Сети, существуют по тем же принципам самоорганизации.



Огромный экземпляр бенгальского фикуса (или дерева баньян) и его огромные надземные корни.

Растения, таким образом, представляются организмами, способными использовать результаты взаимодействия между отдельными своими частями для решения проблем и принятия весьма сложных решений. С другой стороны, сами эти способности обязаны своим существованием децентрализованной организации и отсутствию иерархических уровней. Высокая эффективность подобных систем привела к тому, что они весьма распространены в природе, и в том числе в человеческом обществе.

Афиняне, пчелы, демократия и растительные модули

Многие знают, что термин «демократия» («народовластие») образован из греческих слов *démos* (народ) и *krátos* (власть) и обязан своим появлением удивительной трансформации власти в древних Афинах, которые и подарили человечеству демократию примерно в 500 году до н.э. Эта форма правления стала краеугольным камнем в основании нашей цивилизации. Менее известен тот факт, что к настоящему времени представления о демократии, а вместе с ними и сама система, с помощью которой народ выражает свою волю, сильно изменились. Настолько сильно, что если вдруг афинский вид демократии воцарится вдруг в какой-нибудь стране мира, распознать в ней привычный сегодня способ правления будет очень трудно.

Управление в афинской демократии осуществлялось через Народное собрание (эклессию), в котором принимали участие все горожане старше 18 лет. Его решения, принимаемые большинством, имели решающее значение для законодательной деятельности и управления городом. Короче говоря, в Афинах действовала прямая демократия, власть народа была непосредственной. Система, к которой мы привыкли сегодня, отличается от той демократии весьма существенно – это представительская демократия. Вопрос о том, какой вариант лучше и эффективнее: прямое осуществление власти народом или же делегирование полномочий его избранным представителям, – стал предметом жарких дискуссий еще во времена античности. В диалоге «Протагор» Платон показывает, что философы Протагор и Сократ были крайне скептически настроены по отношению к способности народа, лишенного соответствующих знаний, к компетентному управлению и решению проблем, возникающих перед обществом. Он приводит такое мнение Сократа:

«И вот я вижу, что когда соберемся мы в Народном собрании, то, если городу нужно что-нибудь делать по части строений, мы призываем в советники по делам строительства зодчих, если же по корабельной части, то корабельщиков, и так во всем том, чему, по мнению афинян, можно учиться и учить; если же станет им советовать кто-нибудь другой, кого они не считают мастером, то, будь он хоть красавец, богач и знатного рода, его совета все-таки не слушают, но поднимают смех и шум, пока либо он сам не оставит своих попыток говорить и не отступится, ошеломленный, либо стража не стащит и не вытолкает его вон по приказу пританов. Значит, в делах, которые, как они считают, зависят от мастерства, афиняне поступают таким образом. Когда же надобно совещаться о чем-нибудь, касающемся управления городом, тут всякий, вставши, подает совет, будь то плотник, медник, сапожник, купец, судовладелец, богатый, бедняк, благородный, безродный, и никто его не укоряет из-за того, что он не получил никаких знаний и, не имея учителя, решается все же выступить со своим советом, потому что, понятно, афиняне считают, что ничему такому обучить нельзя. Ясно, что [афиняне] не считают, что [управлению городом] можно научиться».

Аргументы, которые приводит Сократ, критикуя принцип, согласно которому жители Афин имели право сказать последнее слово во всех ситуациях, которые касались жизни полиса, приводятся всеми критиками прямого народного управления, со времен Афин до наших дней. Даже тот факт, что прямая демократия сопутствовала самому продуктивному периоду в истории человечества, превращается в незначительную деталь в среде критиков демократической системы. Сторонники олигархии (даже те, которые являются нашими современниками) полагают, наоборот, более заслуживающими внимания и более эффективными, решения, которые называют «естественными». Как правило, речь у них идет о формировании иерархии, или, если сказать простыми словами, «праве сильного» и «законе джунглей». По их мнению, это и есть «естественный порядок». Такие законы существовали и существуют, как бы неприятно это ни было. В «Горгии», другом знаменитом диалоге Платона, софист Калликл утверждает, что

«законы как раз и устанавливают слабосильные, а их большинство. Но сама природа, я думаю, провозглашает, что это справедливо – когда лучший выше худшего и сильный выше слабого».

Столь сложный вопрос, очевидно, следует обсуждать с использованием иной терминологии. Давайте сразу отбросим общепринятое, но не совсем правильное суждение: «В природе иерархии, когда отдельные особи или группы решают за все сообщество, редки». Мы о них знаем только потому, что смотрим на природу человеческим взглядом. В очередной раз наши глаза видят только то, что напоминает нас самих, и не замечают тех, кто на нас не похож. Редки не только олигархии. Воображаемое иерархическое подчинение и «законы джунглей» на самом деле – обыкновенная глупость. Увы, подобные структуры работают очень плохо, или вовсе не работают. Децентрализованные организации, не имеющие единого пункта контроля и управления, в природе куда как эффективнее. Современные достижения биологии в области изучения группового поведения доказывают без малейшего сомнения, что решения, принимаемые группой, почти всегда лучше, чем те, что вырабатываются единичными особями. В некоторых случаях способность группы решать проблемы просто поражает. Идея, что демократия противна природе, таким образом, показала себя самым соблазнительным обманом, придуманным человеком, чтобы оправдать противоестественную жажду личной власти.

Возьмем, к примеру, сообщество животных. Они должны постоянно принимать различные решения по выбору направления перемещений, текущей деятельности и способов ее реализации. Каковы же их принципы поведения? Решение задачи в природе принимается по инициативе одной особи, или нескольких, в соответствии с моделью, названной Ларисой Конрадт и Т. Дж. Ропером «деспотией», или же наоборот, разделяется максимально большей частью индивидуумов, в соответствии с моделью под названием «демократия»? В прошлом большинство ученых ответило бы на этот вопрос, не раздумывая: конечно, животные подчиняются воле одного или нескольких вожаков. И уверенность их ответа определялась бы распространенным убеждением: демократические решения возможны только с помощью голосования и правильного подсчета голосов, что совершенно нереально в мире животных. Еще недавно это представление служило непреодолимым препятствием для признания возможности демократического устройства в сообществах животных. Однако в последние годы было доказано существование невербальной коммуникации: с помощью особых движений тела, звуков, положения в пространстве, интенсивности сигналов и сотен других сообщений. Эти виды коммуникации открыли невиданные перспективы для ученых, которые вдруг осознали, что отношения в коллективе животных на самом деле очень сложны.

В 2003 году вышеназванные Конрадт и Ропер опубликовали результаты исследования методов, с помощью которых животные принимают групповые решения. Работа имела революционное значение: авторы подтвердили тезис о том, что групповые решения являются нормой для мира животных и описали «демократический» механизм участия индивидуума в принятии решения, весьма распространенный, как выяснилось, в природе. В отличие от «деспотии», эта практика существенно менее травматична для членов сообщества. И даже если «деспот» является экспертом в определенной области, решение достаточно большой группы особей все равно обеспечивает лучшие результаты. Таким образом, принцип участия в принятии решений проверен самой эволюцией: выбор группы лучше отвечает потребностям большинства ее членов даже по сравнению с решениями «просвещенного правителя». Как пишут Конрадт и Ропер, «демократические решения более благоприятны для группы, поскольку стремятся к оптимальной середине».



Молочай древовидный (Euphorbia dendroides) – типичный для Средиземноморья вид, куст с раздваивающимися ветками высотой до двух метров.

Для понимания динамики поведения сообщества животных можно взять в качестве конкретного примера пчел. Их предрасположенность к социальному поведению стала известна

еще во времена античности, задолго до появления терминов «интеллект стаи» или «коллективный интеллект», и ученые отлично знали, что поведение колонии в целом гораздо сложнее, чем просто сумма поведений отдельных пчел, которые ее составляют. Пчелы демонстрируют поведение, которое по своим базовым принципам напоминает работу мозга, а отдельные особи выполняют роль нейронов. Это сходство проявляется каждый раз, как улей должен принимать решение по образованию дочерней колонии – роя. Всякий раз, когда материнский улей становится больше определенных размеров, ему приходится разделяться. Матка в сопровождении десятка тысяч рабочих пчел отправляется на поиски нового убежища, где можно образовать новый улей. Пчелы-мигранты улетают на достаточное расстояние от материнского улья и совершают нечто удивительное: рой повисает на несколько дней на дереве, в то время как пчелы-разведчики изучают окрестности и возвращаются с информацией о возможных вариантах переселения. В рое идет настоящая демократическая дискуссия, словно в древних Афинах. Но как же выбрать среди множества возможных мест для нового улья самое лучшее? Пчелы используют систему, выработанную в ходе эволюции и проверенную самыми различными обстоятельствами: они принимают групповое решение.

Природа предоставляет нам тысячи подобных примеров коллективного поведения. Системы без единого центра контроля – они повсюду. Даже мы, люди, не отдавая себе в этом отчета, принимаем решения (каждый из нас в каждой повседневной практике) коллективным манером. Нейроны в нашем мозгу, ответственные за наши мысли и чувства, работают группой, точно так же, как пчелы, которые выбирают место для нового улья. В обеих системах выбор основан на конкуренции различных опций: преобладает та, у которой самая большая поддержка, и неважно, кто голосует – пчелы танцем или нейроны электрическими сигналами.

Но мы слишком удалились от пчел. Мы оставили рой висеть на дереве, пока пчелы-разведчики летают по окрестностям, выискивая новый дом. Но вот они возвращаются, чтобы поделиться с роем собранными данными о местах, где они побывали. Доклады их имеют несколько театральный вид – пчелы танцуют особые танцы. Этот балет имеет тем более сложный рисунок, чем более симпатичным пчела-танцовщица находит найденное ею место. Остальные пчелы, привлеченные красотой танца, выражают желание посетить приятный уголок, и, по возвращении, уже все вместе танцуют балет с пропагандистским уклоном. Таким образом формируются все большие группы танцующих пчел. Самые разрекламированные места посещает все большее количество представителей, и постепенно растет число их сторонников. В соревнование танцев вовлекаются группы пчел, представляющих разные места в округе роя, и в конце концов тот танец, который сможет убедить всех, становится решающим – рой вместе с маткой отправляется к месту нового поселения, выбранному большинством.



Пчелиные ульи, как и большая часть сообществ животных, принимают решения на основе количества положительных ответов, высказанных самыми разными способами.

Будь то перемещение пчел, возбуждение нейронов или принятие решений афинянами на экклесии, во всех случаях в соревновании побеждает тот, кто получает наибольшее количество голосов сообщества. С другой стороны, все возрастающее количество исследований группового поведения живых организмов, – от бактерий до человека (включая, конечно, и растения), – показывает, что ученые склоняются к выводу, который мне кажется чрезвычайно важным: в природе существуют общие принципы, управляющие поведением группы и действующие таким образом, чтобы образующийся в результате коллективный интеллект был выше, чем интеллект отдельных, составляющих эту группу индивидов.

Если вы все еще сомневаетесь и полагаете, что в природе все-таки существует «право сильного», знайте, что это глупо. Коллективные решения дают самую надежную гарантию наилучшего решения сложных проблем.

Теорема жюри

Как я уже упоминал, существует поразительное сходство между пчелами, озабоченными поиском наиболее подходящего места для образования нового улья, и нейронами нашего головного мозга, занятого решением той или иной задачи. Стаи животных и наш мозг организованы одинаково. Поэтому один-единственный агент – пчела или нейрон, без разницы – обладает минимальной информацией и минимальным индивидуальным интеллектом, но их группа способна принять правильное решение. В любом случае решение приходит во время честного и прямого демократического голосования членов сообщества. Большинство пчел, посетивших предполагаемое место нового улья, или большинство нейронов, подавших электрические сигналы, определяют окончательное решение. Это означает, и это следует запомнить, что даже наши собственные решения являются плодом демократического выбора. И так происходит повсюду в природе. Там, где можно объединиться в группы, образуются системы, подчиняющиеся единым принципам организации. Группы при этом всегда проявляют себя более умно, чем отдельные индивидуумы, из которых они состоят.

В 1785 году Мари Жан Антуан Николя де Карита, маркиз де Кондорсе (1743–1794), известный французский экономист, математик и революционер, создал теорию вероятности принятия правильного решения группой индивидуумов. Речь идет о «теореме жюри», выведенной в название раздела. Согласно этой теореме, рост количества членов жюри повышает вероятность того, что группа в целом примет правильное решение. Таким образом, Кондорсе показал, что эффективность жюри прямо пропорциональна количеству его членов, при условии, что они обладают минимумом компетенции и дееспособны. Итак: у группы, занятой поиском решения задачи, возможности прийти к наилучшему решению возрастают по мере роста ее размеров.

Казалось бы, Кондорсе просто перевел на язык математики всем известную поговорку «Одна голова хорошо, а две лучше», но тем не менее теорема стала началом революции. Кондорсе своими рассуждениями заложил прочный фундамент под демократические процессы в политике и законотворчестве. Кроме того, плод его трудов лег в основу всех последующих исследований коллективного разума. Разум, который рождается в результате взаимодействия различных групп отдельных особей, мы можем наблюдать в сообществах насекомых, в корневых системах растений и даже во время работы нашего собственного мозга.

Любая группа людей, от семьи до предприятия, от спортивной команды до армии, проверяет эти теории на себе. Сегодня в особенности, благодаря возможности делиться мнениями через Интернет, представители человечества становятся все более взаимосвязанными. Что может возникнуть в результате объединения такого количества индивидуумов? Глобальные связи представляют собой новую стадию эволюции, и мы должны позволить нашему виду обрести невиданные доселе возможности и способности. Группы людей, взаимодействующие с помощью современных средств связи, уже создали новые возможности в самых разных областях: в написании компьютерных программ, в решении инженерных проблем, в выявлении лжи и лжецов, в создании энциклопедий... Список ситуаций, в которых работает именно коллективный разум, растет день ото дня.

Коллективный интеллект, таким образом, обладает способностью достигать более высоких результатов, чем те, что получаются посредством индивидуальных усилий, особенно в области решения сложных задач. И этот принцип несет в себе огромные возможности.

Недавно научный коллектив, возглавляемый Максом Вольфом (специалистом по коллективному поведению) из отдела биологии и экологии рыб Института Лейбница в Берлине, опубликовал результаты подробного исследования способности группы врачей диагностировать с достаточной уверенностью рак молочной железы на основе данных рентгенографии. Этот спо-

соб диагностики обычно дает 20 % ошибок в позитивных диагнозах и 20 % ошибок в негативных. Так вот, Вольф доказал, что коллектив врачей, используя типичные методы коллективного принятия решений, таких, как голосование большинством голосов при условии достижения кворума, добился лучших результатов диагностики, чем отдельные врачи из группы.

Похожие способы сейчас используются для решения научных задач с самыми неожиданными результатами в самых разных областях знаний: от структуры белков до свойств наноматериалов.

В апреле 2016 года датские физики из университета Орхуса доказали, что, используя возможности десятков тысяч игроков онлайн, можно решить проблемы квантовой физики, над которыми отдельные ученые бились десятки лет. Что же может произойти в ближайшие годы, если мы научимся лучше использовать возможности коллективного разума? Мы находимся только в самом начале революции, которая позволит узнать много нового об истинной природе разума и приведет к вовлечению все большего числа людей в решение задач, кажущихся сегодня нерешаемыми.

Двойная игра логики

Нелегко признать, что значительная часть живых существ на нашей планете принимает решения, выполняет задачи и приспосабливается к новым условиям путем постоянной мутации, не имея мозга вообще. Растения делают это, прибегая к механизмам децентрализованного интеллекта настолько ловко, что этого даже не замечает большая часть животных (если не все), включая человека. То, что у них нет мозга, никак не сказывается на их способностях.

Это может показаться диким, однако большинство решений, которые мы принимаем, являются плодом ни рассуждений, ни логики, как нам хотелось бы думать, а механизмов, описанных выше в этой главе. Мы называем их инстинктами и, несмотря на то, что именно они лежат в основе нашего выбора, мы предпочитаем от них отмахиваться, поскольку не хотим признаться, что именно они определяют наши действия. Нам нравится воображать себя рациональными существами, руководствующимися разумом, подчиняющимся прозрачным законам чистой логики. Но все экспериментальные данные говорят обратное. Сколько раз в ожесточенных дискуссиях с друзьями и коллегами об интеллекте растений я сталкивался с непониманием: «Эти реакции, которые приводят тебя в такой восторг, они же на самом деле – результат инстинкта, а не рационального мышления, логики. Только логика – признак настоящего интеллекта». Нам нравится верить, что прежде чем принять то или иное решение, мы анализируем факты с помощью логики, что мы внимательны, рассудительны и склонны к анализу, что мы относимся к проблемам взвешенно. Однако на самом деле это вовсе не так. Большая часть наших поступков совершается бессознательно, являясь результатом процессов, весьма далеких от рациональности. Чтобы доказать это, я совершу прыжок в прошлое и предложу вам ответить на вопросы тестов от двух великих англичан XVIII и XIX веков.

Первый тест. В 1779 году Джонатан Уильямс написал письмо своему дяде Бенджамину Франклину (1706–1790) с просьбой дать совет, как вести себя в одной щекотливой ситуации. Ответное письмо Франклина обычно приводят в качестве примера рационального мышления. Вот это письмо, его основные мысли:

«Пасси, 8 апреля 1779 года

Дорогой Джонатан!

Перегруженность работой, долг перед друзьями, да и последствия небольшого недомогания привели к тому, что отвечаю с опозданием на твои последние письма [...]. Я не знаю, что посоветовать тебе в отношении предложения господина Монтье. Следуй своим собственным суждениям.

Если тебя гложут сомнения, набросай на листке бумаги все аргументы за и все аргументы против в разных колонках, и после двух-трех дней раздумий попробуй сделать так, как поступил бы с какой-нибудь алгебраической задачей; посмотри, какие аргументы или доказательства в столбцах имеют одинаковый вес, какие идут за два, какие два за три и т. д. И когда устранишь все равновесные аргументы, посмотри, какой из столбцов будет длиннее. [...] Я зачастую использовал эту моральную алгебру в важных или сомнительных ситуациях, и хотя ее нельзя считать математически строгой, мне она помогала. И кстати, если не овладеешь этим методом, уверен – никогда не женишься.

Остаюсь всегда твоим любящим дядюшкой

Бенджамин Франклин».

Одним из самых знаменитых применений этой моральной алгебры, или двойной игры разума, могут служить записные книжки Чарлза Дарвина. Я не знаю, знал ли он о выводах

Франклина. Несомненно, Дарвин знал о значительной роли, которую Франклин сыграл в развитии науки и техники, однако мне кажется маловероятным, что он читал частные письма предшественника. Тем не менее совпадения поразительны: проблема, которая мучила Дарвина полвека спустя, точно та же – жениться или нет. Последние слова в письме Франклина кажутся адресованными именно ему. В любом случае знал он о «методе Франклина», или не знал, но 7 апреля 1838 года Дарвин, которому тогда был 21 год, разделил листок бумаги на две колонки и озаглавил их «Жениться» и «Не жениться». В каждой из колонок он написал аргументы за и против женитьбы. Вот:

Жениться	Не жениться
Дети (если будет на то Божья воля).	Свобода бывать где захочется.
Верная спутница (подруга в старости), которой я нравлюсь.	Беседы с умными людьми в клубе.
Предмет любви и вдохновения.	Не надо совершать визиты к родителям и беседовать о глупостях.
Лучше, чем собака.	Не иметь денежных забот и беспокойств о детях.
Свой дом и кто-то, кто о нем печется.	

Жениться	Не жениться
Музыка и женская болтовня. Эти вещи хороши для здоровья, но забирают ужасно много времени.	Ссоры – возможно, с потерей времени.
О Боже, это же невыносимо – думать, что надо всю жизнь только трудиться, как рабочая пчела, работать, работать – а в конце пустота. Нет, нет, так нельзя. Только представь – всю жизнь прожить одиноким, в грязной дымной лондонской квартире.	Не смогу читать по вечерам.
Лучше думай о нежной, милой жене, диване, красивом камине, книгах, может быть и о музыке.	Стану жирным бездельником.
И сравни это чудное видение с грязной обыденностью Мальборо стрит.	Беспокойство и ответственность.
Жениться, жениться, жениться.	Меньше денег для покупки книг.
	Если будет много детей, придется зарабатывать на хлеб (верно и то, что слишком много работать – тоже вредно для здоровья).
	Возможно, что жене Лондон не нравится, и придется переезжать: а в изгнании я деградирую и превращусь в вялого и ленивого идиота.

Думаете, что описание проблемы в деталях и с разных точек зрения, ранжирование пунктов по степени важности в разных колонках на листочке и выделение «лишнего» помогло Дарвину сделать правильный выбор? И каким он был, как вы думаете? Справа пункты многочисленнее и, кажется, весомее. Однако, как и миллиарды людей до него, несмотря на сомнения и «алгебраические упражнения», менее чем через полгода после мучительного составления

списков за и против, Чарлз Дарвин радостно женился на очаровательной, образованной и богатой кузине Эмме Веджвуд. Результат: десять детей и всего один брак, к тому же очень счастливый, по свидетельствам современников.

Хотя любой из нас считает, что совершить разумный выбор можно только рационально, – подсчитав все плюсы и минусы после тщательной оценки имеющейся информации, и это самый надежный и лучший способ достичь поставленной цели. На самом деле, значительная часть наших решений определяется совсем другими факторами, отнюдь не случайными, но их рациональность совершенно иная, чем мы представляем себе, идеализируя логическое мышление. Наш выбор столь же рационален, как и действия растений, это рациональность одного порядка, продукт эволюционного развития, и не имеет отношения к коре головного мозга, которой мы так гордимся.

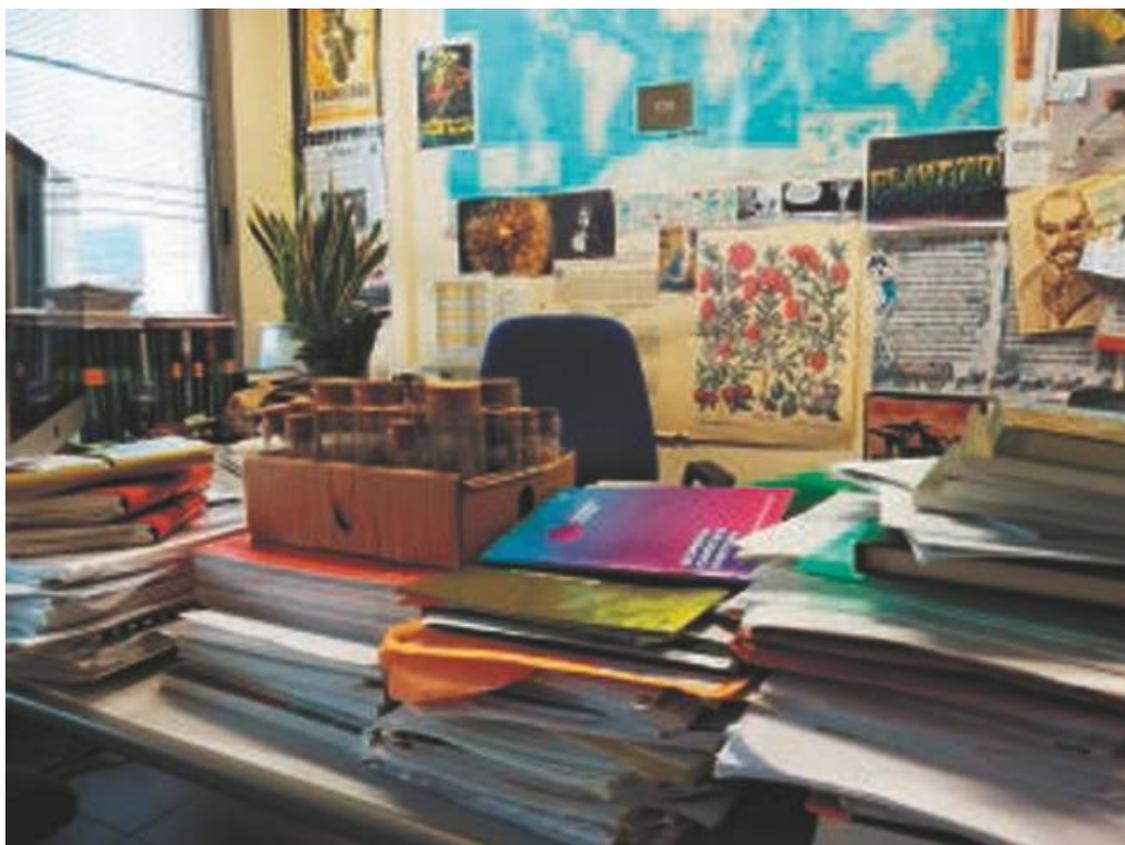
Порядок и хаос

Бенджамин Франклин был не единственным, кто идеализировал «моральную алгебру», при этом он вошел в историю как образец эклектичного, но гениального разума. Будучи одним из отцов – основателей Соединенных Штатов, он стал создателем первой американской публичной библиотеки, первого колледжа и первой пожарной команды. Ему американцы обязаны открытием типографии и посольства во Франции. Франклин был политиком, ученым, первым директором государственной почтовой службы, губернатором Пенсильвании. Он изобрел громоотвод, бифокальные линзы и специальную печь, которая не дымила.

Франклин был уникальной личностью, наделенной огромным талантом и творческим даром, но при этом обладал недостатком, который ему так и не удалось преодолеть – абсолютной неспособностью к порядку. Все, кто посещал его кабинет, отмечали невообразимый хаос, который там царил: документы валялись повсюду – на столах, на книжных полках, даже на полу. Франклина это ужасно удручало. Он любил повторять: «Каждая вещь должна быть на своем месте, и каждое дело должно быть сделано вовремя», но свою неспособность применить любимый девиз к самому себе воспринимал как нравственный порок. Всю жизнь он пытался избавиться от слабости, однако безрезультатно. В конце концов он написал: «Самые большие проблемы у меня с порядком. Этот недостаток мне очень мешал». При этом, если посмотреть, сколько всего он сумел сделать в самых разных областях, каких поразительных результатов достиг, можно подумать, что отсутствие порядка и хаос в работе совершенно не повлияли на удивительную продуктивность его гения.

Имея такие примеры перед глазами, легко подумать, что склонность к порядку – не всегда добродетель. Конечно, она необходима библиотекаряю или архивисту, или тому, кто обязан сортировать данные в зависимости от их актуальности. Для таких профессий порядок – необходимая составляющая должностных обязанностей. Однако если вы не относитесь к одной из этих профессиональных категорий, требующих склонности к упорядочиванию по определению, правильно ли считать склонность к беспорядку чем-то неприличным, каким-то ужасным недостатком? Соблюдать порядок в некоторых ситуациях – значит соответствовать иерархическим представлениям о разумном, в точности, как говорил Франклин: «каждая вещь на своем месте». Проблема заключается главным образом в том, как найти для вещей их правильные места.

Представим себе все те документы, что заполняют наши рабочие столы – какая система подходит для их каталогизации? Насколько широкими должны быть категории? Позволю привести в пример самого себя. Я преподаю в университете Флоренции и принадлежу таким образом к классу людей, которые подвергаются бюрократическим измывательствам. В результате на моем столе каждый день скапливаются самые заумные требования от чиновников, которые обладают правом требовать. Каждый из иерархических уровней (именно поэтому мне так нравятся растения, у которых иерархии просто нет) огромной пирамиды итальянской бюрократии наделен правом (используемым с явным удовольствием) требовать от меня планов, отчетов, подтверждений, отношений, форм, смет, сравнений, обоснований, возвратов, отзывов, журналов, котировок – всего, что появляется у них в голове с пугающей частотой.



Письменный стол в моем кабинете – типичный пример самоорганизации, без применения какой-нибудь особой системы сортировки, но гарантирующий при этом обнаружение наиболее важных документов в чрезвычайной ситуации.

В самом начале моей карьеры, когда я был молодым профессором, я был уверен, как Франклин, что аккуратный письменный стол – признак высокой эффективности. Я накопил огромное количество папок и попытался разобрать все требования нашей ненасытной бюрократии по категориям. Вскорости мой кабинет стал складом папок, которые занимали чудовищно много места. Мне понадобилось не так уж много времени, чтобы осознать, что, если бы я продолжил рассортировывать все эти бесконечные виды запросов от представителей крайне плодovитой итальянской бюрократии по разным категориям, я бы вскоре столкнулся с необходимостью снимать отдельный склад для всех этих папок. Тогда я стал классифицировать бумаги по аналогии, стараясь не заводить больше восьми папок.

Поначалу этот критерий казался вполне функциональным: количество папок заметно сократилось, высвободив мое время, и я больше не боялся быть вытесненным из кабинета. Но и этот эксперимент не затянулся. Однажды, когда мне нужно было что-то архивировать, установленные категории не смогли мне помочь: я не знал, куда положить запрос про Пекин – в категорию «Восток» или в категорию «Оплата»? Или, может быть, поскольку я читал в Пекине лекции в течение недели, в «Преподавание»? Метод перестал действовать.

Еще одно творческое усилие дало мне возможность сформулировать метакатегории, которые, как мне казалось, должны были помочь. В течение примерно года я был зациклен на придумывании все более причудливых классификаций. Тем не менее я все еще верил, что смогу проложить мостики разума через безумные потоки бюрократии. Глупец! Но тут в дело вмешался воистину счастливый случай, и мне на глаза попался самый утонченный и строгий каталог, который когда-либо был рожден человеческим разумом – невероятная китайская энциклопедия «Небесный эмпориум благодетельных знаний», описанная Хорхе Луисом Борхе-

сом в рассказе «Аналитический язык Джона Уилкинса». Животные в этой энциклопедии подразделяются на: «а) принадлежащих Императору, б) набальзамированных, в) прирученных, г) молочных поросят, д) сирен, е) сказочных, ж) бродячих собак, з) включенных в эту классификацию, и) бегающих как сумасшедшие, к) бесчисленных, л) нарисованных тончайшей кистью из верблюжьей шерсти, м) прочих, н) разбивших цветочную вазу, о) похожих издали на мух».

Образец классификации от самого маэстро Борхеса произвел на меня впечатление удара молнии. Я понял, что, как в апории философа Зенона про Ахиллеса и черепаху, создавать классификации можно до бесконечности. Бюрократия в ответ немедленно изобретет новую форму запроса, не описанную в предыдущей классификации, что-нибудь в стиле Борхесовского «о) похожих издали на мух». И я пришел к выводу, что лучшим решением будет не упорядочивать ничего и предоставить справкам и запросам накапливаться на краю моего – по счастью большого – письменного стола. Я назвал это место в последнем припадке архивной мании «краем разбитых ящиков».

С этого момента, один раз забросив меня на Темную сторону Силы, беспорядок начал мне помогать. Отсутствие необходимости наводить порядок в хаосе освободил мне массу времени. Когда гора бумаг становится столь гигантской, что я перестаю видеть коллег по другую сторону стола, я выделяю пару часов на Большую Уборку. Я просматриваю документы, большая часть которых исчезает в корзине для бумаг. В конце концов остаются только по-настоящему важные, а все остальное оказывается лишним, без чего можно спокойно обойтись. Единственным фактором риска в этой ситуации стало время накопления горы. Если между двумя Большими Уборками мне не понадобился ни один документ, то все они утонут в бумажной массе, утратив свое значение. Если же мне вдруг, наоборот, потребуется какое-нибудь письмо, оно обнаружится под столом тем ближе, чем меньше времени прошло с того момента, когда я его последний раз смотрел. Самые важные – те, в которые я заглядываю чаще всего – я держу на плаву на вершине бумажной пирамиды. Остальные неумолимо погружаются все глубже в пропасть ненужности и исчезают там навсегда.

С момента, когда я взял себе это за правило, я ни разу не пропустил ничего из действительно важного. Сверх того, у меня всегда под рукой то, что мне по-настоящему необходимо. Без всяких классификаций!

Недавно я открыл, что эта же стратегия используется в информатике для управления «кэшем» – областью самой короткой и наименее емкой памяти, созданной с целью ускорения программ. Алгоритмы, которые ею управляют, должны решать те же задачи, что и моя Большая Уборка письменного стола. Когда «кэш» переполнен, алгоритм должен выбрать данные, которые надо уничтожить, чтобы освободить место для новых. Недостижимый теоретический Святой Грааль алгоритмов кэша, именуемый оптимальным алгоритмом Белейди – это алгоритм, способный удалять информацию, которая не понадобится в будущем в течение достаточно длительного времени. Но предсказать, какая информация и когда именно может тебе понадобиться – невозможно, поэтому применяется альтернативная стратегия. Программа Lru (Last recently used) в первую очередь удаляет из кэша те данные, которые давно не использовались. В точности, как я во время моей Большой Уборки.

Таким образом, ассоциировать склонность к порядку с человеческими добродетелями – естественно. Даже самые ужасные неряхи в глубине души думают так же, как Франклин: больше порядка – больше продуктивность и выше эффективность. На самом же деле, наводить порядок – значит внедрять организацию процесса, создавать структуры и ячейки, и хранить в них то, что не имеет никакого практического применения. Вдобавок, создавать иерархию, классы, группы и подгруппы, воспроизводя в очередной раз – хоть в физическом, хоть в духовном смысле – организацию собственного тела, то есть тела животного.

Растения и кооперативы

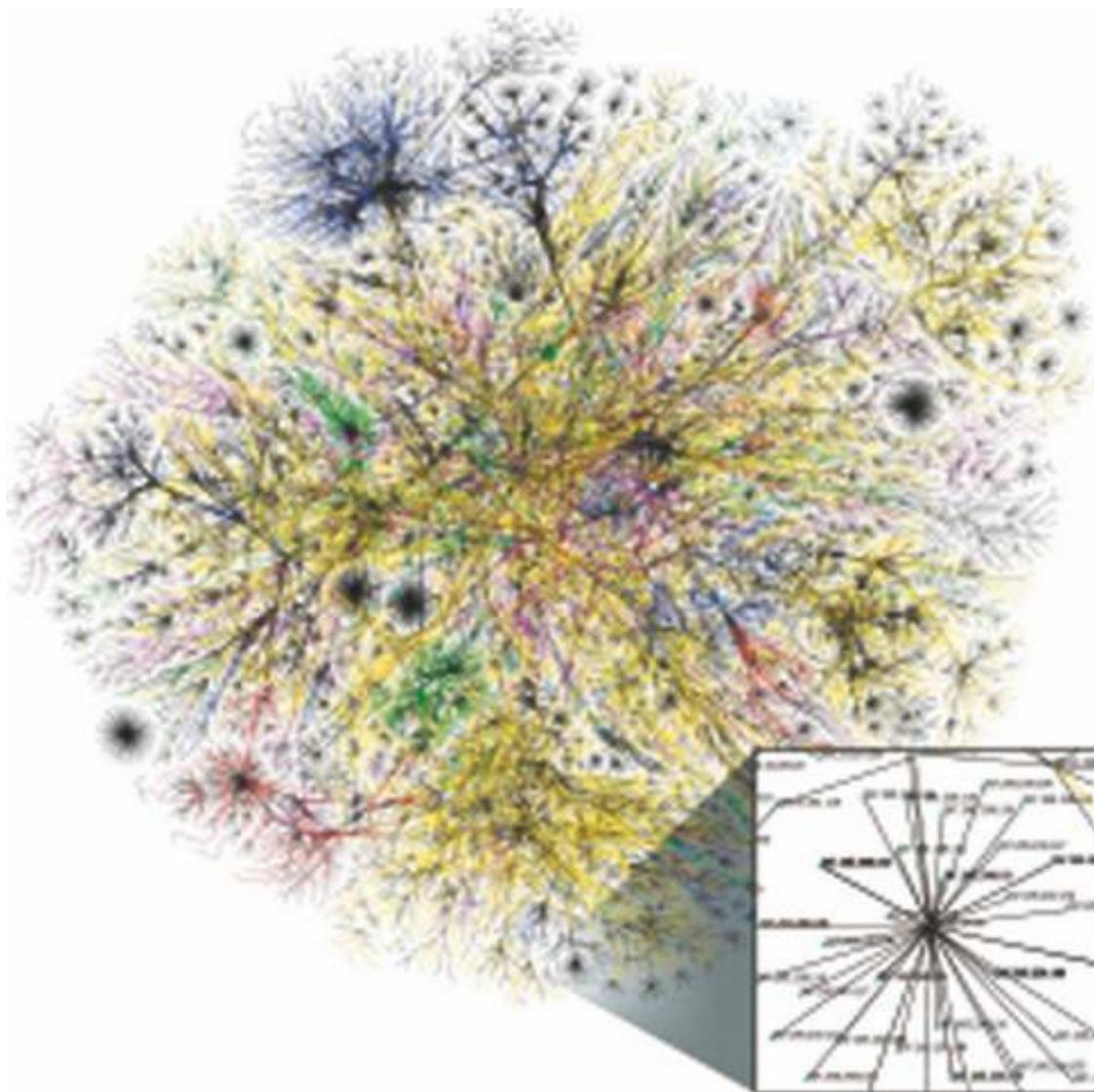
Государства, архивы, политические модели, управление бизнесом, инструменты, логические конструкции – человек стремится все построить по своему образу и подобию. Или, точнее говоря, построить все на представлении о себе, как о существе, составленном из частей (хотя наш собственный мозг, если приглядеться, работает вовсе не в иерархической манере, а скорее в децентрализованной). Но тем самым теряется возможность использовать огромный инновационный потенциал, который мы могли бы развить путем создания самоуправляемых, децентрализованных структур – таких, какие мы видим в мире растений.

Любое бюрократическое общество неотделимо от иерархии и стремится к максимальному расширению. Поверьте, это дурной знак. Я вижу, как моя страна, чье название было когда-то синонимом вдохновения и фантазии, увязает в болоте иерархии и бюрократии, вплоть до блокировки любой возможности изменений и инноваций. Общество постепенно разрушается под грузом собственной – слишком жесткой – организации, который мешает развитию гибкости, необходимой в условиях постоянно меняющегося окружения.

Итак, животное только на первый взгляд кажется более стабильной и эффективной структурой. На самом деле это гипсовая скульптура. Любые организации, в которых иерархические отношения позволяют одной особи решать за всех, обречены на провал в мире, который базируется прежде всего на инновациях и креативных решениях. Будущее – за растительной моделью существования. Общества, которые в прошлом развивались благодаря жесткой иерархической структуре, строгому разграничению функционалов и работ, должны в будущем уподобиться растениям – сохранить прикрепленность к определенной территории, но в то же время децентрализоваться, сочетая принятие решений и функции управления точно так, как делают это различные клетки нашего организма. Пирамидальная структура должна быть превращена в горизонтальную сеть.

Революция уже идет, пусть мы ее и не замечаем. Благодаря появлению Интернета, децентрализованные, лишенные иерархических структур организации, похожие на растения, множатся, они проще достигают внутреннего согласия и получают оптимальные результаты. Википедия – удачный пример того, как организация может быть построена по принципу растения: благодаря вкладу многих миллионов сотрудников у ее создателей получилось без издательства, без единого финансового центра и прочих структур создать удивительную, огромную энциклопедию, которую очень просто распространять и которая хранит при этом точные сведения. Эта энциклопедия, только ее англоязычная версия, к концу 2016 года включала 5 315 802 статьи – в напечатанном виде она выглядела бы как 2000 томов Британской энциклопедии. А если включить сюда материалы и на других языках, получим более 38 миллионов статей, которые эквивалентны 15 тысячам томов. Огромная работа, проделанная вопреки всем общепринятым правилам.

Как же это возможно: без всякого начальственного и административного контроля из «центра» добиться успеха? Как можно разделить плоды своего труда со всеми без контрактов и вознаграждений? Как могут волонтеры без всякой квалификации создать нечто такого высокого качества, что он сможет конкурировать с профессиональными продуктами? Википедия показывает, что могут сделать сообщества, созданные по растительному принципу, в самом начале их развития. В будущем, которое мы воображаем, таких сообществ будет гораздо больше, и аналогичных достижений – тоже. Модели вертикального контроля за процессами принятия решений, по которым сейчас работает большинство, даже предприниматели и управляющие собственностью, станут менее централизованными.



Топография сети Интернет, напоминающая корневую систему – она выполняет те же функции: децентрализованная система без единого командного центра.

В обычной жизни, по крайней мере в Европе, сообщества, организованные по принципу растений, децентрализованные и укорененные на определенной территории, существуют давно – это кооперативные предприятия. Они не имеют иерархической структуры и опираются на социальную группу. Имущество принадлежит отдельным членам, каждый из которых имеет право на голосование, независимо от любых других соображений, любой может стать новым партнером и т. д. Благодаря своей особой структуре, кооперативы ведут себя гораздо устойчивее во времена внутренних и внешних кризисов, и их крах наступает обычно после отказа от растительной структуры и превращения в иерархические сообщества по принципу строения животных – они теряют гибкость и перестают понимать законы территории, на которой находятся.

Сегодня пример кооператива стал очень важным, ввиду перехода к новому типу экономики. Ему противостоит идея гигантов веб-индустрии аккумулировать огромные прибыли в одних руках, что грозило бы катастрофой. Таким образом, помимо децентрализации по принципу растений, которая позволит повысить творческий потенциал организаций, следовало бы и собственности сделать децентрализованной. Традиции кооперативов, развиваясь в этом направлении, объединяясь с возможностями компьютерной сети, могут стать альтерна-

тивной моделью будущего. Как и в случае с Википедией, трудно вообразить, каких результатов удалось бы достичь, соединяя потенциал сети и коллективный интеллект.

Античная Греция и Италия времен Возрождения показали самые яркие примеры творческого взлета в истории западного мира. В Греции города-государства, географически разделенные между собой пространством, но объединенные формой правления, которая позволяла любому гражданину влиять на процесс принятия решений, дали толчок периоду невероятных творческих достижений во всех областях человеческого знания. То же самое происходило и в городах-государствах Италии времен эпохи Возрождения, с их отдельными правительствами, герцогами и синьориями. В начале XVI века на флорентийской дороге могли повстречаться одновременно Леонардо, Микеланджело и Рафаэль...

В 2050 году нас на Земле будет 10 миллиардов – на 3,5 миллиарда больше, чем сегодня. Многие ученые встревожены таким приростом населения, поскольку у нас может не хватить ресурсов. Я не принадлежу к этой группе алармистов. 3,5 миллиарда голов, способных думать, при условии, что им дадут свободу творчества и самовыражения – это не проблема, это ресурс. 3,5 миллиарда человек способны решить любую проблему, если им позволить думать и создавать новое. Это может показаться парадоксом, но в самом ближайшем будущем нам придется учиться у неподвижных растений, чтобы начать двигаться по-новому.

Библиография

J. Almenberg, T. Pfeiffer, *Prediction markets and their potential role in biomedical research. A review*, «Biosystems», 102 (2–3), 2010, сmp. 71–76.

K.J. Arrow et al., *Economics. The promise of prediction markets*, «Science», 320 (5878), 2008, сmp. 877–878.

F. Baluška, S. Lev-Yadun, S. Mancuso, *Swarm intelligence in plant roots*, «Trends in ecology and evolution», 25 (12), 2010, сmp. 682–683.

E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, *Swarm intelligence. From natural to artificial systems*, Oxford University Press, Oxford 1999.

J.L. Borges, *El idioma analítico de John Wilkins*, in *Otras inquisiciones (1937–1952)*, Sur, Buenos Aires 1952 (trad. it. *L'idioma analitico di John Wilkins*, in *Altre inquisizioni*, Adelphi, Milano 2000).

R.J.G. Clément et al., *Collective cognition in humans. Groups outperform their best members in a sentence reconstruction task*, «Plos ONE», 8 (10), 2013.

L. Conradt, T.J. Roper, *Group decision-making in animals*, «Nature», 421, 2003, сmp. 155–158.

I.D. Couzin, *Collective cognition in animal groups*, «Trends in cognitive sciences», 13 (1), 2009, сmp. 36–43.

C. Darwin, *The correspondence of Charles Darwin. Vol. 2: 1837–1843*, a cura di F. Burkhardt, S. Smith, Cambridge University Press, Cambridge 1987.

N. Epley, N. Klein, *Group discussion improves lie detection*, «Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America», 112 (24), 2015, сmp. 7460–7465.

B. Franklin, *From Benjamin Franklin to Jonathan Williams, Jr., 8 April 1779*, in *The papers of Benjamin Franklin. Vol. 29: march 1 through june 30, 1779*, a cura di B.B. Oberg, Yale University Press, New Haven-Londra 1992, сmp. 283–284.

D.A. Garvin, K.R. Lakhani, E. Lonstein, *TopCoder (A). Developing software through crowdsourcing*, «Harvard Business School case collection», выпуск № 610–032, 2010.

G. Gigerenzer, *Gut feelings. The intelligence of the unconscious*, Viking Books, New York 2007 (trad. it. *Decisioni intuitive. Quando si sceglie senza pensarci troppo*, Raffaello Cortina, Milano 2009).

F. Hallé, *Éloge de la plante. Pour une nouvelle biologie*, Seuil, Parigi 1999. N.L. Kerr, R.S. Tindale, *Group performance and decision making*, «*Annual review of psychology*», 55, 2004, *cmp.* 623–655.

J. Krause, S. Krause, G.D. Ruxton, *Swarm intelligence in animals and humans*, «*Trends in ecology and evolution*», 25 (1), 2010, *cmp.* 28–34.

S. Mancuso et al., *Swarming behavior in plant roots*, «*Plos ONE*», 7 (1), 2012.

B. Mellers et al., *Psychological strategies for winning a geopolitical forecasting tournament*, «*Psychological science*», 25 (5), 2014, *cmp.* 1106–1115.

Plant roots. The hidden half, a cura di T. Beeckman, A. Eshel, 2013, CRC Press, Boca Raton 2013.

Platone, *Protagora*, a cura di M.L. Chiesara, BUR Rizzoli, Milano 2010, *cmp.* 123.

J. Surowiecki, *The wisdom of crowds. Why the many are smarter than the few and how collective wisdom shapes business, economies, societies and nations*, Doubleday, New York 2004 (trad. it. *La saggezza della folla*, Fusi orari, Roma 2007).

M. Wolf et al., *Accurate decisions in an uncertain world. Collective cognition increases true positives while decreasing false positives*, «*Proceedings of the Royal Society of London B*», 280 (1756), 2013.

Collective intelligence meets medical decision-making. The collective outperforms the best radiologist, «*Plos ONE*», 10 (8), 2015.

Detection accuracy of collective intelligence assessments for skin cancer diagnosis, «*Jama dermatology*», 151 (12), 2015, *pp.* 1346–1353.

Boosting medical diagnostics by pooling independent judgments, «*Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America*», 113 (31), 2016, *cmp.* 8777–8782.

A.W. Woolley et al., *Evidence for a collective intelligence factor in the performance of human groups*, «*Science*», 330 (6004), 2010, *cmp.* 686–688.

VII Растения-архитекторы

Архитектура – не что иное, как порядок, расположение, гармония и пропорциональность частей относительно друг друга, удобство и соразмерность.

Микеланджело Буонарроти

Материалы градостроительства: небо, космос, деревья, сталь и цемент. Причем именно в таком порядке и иерархии.

Ле Корбюзье

Врач всегда может похоронить свои ошибки, архитектуру же остается только посоветовать своим клиентам посадить американский виноград.

Фрэнк Ллойд Райт



Прожилки, более похожие на ребра – лист растения Виктория амазонская (Victoria amazonica). Благодаря такому строению он способен выдержать огромные нагрузки.

Здания как ветви

Среди бесчисленных талантов Леонардо да Винчи был один, наименее известный – его поразительная способность к наблюдениям за растениями. Именно он сделал ряд фундаментальных открытий в области природы растений. Например, объяснил, как и из чего формируются годовые кольца циклического прироста ствола, и каким образом по их количеству, толщине и положению можно узнать возраст дерева и изменения климата в той местности, где оно росло. Его гениальная интуиция подсказала, как рост переходит в утолщение ствола, путем наслаивания специфической ткани, позднее получившей название камбий. «Увеличение толщины растения происходит за счет сока, который образуется в апреле между внутренней частью коры и древесиной дерева, и одновременно внутренняя кора превращается в наружную».

Однако нас интересует другое открытие, касательно принципа, по которому листья распределяются на ветке – так называемого филлотаксиса (от греческих слов *phyllon* – лист и *taxis* — порядок, расположение). Леонардо чрезвычайно подробно описал его за 100 лет до Шарля Бонне (1720–1793), ботаника, который считается первооткрывателем этого принципа. В чем же конкретно заключается филлотаксис? Если внимательно посмотреть на последовательность листьев на ветвях разных растений, то можно заметить, что у каждого растения есть свое особое правило: некоторые листья располагаются по спирали с большим или меньшим шагом, другие – перпендикулярно веткам... Таким образом любой вид характеризуется собственным алгоритмом размещения листьев на ветвях. На первый взгляд, в этом открытии нет ничего особенно интересного, или имеющего практическое значение – ни для таксономической классификации растений, ни тем более для строительства зданий. Однако все обстоит ровно наоборот.



Филлотаксис описывает расположение листьев на ветке. Каждое растение имеет собственную формулу филлотаксиса.

Леонардо – совсем не рядовой ученый, он не стал бы описывать то или иное явление, не стремясь понять его причины и не желая использовать его для практических целей. Поэтому он дал филлотаксису вполне функциональное объяснение: листья располагаются на ветке таким образом, чтобы гарантировать наилучшее освещение так, чтобы тень от одного листа не падала на другой. Это распределение, – продукт сотен миллионов лет эволюции, – может быть скопировано и применено на практике. Именно это сделал архитектор Салех Масуми в своем потрясающем проекте филлотаксического здания. Вдохновившись принципом, согласно которому листья располагаются на ветках, Масуми разработал проект жилого небоскреба с уникальными особенностями.

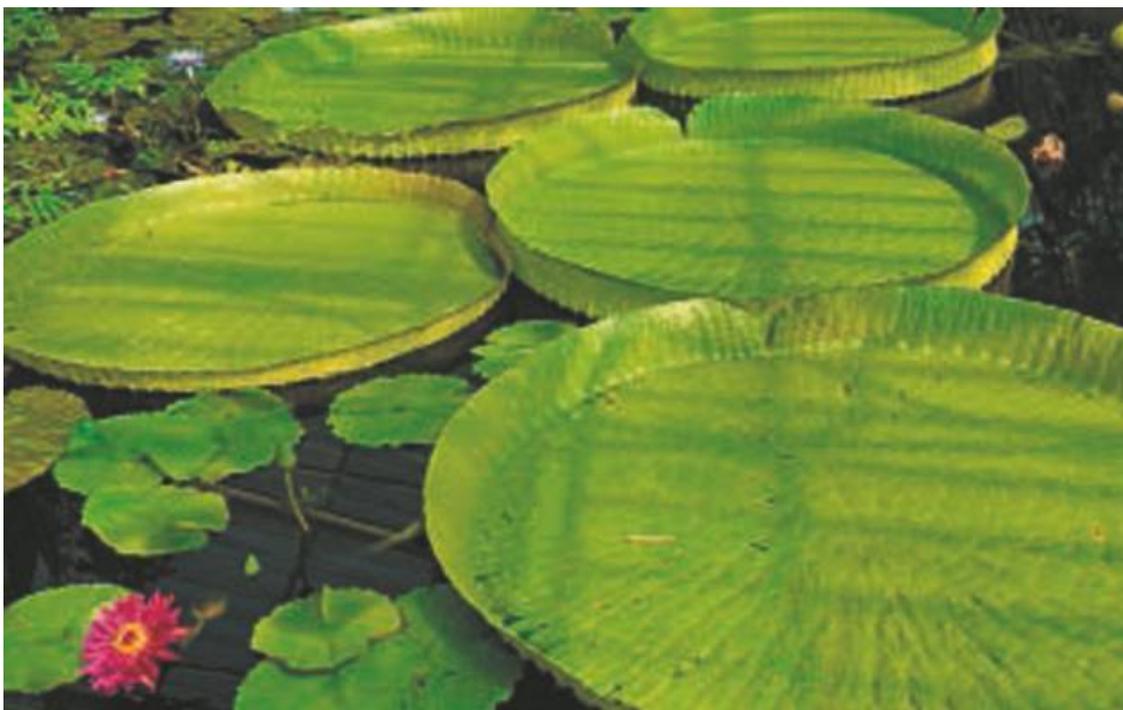
Одна из важнейших проблем, с которыми сталкиваются строители жилых зданий – это их расположение в городской среде, где такие же здания не оставляют им просвета и прямого доступа к солнцу. Обычно потолок нижнего этажа служит полом верхнего. В подобных условиях количество поступающего в жилую ячейку света ограничено. В небоскребе Масуми эта проблема решена блестяще. Расположив квартиры в соответствии с принципами филлотаксиса, вокруг центральной оси конструкции, архитектор добился того, что свет поступает в каждую жилую ячейку со всех сторон, как к листочку на ветке. Каждая ячейка имеет доступ к небу, что создает возможности не только для наслаждения солнечным светом, но и для получения дополнительной энергии.

На самом деле, лучшего способа добиться максимальной освещенности для разноуровневых поверхностей, чем принцип филлотаксиса, не существует. Эволюция посредством длительного пути проб и ошибок отбирала только те решения, которые гарантировали оптимальную освещенность отдельного листа. Те же самые принципы, применяемые в строительстве, могли бы гарантировать совершенно невероятные достижения в области энергетики, невообразимые ранее, и произвести революцию в принципах организации зданий. Гений Леонардо, возможно, предвидел эту возможность – что в один прекрасный день, благодаря исследованиям расположения листьев на деревьях, люди смогут построить новые здания. А у нас, таким образом, появился еще один удивительный пример того, как наука, каков бы ни был объект ее интереса – включая и растения! – создает теории, применение которых на практике предсказать совершенно невозможно. И именно в этой непредсказуемости состоит главный секрет ее очарования.

Виктория амазонская: как лист растения спас первую Всемирную выставку

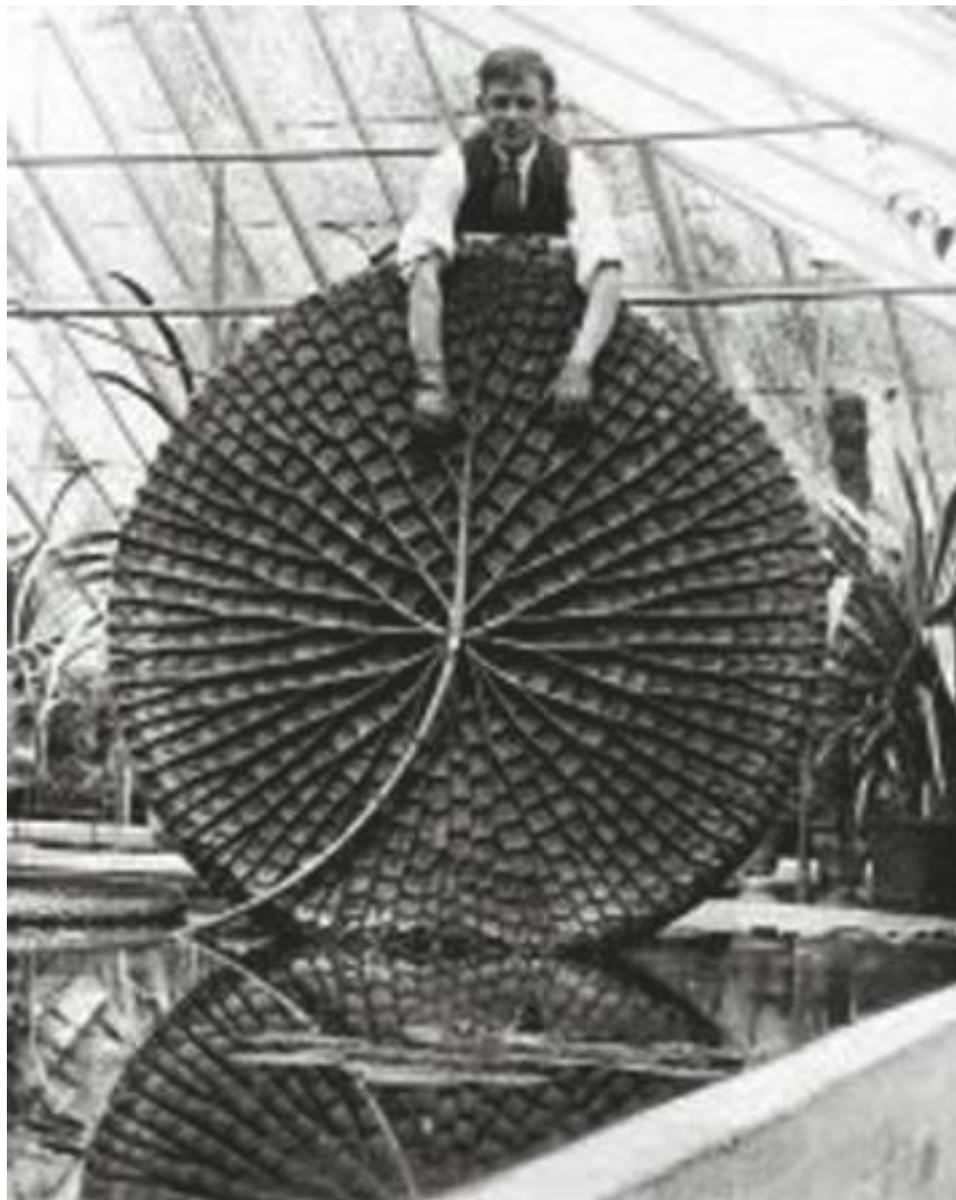
Эпопея Виктории амазонской началась в первой половине XIX века – она стала предметом первых исследований, результаты которых принесли пользу не только ботанике, но и архитектуре. История этого растения весьма драматична, начиная с присвоения ему столь торжественного имени. Его семена и описание прибыли во Францию в 1825 году, их привез французский естествоиспытатель, натуралист и ботаник Эме Бонплан (1773–1858). Француз свое открытие не пропагандировал и имени растению не дал. В 1832 году немецкий исследователь Эдуард Фридрих Пёппиг (1798–1868) обнаружил это растение в Амазонии, опубликовал его первое описание и назвал Эуриалией амазонской. В 1837 году, наконец, Джон Линдли (1799–1865) переименовал растение в честь королевы Виктории, дав старт его славе в ботанике.

Нам это растение интересно не тем, что оно очаровало людей со всего мира своей элегантностью и размерами, а тем, что оно пробудило фантазию архитекторов и инженеров поразительной прочностью своих листьев. Виктория амазонская – звезда любого уважающего себя ботанического сада – быстро стала знаменитостью не только в кругу ученых и любителей ботаники, но и среди широкой публики. Это растение в конце XIX века было чрезвычайно популярным. Его изображения публиковались на тканях, в книгах, на открытках и обоях, восковые изображения его листьев вошли в большую моду.



Листья Виктории амазонской, водного растения из семейства нимфейных (Nymphaeaceae), могут достигать двух метров в диаметре.

Иллюстрации с сидящими на огромных листьях младенцами привлекали внимание любопытных к этому экзотическому водному растению. Само собой, поразительное строение листьев не ускользнуло и от внимания специалистов: как лист растения способен выдерживать груз в 45 кг без повреждений, деформаций и разрывов? И возможно ли воспроизвести эту удивительную структуру?



Фотография Джозефа Пакстона с прекрасным экземпляром листа Виктории амазонской, в теплице Чатсуорт-хауса.

Листья Виктории амазонской похожи на гигантские круглые подносы и могут вырастать до 2,5 метра в диаметре, у них приподнятые бортики, а длинный стебель погружен в глубину. Она растет в спокойных водах, укореняясь в придонном иле. Верхняя сторона листа словно покрыта воском, поэтому капли воды на ней не задерживаются; нижняя его часть, погруженная в воду, пурпурно-красного цвета, снабжена шипами для защиты от рыб и ламантинов, которые питаются водными растениями. Воздух, проникающий снаружи в пространства между прожилками, позволяет листьям плавать по поверхности воды. Каждое растение отращивает от 40 до 50 листьев, закрывающих поверхность водоема и перекрывающих свет большинству других водных растений.



Листья Виктории амазонской обладают столь прочной структурой, что они способны выдерживать груз весом в десятки килограммов.

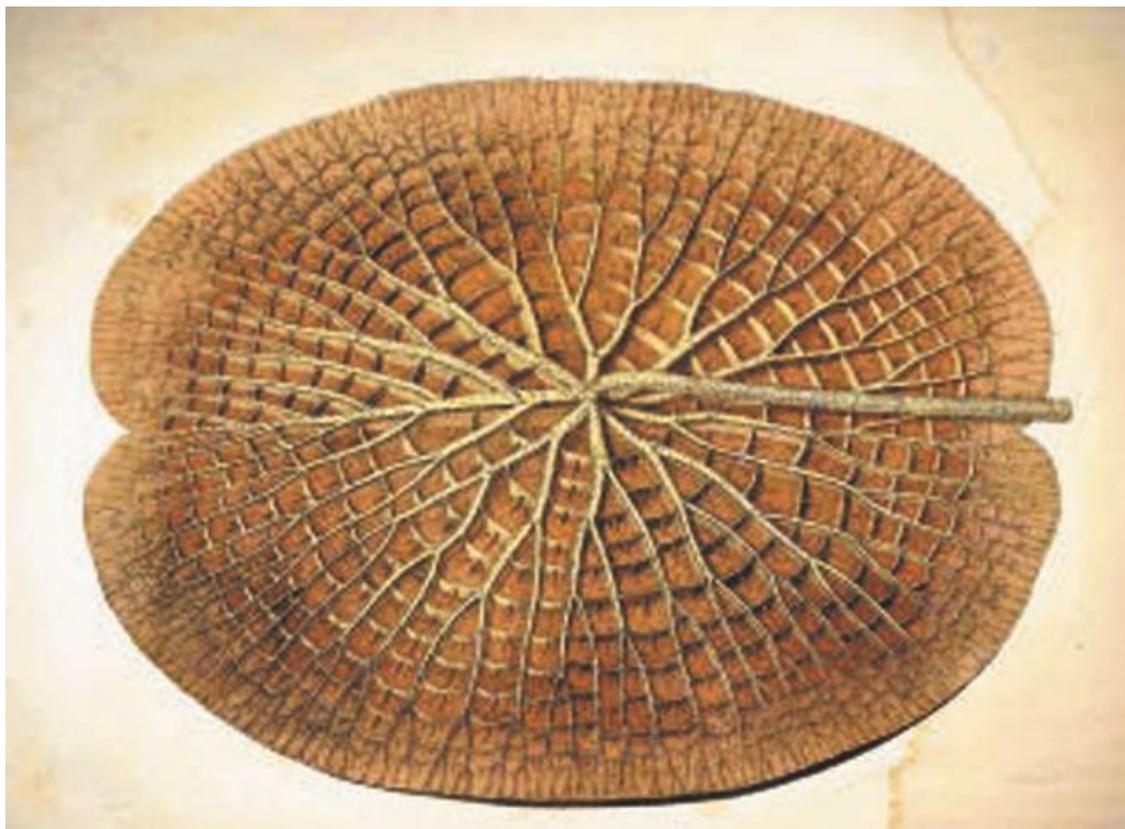
В 1848 году судьба Виктории амазонской пересеклась с судьбой Джозефа Пакстона (1803–1865), главного садовника Уильяма Кавендиша, 6-го герцога Девонширского, владельца Чатсуорт-хауса. Благодаря выдающемуся таланту ухаживать за растениями, Пакстон был приглашен в Чатсуорт еще в молодости, когда ему было всего 23 года, в качестве садовника. Как типичный представитель британской аристократии, Кавендиш испытывал настоящую страсть: он владел одним из лучших частных ботанических садов в мире, с несколькими теплицами и дендрарием. В саду герцога рос даже банан, родоначальник тех деревьев, что сегодня поставляют до 40 % всех бананов, съедаемых в Европе. Речь идет о банановом дереве с Маврикия, которое Джозеф Пакстон, с присущим ему мастерством, умудрился рассадить в Чатсуорте, описать и посвятить новый сорт своему хозяину – банан получил название *Musa cavendishii*.

Другой чертой, присущей национальному характеру жителей Туманного Альбиона, была страсть к соревнованиям – так герцог Кавендиш и герцог Нортумберлендский ввязались в спор, кому первому удастся вырастить Викторию амазонскую и добиться ее цветения. Пакстон стал тем человеком, на которого герцог Девонширский поставил все в стремлении к победе, и его

выбор оказался правильным. В 1848 году его главный садовник получил семена из Королевских ботанических садов Кью, а через несколько месяцев растение расцвело в отапливаемой оранжерее, благодаря заботливому уходу и воссозданию климатических условий его родины. Цветы растения с гигантскими листьями стали одной из излюбленных достопримечательностей Чатсуорт-хауса, и сама королева Виктория – Пакстон весьма предусмотрительно подарил ей один из великолепных экземпляров – посетила оранжерею в сопровождении французского президента Луи-Наполеона (который позднее стал императором Наполеоном III).

Цветок у этого растения тоже особенный, для его опыления используется весьма оригинальный способ. Виктория амазонская цветет недолго, всего два дня, и ее цветы сначала белого цвета. В первый вечер цветения, когда цветы раскрываются, они благоухают ароматом с нотками ананаса, и сладкий запах привлекает жуков – переносчиков пыльцы. Растение, чтобы быть уверенным, что опылители придут в достаточном количестве, поднимает температуру внутри цветка с помощью термохимической реакции. Эта способность достигается за счет процесса эндотермии или термогенеза, которым владеет ограниченное количество растительных видов (только 11 из известных 450 семейств цветущих растений обладают способностью к термогенезу). Все эти растения используют выделение тепла для привлечения опылителей. Приманки для насекомых могут быть разными: некоторые просто согревают опылителя, другие используют тепло для испарения химических веществ, служащих приманкой, третьи имитируют тепло свежего помета млекопитающих, четвертые стимулируют размножение самих мух. В любом случае, если цветок выделяет тепло, он тем самым привлекает опылителей, и Виктория амазонская подтверждает это правило.

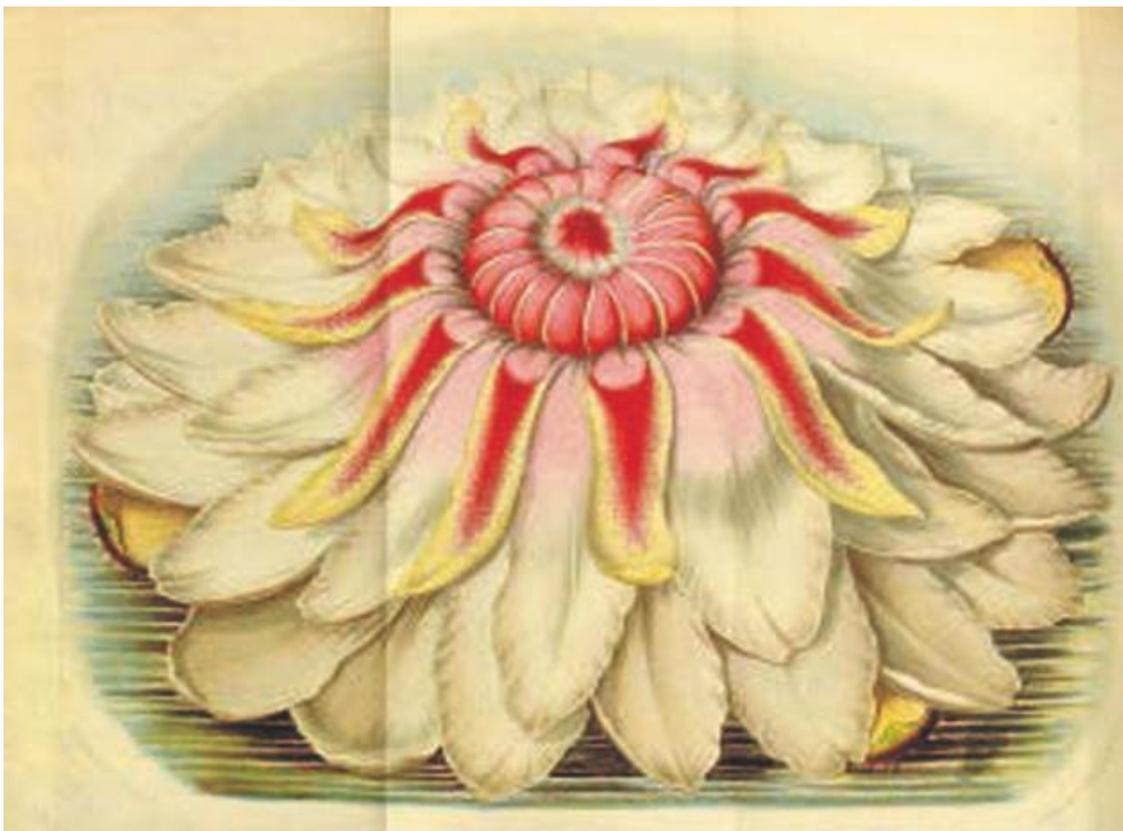
В этой фазе цветения цветок еще исключительно женский и готов принять пыльцу, собранную насекомыми на других растениях. Проникая внутрь цветка, насекомые переносят пыльцу на рыльца пестиков, производя оплодотворение: через короткое время лепестки закрываются, запирая насекомых до следующего вечера. На следующее утро цветок преобразуется в мужской: в нем созревают на тычинках пыльники, в которых содержится пыльца. Вечером цветок опять открывается, сменив цвет: он становится пурпурно-красным, показывая, что оплодотворение произошло. Он больше не пахнет и не выделяет тепло.



Структура обратной стороны листа Виктории амазонской, использованная Джозефом Пакстоном для проекта Хрустального дворца.

Насекомые могут выйти на свободу, они все покрыты пылью, и готовы продолжать процесс на другом растении (на каждом растении цветет только по одному белому цветку в день). После оплодотворения, выпустив на волю оплодотворителей, цветок закрывается и погружается под воду.

Однако в 1848 году детали этого процесса были никому не известны. В те времена всего один цветок, появившийся на виктории, был уже необыкновенным счастьем для садовника. Слава Пакстона вышла за границы сообщества садовников и ботаников-любителей и распространилась среди обычной публики неспециалистов. Это было только начало будущей истории успеха, который Виктория амазонская принесла Джозефу Пакстону.



Цветы Виктории амазонской в первую ночь цветения имеют белый цвет и становятся розовыми в следующую ночь. За их опыление отвечают жесткокрылые.

В 1851 году в Лондоне шла подготовка к первой Всемирной выставке. Это было невероятное событие. Чтобы принять всех гостей подобающим образом, нужно было построить внутри Гайд-парка колоссальный павильон, в который могли бы поместиться делегации со всего света и миллионы посетителей. Это должно было быть сооружение, призванное продемонстрировать все величие Британской империи. Проект Выставки должен был удовлетворять многочисленным требованиям, вдобавок, конструкция не должна была быть постоянной, но при этом должна была быть сооружена за короткое время.



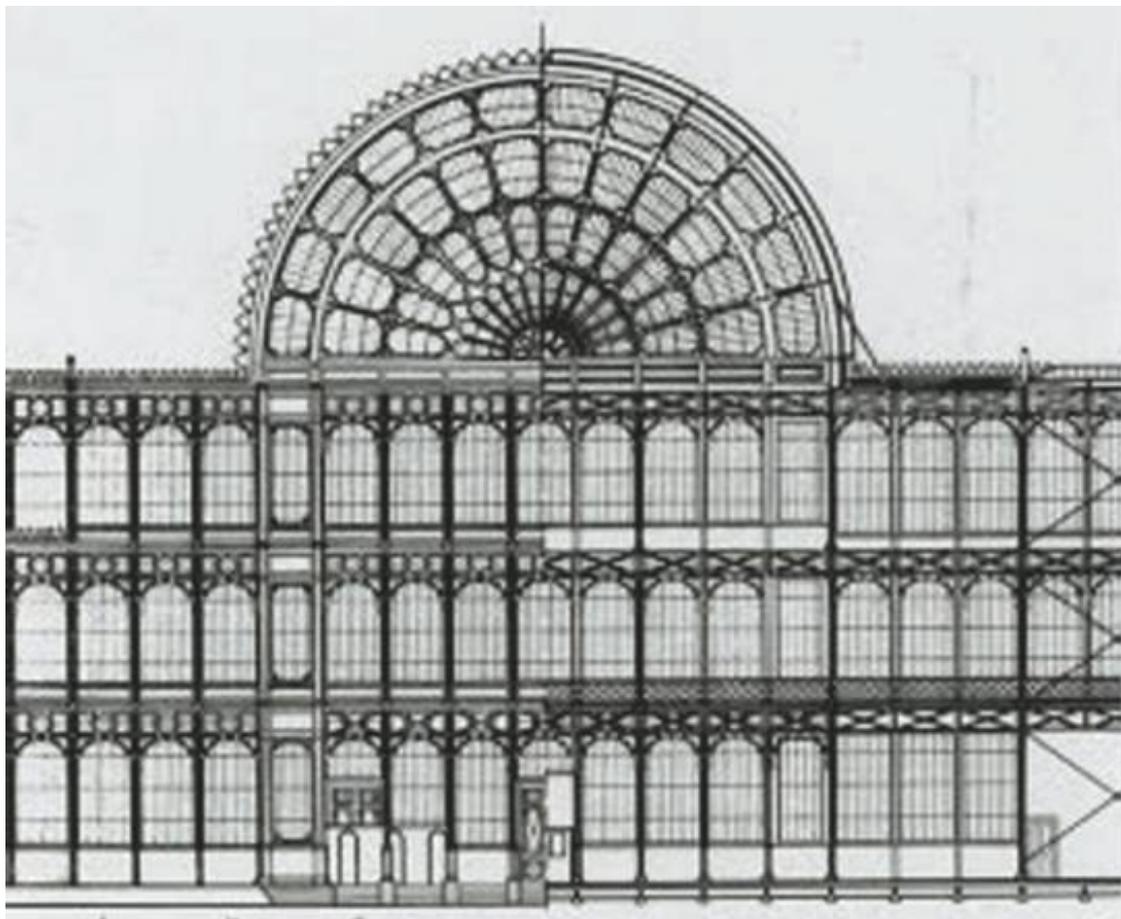
Общий вид Хрустального дворца, построенного в Гайд-парке в 1851 году для первой Всемирной выставки.

Стоимость тоже была важным фактором проекта: в соответствии с принципами умеренности, которые царили в Британской империи, сооружение должно было сочетать функциональность с относительной дешевизной. В конкурсе на лучший проект приняли участие лучшие архитектурные мастерские Европы. Комиссия получила 245 проектов, но после длительного изучения... отвергла все.

Ознакомление с проектами, тем не менее, заняло достаточно много времени, и никто не мог себе представить, что среди такого количества разработок, представленных на конкурс, ни одна не будет признана подходящей. До открытия оставались считанные месяцы, но ни у кого не было никакой идеи, что можно придумать для размещения Выставки. В парламенте, в газетах и обществе говорили только о том, как решить столь серьезную задачу за столь краткое время. Были назначены четыре эксперта, которые должны были спроектировать и построить павильон за короткое время. К сожалению, и эта затея провалилась. Над Великобританией нависла угроза выставить себя в самом невыгодном свете в глазах мировой общественности. Выставке, главной целью которой было показать новейшие технологические прорывы и достижения в области предпринимательства Империи, грозило полное фиаско. В этой атмосфере отчаяния и появился Джозеф Пакстон с революционной идеей построить огромное сооружение из стали и стекла, используя готовые модули. Это было гениальное озарение, вошедшее в историю. Пакстон представил проект павильона огромных размеров: площадью 90 тысяч кв. метров, длиной 564 метра, шириной 124 и высотой 39, достаточно вместительное, чтобы туда влезли четыре собора Святого Петра. Конструкция таких размеров не могла бы быть возведена не из готовых модулей, а в этом как раз и заключалась гениальная идея Пакстона. Британские технологии уже позволяли в этот период организовать производство десятков тысяч необходимых деталей. Базовая ячейка представляла собой квадратную раму со стороной около 7,5 метра; соединяя элементы друг с другом можно было построить практически бесконечную стену. Стены внутренних выставочных помещений были тоже собраны из этих же элементов.

На серийное производство панелей ушло гораздо меньше времени и денег, чем пришлось бы потратить на классическое сооружение из камня. К тому же после окончания выставки сооружение можно было разобрать и использовать панели в других зданиях. На самом деле, Пакстон предложил возвести оранжерею настолько огромную, что деревья Гайд-парка, росшие

на территории, предназначенной для строительства, вполне помещались внутри. Он ведь уже создал несколько подобных сооружений для защиты от холодного климата Англии драгоценных растений из коллекции Кавендиша. Среди его теплиц выделялась одна (Great stove), в которой постоянно топилась огромная печь, обеспечивая тропический климат. Теплица была настолько гигантской, что туда можно было заехать на карете. Так что Пакстон, сооружая павильон для Всемирной выставки, не делал ничего нового.



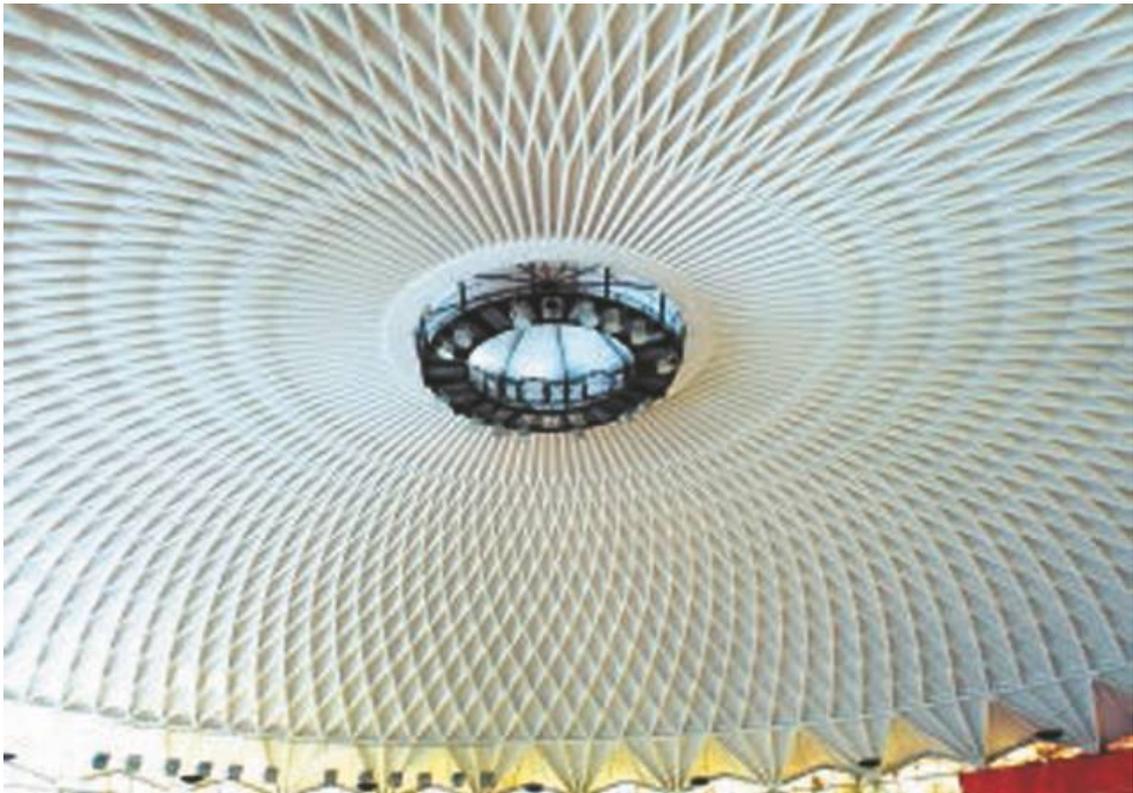
Фронтальный вид Хрустального дворца: Пакстон спроектировал радиальные ребра свода, вдохновившись строением листа Виктории амазонской.



Модульная структура Хрустального дворца, вдохновленная растением, позволила обойтись без традиционных колонн и несущих стен и сделать функциональным все внутреннее пространство.

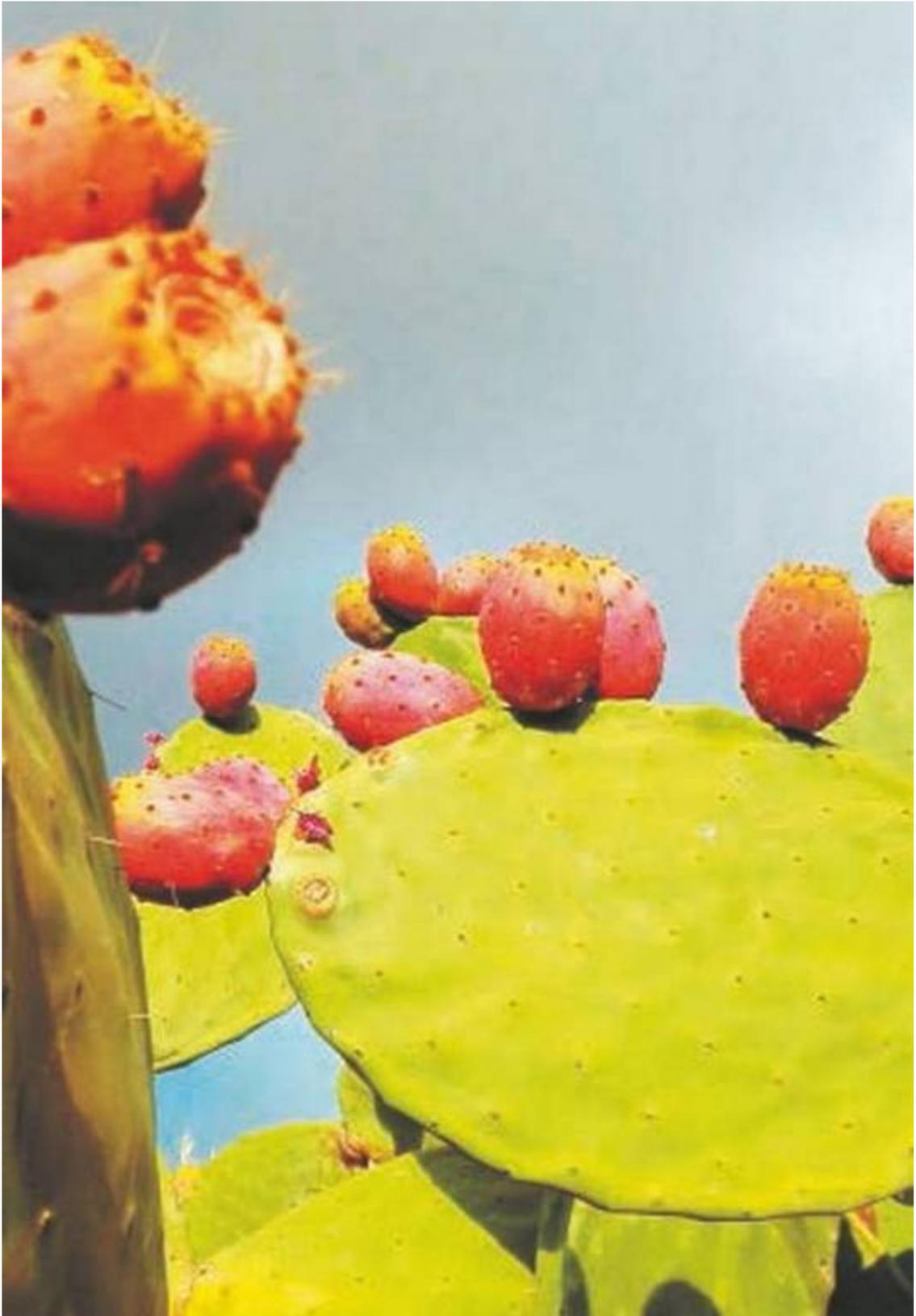
Здание столь большого размера должно было тем не менее соответствовать строгим требованиям – быть построенным в сжатые сроки и за небольшие деньги. И тут у Пакстона появилась вторая гениальная идея: использовать принципы соединения прожилок в листе Виктории амазонской для строительства огромной арки над входом. Воссоздание образа растения (модульная структура огромного сооружения и использование особенностей строения листа Виктории амазонской) стало главным воплощением удивительной страсти этого человека к ботанике.

Почти 2 тысячи рабочих трудились не покладая рук над возведением здания, которое, благодаря меткому выражению знаменитого сатирического журнала «Панч», получило название «Хрустальный дворец». Он был построен всего за 4 месяца – благодаря Пакстону и Виктории амазонской. Лондон был готов встретить первую Всемирную выставку с подобающими имперскому величию пышностью и мощью.



В 1956 году Нерви и Вителоци воспроизвели структуру листьев Виктории амазонской на потолке Дворца спорта в Риме.

Хрустальный дворец впечатлил участников выставки, которые рассматривали его с открытым ртом, и стал символом технологических достижений Британской империи. Событие вошло в историю. Выставку посетили более 5 миллионов человек (четверть населения Британии того времени), среди них были Чарлз Дарвин, Чарльз Диккенс, Шарлотта Бронте, Льюис Кэрролл, Джордж Элиот и Альфред Теннисон.



Опунция индийская (Opuntia ficus-indica) – кактус родом из Мексики, прекрасно прижившийся в Средиземноморском регионе. Его структура приспособлена к тому, чтобы выживать, потребляя крошечные количества пресной воды.

Доход от продажи билетов, за вычетом расходов на строительство, пошел на сооружения музея Виктории и Альберта, Музея науки и Музея естественной истории, а также лег в основу

фонда стипендий на исследования в области промышленности, который работает и сегодня. Пакстон стал героем и получил звание баронета; он не забыл, как ему помогла Виктория амазонская, и ботаника до конца жизни осталась его главным увлечением. Пакстон сделал с их помощью предпринимательскую карьеру, сделавшую его более чем состоятельным.

В последующие годы Виктория амазонская продолжала привлекать внимание архитекторов, многие из которых, впечатлившись удивительной конструкцией Хрустального дворца, отваживались сотворить нечто подобное. В качестве примеров можно привести терминал 5 (Twa flight center) аэропорта JFK в Нью-Йорке, построенный по проекту финского архитектора Ээро Сааринена, удивительный Дворец спорта в Риме, спроектированный инженером Пьетра Луиджи Нерви и архитектором Аннибале Вителоцци в 1956 году. И не похоже, что очарование растения с гигантскими листьями ослабло: несколько лет назад архитектор Венсан Кальбо предложил построить плавучий город, совершенно автономный и способный принять около 50 тысяч человек. Эту идею ему несомненно подсказал лист Виктории амазонской. Таким образом, история любви между этим растением и архитекторами еще далеко не закончена.

Кактус, вода и небоскребы

Опунция индийская (*Opuntia ficus-indica*) произрастает во многих засушливых или полувлажных регионах планеты и выживает за счет целой серии приспособлений, адаптированных к условиям засухи. Эти ее способности тоже послужили примером для вдохновения многих архитекторов и строителей. Выживание в пустыне требует особой ловкости. Следует быть готовым к высокой температуре – внутри растения она может достигать 70 °С. Нужно научиться удерживать воду, необходимую для обеспечения выживания в среде, где среднегодовое количество осадков меньше, чем в Лондоне в один апрельский день. И, наконец, необходимо обеспечить защиту от животных, которые норовят использовать тебя в пищу.

Казалось бы, соблюсти все эти требования невозможно, но это удалось Опунции индийской, а также многим другим ее собратьям по семейству кактусовых (*Cactaceae*). Они прекрасно справляются с выживанием в самых засушливых пустынях и, благодаря удивительным метаморфозам, научились использовать с выгодой условия, казалось бы, невыносимые для жизни. В кактусах можно наблюдать проявления самых удивительных мутаций, в том числе полное исчезновение листьев. Этот орган, основное место фотосинтеза, обычно является символом растения. И именно через него в растение поступает большая часть воды. За счет устранения листьев и переноса фотосинтеза внутрь тела Опунция индийская решила вопрос нехватки жидкости. Фотосинтез у кактусов тоже не такой, как у всех – он адаптирован под условия засухи: углекислый газ, необходимый для фотосинтеза, поступает через устьица¹⁹ только ночью, когда окружающие условия более щадящие, и позволяют минимизировать испарение воды. На самом деле, все растения сталкиваются с необходимостью открывать и закрывать устьица только в самых благоприятных для этого условиях, и найти решение тут не так уж просто. С одной стороны, если держать устьица постоянно открытыми, то в растение попадает больше углекислого газа, что максимизирует фотосинтез. С другой стороны, эти микроскопические и многочисленные отверстия (на одном квадратном сантиметре табачного листа, к примеру, находятся около 10 тысяч устьиц) позволяют воде испаряться. Оптимальное решение зависит от окружающей среды и требует умения улавливать ее изменения и быстро закрывать или открывать устьица.

Для использования климатических условий с максимальной для себя выгодой необходимо довести до совершенства умение регулировать процесс закрытия и открытия устьиц. Малейшая задержка с закрытием на солнцепеке может привести к гибели даже самого устойчивого растения. Поэтому, в отличие от других видов растений, у которых поступление углекислого газа и его преобразование в процессе фотосинтеза происходят одновременно и днем, на свету, у растений, которые используют САМ-фотосинтез (кислотный метаболизм толстянковых), типичный для кактусов, он разделен на два этапа: поступление газа и его превращение в сахара происходят последовательно, в разное время. Ночью растение поглощает углекислый газ, а днем он под влиянием света преобразуется.

Одной экономии воды недостаточно для выживания, это только один из аспектов проблемы. Необходимо ее регулярное поступление, которое могло бы поддерживать нормальный метаболизм.

¹⁹ Устьица – поры, находящиеся в слоях эпидермиса растения. – *Прим. ред.*



Вельвичия удивительная (Welwitschia mirabilis) относится к отделу Голосеменных (в него входят также сосны и ели) и растет в пустынях Калахари и Намиб. Она выживает в условиях экстремальной засухи.

Растению, таким образом, нужно найти источники, в которых оно могло бы пополнять запасы жидкости. Но как это сделать там, где никогда не идет дождь? Как достичь этого в кли-

мате, где показатели влажности стремятся к нулю? Однако многие растения из рода Опунция (к которому принадлежит и Опунция индийская) вполне преуспевают в этом, казалось бы, безнадежном деле. Благодаря удивительным способностям к адаптации, эти растения научились добывать воду из единственного возможного источника воды в пустыне – из атмосферы. Тонкие, похожие на волоски шипы, покрывающие кладоды (так называются листообразные стебли Опунции индийской), не только защищают растение от животных, но и обладают поразительной способностью конденсировать влагу. Вода собирается на волосках и поступает внутрь по мере формирования капель, а кладоды, помимо других многочисленных функций, играют еще и роль хранилища водных запасов. Подобными системами конденсации влаги из атмосферы обладают многие виды растений и животных.

Чтобы в этом убедиться, достаточно отправиться в Намибию. Пустыня Намиб – одно из самых сухих мест нашей планеты, причем уже очень давно. В отличие от таких пустынь, как Сахара, где климат менялся от сухого к влажному и обратно в течение последней сотни тысяч лет (существуют прогнозы, согласно которым Сахара вновь зазеленеет через каких-то 16 тысяч лет), пустыня Намиб безнадежно бесплодна уже как минимум 80 миллионов лет. За столь долгое время эволюция смогла сформировать многочисленные виды, приспособившиеся к этому климату и научившиеся добывать воду из тумана, который время от времени заползает в пустыню со стороны океана. Среди типичных представителей флоры этого региона можно назвать Вельвичию удивительную (или «растительного утконоса», согласно знаменитому определению Чарлза Дарвина), у которой вырастают всего два листа, достигающие в длину 5 метров. Это растение настолько хорошо адаптировано к экстремальному климату, что может жить тысячу лет. Некоторые экземпляры вельвичии достигают возраста в 2 тысячи лет. На африканс²⁰ их называют *tweeblaarkanniedood*, то есть «два листа, которые никогда не умрут». Выживаемость этого уникального растения, описанного ботаником Джозефом Д. Гукером (1817–1911) как «самое выдающееся растение, когда-либо привезенное в эту страну, и при этом самое уродливое». Оно зависит не от длины корней, как считалось долгое время, а от способности длинных пористых листьев впитывать мельчайшие капли воды, оседающие в процессе конденсации тумана под влиянием больших перепадов температур.

²⁰ Африканс – язык, произошедший от нидерландского и распространенный в основном в Южной Африке.



Вельвичия великолепная обладает утолщенным корнем, способным погружаться на большую глубину и двумя листьями, вырастающими до 5 метров в длину.

Так называемые жуки, приходящие с туманом – насекомые из семейства Тенебрионид, эндемичные для пустыни Намиб, – тоже развили у себя механизмы поглощения влаги из атмосферы. Намибийский жук *Stenocara gracilipes*, например, умеет становиться под углом в 45 градусов к направлению ветра с моря, и забирает из него влагу с помощью крыльев, состоящих из водоотталкивающих и водопоглощающих слоев. Вода из тумана остается в водопоглощающем слое, пока не образует достаточно крупные капли, скатывающиеся прямо в ротовое отверстие

насекомого. Людями этот механизм был использован для производства специальных тканей, способных поглощать влагу из воздуха.



Микроскопические капли воды, собранные волокнами семян одуванчика путем конденсации влаги из воздуха.

Даже такие тонкие нити, как паутина, способны собирать влагу из воздуха, и подобные технологии применялись человеком уже довольно давно в тех регионах, где воды было недостаточно. Исследования архитектора Пьетро Лауреано, посвятившего всю свою карьеру исследованиям этих традиционных техник, подтвердили, что первые свидетельства об их применении можно обнаружить еще в так называемых «солнечных гробницах». Это сооружения бронзового века, состоящие из двойной окружности, пересеченной коридором, ведущим к выдолбленному в середине углублению. Они служили не только местом отправления религиозных ритуалов, но и водосборником. Подобные сооружения из камня встречаются в Апулии и на Сицилии, где их использовали для сбора воды. Влажный ветер обдувал камень, температура которого была ниже температуры воздуха (камень защищали от солнца, он охлаждался потоками воздуха, поступающими из подполья под ним); понижение температуры вызывало конденсацию капель воды, собиравшихся в углублении в камне. Ночью процесс шел в обратном направлении, на наружной поверхности камня. В течение долгих веков эта технология, потом надолго забытая, снабжала водой население многих регионов Средиземноморья. Она позволила людям выжить даже в столь негостеприимных краях, как Сахара. Сегодня достижения таких ученых, как Пьетро Лауреано, вновь пригодились в качестве источников вдохновения для создания новых технологий.

Знания о том, как растения, подобные Опунии индийской, конденсируют воду, стали основой для создания систем, работающих по принципиально новым технологическим принципам. Они повторяют решения, уже найденные растениями. К примеру, небоскреб, в который переезжает Министерство сельского хозяйства Катара, был построен с использованием типичных для кактусов решений (в этой стране среднегодовой уровень осадков колеблется около 70 миллиметров). Здание по форме тоже напоминает кактус. В его стенах проделаны специаль-

ные отверстия, которые открываются и закрываются, обеспечивая циркуляцию воздуха внутри. Проект был создан на основе исследований растений, живущих в засушливых регионах. Башня Warka Water, спроектированная архитектором Артуро Виттори, являет собой пример другого прочтения растительной технологии, направленной на сбор воды путем конденсации. Даже по названию башни понятно, что ее постройка вдохновлена растениями. Словом «warka» в Эфиопии называют гигантский фикус, местный эндемик – к сожалению, сейчас все более редкий, – играющий важную роль в местной культуре и экосистеме. Он ценится как за съедобные плоды, так и за размеры – под ним обычно проходит общий сход деревни.



Изображение башины Warka Water, спроектированной Артуро Виттори. Это строение способно получать воду из атмосферы путем конденсации.

Сооружение Warka Water тоже стилизовано под дерево (его дизайн получил в 2016 году премию World design impact prize) и, благодаря специально разработанным сеткам, обладающим способностью усиленно конденсировать влагу, может производить до 100 литров воды в день, в крайне сухом климате Эфиопии. Стоимость сооружения относительно невелика, а эффективность, простота конструкции и использования, безвредность для окружающей среды и красота архитектоники делают его, по моему мнению, прекрасным примером того, как растение может подсказать идеи людям, обладающим нестандартным умом и дать толчок развитию технологий будущего.

Величие лесных деревьев угадывается в колоннах храмов, в скромной грации коринфских капителей, украшенных листьями аканта²¹ (изобретение капителей Витрувий приписал легендарному Каллимаху). С того момента, когда египтянам пришла в голову идея имитировать стебель папируса при возведении колонн храма в Луксоре, примеров влияния – хотя тут больше подходит слово «вдохновение» – растений на архитекторов можно найти очень много. Я лично хотел бы, чтобы это продолжалось и в будущем: вдохновляясь природой, создать какую-нибудь гадость невозможно.

Библиография

M. Dacke, T. Nørgaard, Fog-basking behaviour and water collection efficiency in Namib desert darkling beetles, «Frontiers in zoology», 7 (23), 2010.

J.D. Hooker, On Welwitschia, a new genus of Gnetaceae, «Transactions of the Linnean society of London», 24 (1), 1863, сmp. 1–48.

J. Ju et al., A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus, «Nature communications», 3 (1247), 2012.

Leonardo da Vinci, Trattato della pittura. Parte VI: Degli alberi e delle verdure. N. 833: Della scorza degli alberi, Newton Compton, Roma 2015.

Life and letters of Sir Joseph Dalton Hooker. Vol. 2, a cura di L. Huxley, John Murray, Londra 1918, сmp. 25.

Y. Zheng et al., Directional water collection on wetted spider silk, «Nature», 463, 2010, сmp. 640–643.

²¹ Акант – средиземноморское растение. Древние греки считали, что акант растет на могилах героев. – Прим. ред.

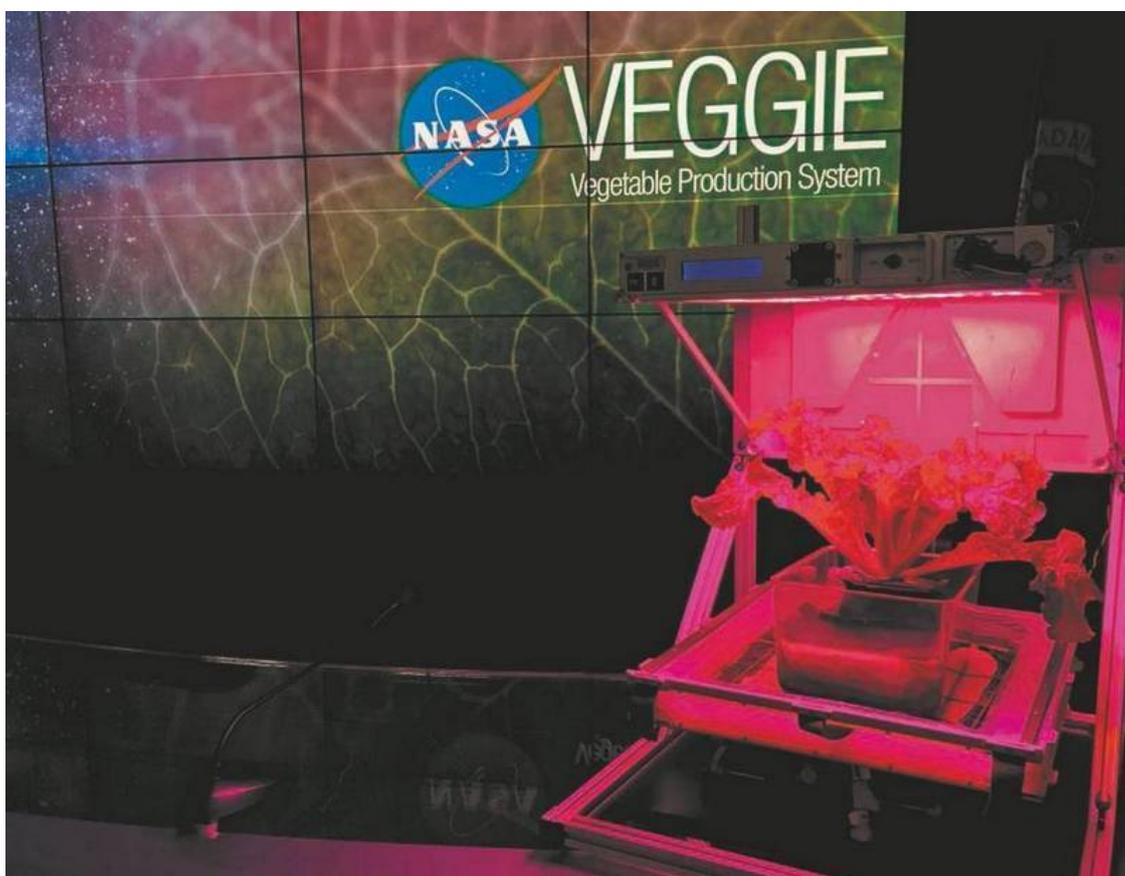
VIII Растения-космонавты

Динозавры вымерли, потому что у них не было космической программы. И если мы тоже вымерем, потому что у нас нет космической программы, то поделом нам!

Ларри Нивен

Травинка – обычная вещь на Земле; но она была бы чудом на Марсе. Наши потомки на Марсе узнают цену кусочка зелени.

Карл Саган. Голубая точка. Космическое будущее человечества



«Овоци» – так в НАСА назвали мини-теплицу для выращивания растений в условиях невесомости.

Наши космические попутчики

«Человек, мужчина или женщина, который первый поставит свою ногу на Марс, уже родился». Прошло уже несколько лет с тех пор, как эта фраза стала мантрой, которую повторяют при каждом удобном случае в половине космических агентств мира. Без напоминания об этом не обходится ни одна дискуссия, интервью или конференция, посвященная будущему космических исследований, словно это уже не подвергается сомнению, и новый марсианский Армстронг давно среди нас. Я не могу сказать, так это или нет. Всякому, кто интересуется космическими исследованиями, известно, что неразрешимых технических проблем для отправки человека на Марс нет. Мы уже давно готовы к этому захватывающему предприятию. Однако прошло уже 40 лет, а никто больше не летает на Луну. Американский астронавт Юджин Сернан (недавно скончавшийся) стал последним человеком, взошедшим 14 декабря 1972 года на модуль Челленджер, прилунившийся за три дня до этого. Модуль пролетел 180 тысяч километров (среднее расстояние от Земли до Луны) и вернулся на Землю с астронавтами. Со временем Сернан прославился так же, как и Армстронг, который первый ступил на поверхность Луны 21 июля 1969 года.

Луна ближе всех других небесных тел к Земле – просто на смешном расстоянии по сравнению с 55 миллионами километров, отделяющими нас от ближайшей точки орбиты Марса (это расстояние становится таким каждые 26 месяцев, когда планеты находятся в «оппозиции»). Возможно, что технические трудности, оттягивающие наше завоевание Солнечной системы, не столь велики; однако стоимость полетов и иные приоритеты в этой области затрудняют движение вперед. Как бы то ни было, в одном можно быть уверенным: независимо от того, как скоро мы совершим следующий шаг в космическое пространство – мы не сможем сделать его без растений. Тем не менее мы склонны забывать это.

Более того, мы как будто не замечаем, что человечество полностью зависит от растений. Пища и кислород, которые нам необходимы, производятся растениями. Без них жизнь невозможна. Разум подсказывает, что речь идет о настоящей зависимости, которая ограничивает нашу способность путешествовать во Вселенной. Нам бы следовало давно осознать, что двигателем нашей жизни являются растения. А мы в ответ страдаем упорной и непростительной слепотой. Мы же отдаем себе отчет в том, что водолаз не может работать под водой без запаса кислорода в баллонах, но при этом умудряемся не осознавать, что наш вид полностью и во всем зависит от растительного мира? Итак: если мы хотим переместиться куда-либо за пределы нашей планеты – даже если речь идет о нескольких тысячах километров до земной орбиты – нам нужно взять с собой приличный запас растений!

Причин, по которым нам в космическом полете нужны растения, тысячи. Если вы видели фильм Ридли Скотта 2015 года «Марсианин», с Мэттом Деймоном в роли ботаника-астронавта, вы наверняка сразу поняли, о чем речь. Гениальный Марк Уотни, брошенный своими товарищами на смерть, остается в живых благодаря тому, что выращивает картофель в марсианской земле. Некоторые причины, по которым нам не жить без растений, очевидны: они суть наша пища и кислород. Другие менее бросаются в глаза, но не менее важны для успешного полета в космос на дальнее расстояние. В качестве одной из таких причин можно указать и позитивный эффект, который растения оказывают на нашу психику.

Среди множества задач, которые следует решить перед отправкой в длительное космическое путешествие, потребности человека – одни из важнейших. При современном уровне технической оснащённости полет на Марс потребует от полугода до года (длительность зависит от целого комплекса причин, например, от объема запасов топлива на борту). Учитывая время, необходимое для возвращения на Землю, а также время, проведенное на планете (вероятно, год с небольшим) в ожидании очередного сближения Марса с Землей, мы получим приблизи-

тельный расчет длительности экспедиции: полет займет от 2 до 3 лет. А теперь представьте, что вы должны провести взаперти, в помещении площадью всего несколько квадратных метров, забитом приборами и инструментами, на одном пятачке с другими тремя или четырьмя членами экипажа, без возможности уединиться, в глубине безграничного черного пространства, и вдобавок в невесомости три года! Представляете, какой это кошмар?

Во время экспериментов на Земле, когда условия межпланетного полета воспроизводятся с помощью компьютера, у экипажей негативное воздействие на психику начало проявляться спустя несколько месяцев после старта, несмотря на то, что участников подвергали специальному отбору по принципу крепкой нервной системы. А условия симуляций даже отдаленно не были столь суровыми, как в настоящем полете. Таким образом, именно человеческий фактор является самым трудным препятствием в подготовке полета к другим планетам. Отобрать членов экипажа, которые, помимо необходимой технической квалификации, обладали бы способностью не поубивать друг друга после нескольких месяцев тесного сожительства, представляется самой важной задачей подготовки. Астронавт может проявлять горячее желание быть включенным в экипаж, но сможет ли он выдержать миссию до конца? Уже несколько лет группа специалистов работает над этим вопросом. И вы знаете, какое решение при проверках дает самые лучшие результаты? Отправить в полет группу растений – живых существ, способных оказать экипажу существенную поддержку!

Положительное влияние растений на человеческое настроение известно уже давно. Люди, страдающие психическими отклонениями, начинают себя лучше чувствовать, проходя сеансы садоводческой терапии в многочисленных центрах реабилитации по всему миру. Дети школьного возраста, страдающие синдромом дефицита внимания, показывают лучшие результаты в учебе в присутствии растений. Уже около 10 лет назад лаборатория Linv, которой я руковожу, опубликовала результаты исследования по этой теме. Мы обследовали большое количество детей в возрасте от 7 до 9 лет, учеников начальной школы (2–4-й классы) с помощью теста на внимание. Тестирование мы проводили в помещениях и вне них: в классах, окна которых выходили на другие дома, или в зеленом школьном саду. Несмотря на то что в классе была создана атмосфера, казалось бы, способствующая сосредоточению на тесте (никаких развлечений, тишина...), результаты, полученные в саду, под деревьями, были намного лучше.

Однако вернемся к проблеме растений, сопровождающих человека в космическом полете. В 2014 году на борту Международной космической станции начались исследования по выращиванию растений в мини-теплице Veggie. В теплице не только был выращен зеленый салат, но в январе 2016 года зацвели первые настоящие цветы, распустившиеся в невесомости (это были циннии). Рэймонд Вилер, директор департамента по обеспечению жизнедеятельности НАСА, признал, что подобные эксперименты весьма положительно сказываются на настроении астронавтов. По его рекомендации была интенсифицирована разработка биорегенеративных модулей жизнеобеспечения в космосе, которые посредством создания искусственных экосистем имитировали бы взаимодействие между микроорганизмами, животными и растениями, типичное для земной экологии, и в которых отходы одних служили бы ресурсом для других. В подобных модулях роль растений должна стать фундаментальной, поскольку именно они производят кислород и утилизируют углекислый газ с помощью фотосинтеза, очищают воду путем испарения и, в конце концов, поставляют свежие овощи.



Фотография лаборатории в Университете Флоренции, где мы с моими коллегами провели многие из исследований, которые я описываю в этой книге.

Выращивание растений в космосе, таким образом, неотделимо от процесса его освоения. Очень увлекательно думать о том, что исследование космоса, которое для человечества всегда было одним из столпов его воображаемого будущего, станет неразрывно связано с его древнейшей деятельностью – сельским хозяйством. Подобные соображения могут оскорбить уши инженеров и физиков, которые всегда рассматривали космические агентства как собственную, и ничью больше, вотчину. Раньше обнаружить ботаника – я уж не говорю про агронома – среди персонала космических учреждений было чем-то немыслимым. Однако в последние 20 лет ситуация изменилась. Даже самые непреклонные технократы вынуждены были признать, что присутствие растений действительно необходимо для исследования и колонизации космоса.



Суперцентрифуга, установленная в центре ЕКА в Нордвике (Голландия), позволяет создавать условия сильнейших перегрузок.

Упрощая, можно сказать, что для растения – так же, как и для любого другого существа – космическое пространство отличается от привычного, прежде всего из-за гравитации (существенно меньшей) и влияния космического излучения. Однако растения, растущие в космосе в условиях невесомости, несмотря на проявляющиеся иногда хромосомные сбои и изменения биологического цикла, умудряются успешно адаптироваться. Как недостаток силы тяжести, так и перегрузки, естественно, становятся источником стресса для них. Но, в отличие от других стрессогенных факторов: засухи, скачков температуры, засоленности почв, отсутствия кислорода и многих других, с которыми растения сталкивались на Земле за многие миллионы лет эволюции, отсутствие силы тяжести – это нечто принципиально новое. На нашей планете любое существо сталкивается с гравитационным ускорением, равным в среднем $9,81 \text{ м/сек}^2$ (или 1 g). Гравитация при этом относится к фундаментальным силам, влияющим на любое биологическое создание и вообще на любой физический объект, находящийся на Земле. Физиология, метаболизм, структура, способы коммуникации, форма тела любого земного обитателя определяются этой силой.

Когда я утверждаю, что гравитация относится к универсальным силам, я хочу подчеркнуть, что она существует везде. Пусть очень слабо, но присутствует. Гравитация, равная нулю, существует исключительно в теории. На самом деле, вместо того, чтобы говорить о невесомости, было бы правильнее обсуждать микрогравитацию. На Земле мы тоже располагаем способами ее испытать, пусть и на короткое время.



Башня падения в Бременском университете – удивительное научное приспособление для изучения влияния микрогравитации короткого действия.

Чтобы ее ощутить, достаточно небольшого снижения силы тяжести (от 10^{-2} g до 10^{-6} g). Для того чтобы исследовать влияние гравитационных колебаний на растения, Европейское космическое агентство (ЕКА) предоставило ученым, помимо МКС, и другие технические средства и возможности: параболические полеты, Бременскую башню падения, научные ракеты и суперцентрифугу в Нордвике.

Башня падения представляет собой сооружение высотой 146 метров, построенной в Бременском университете. Внутри сооружения можно проводить эксперименты по свободному падению (так создаются условия невесомости) длительностью примерно в 5 секунд. Научные ракеты стартуют с базы в Кируне, в Швеции, и внутри можно поместить оборудование для эксперимента, невесомость длится около 45 минут. Суперцентрифуга ЕКА в Нордвике – огромная центрифуга, которая позволяет проводить эксперименты с массами до сотен килограмм. Эта установка позволяет воспроизводить влияние силы тяжести значительно большей, чем земная – до 2,5 g, которая действует на таких планетах, как Юпитер, и даже гораздо более массивных. Перегрузки будут действовать на растения при наборе скорости во время будущих космических полетов.

В течение нескольких лет моя лаборатория использовала все эти инструменты, чтобы исследовать влияние изменений гравитации на физиологию растений. Один из экспериментов Linv был нацелен на выяснение того, какие гены, отвечающие за проявления стресса, активизируются в невесомости, и мы смогли принять участие в последнем путешествии шаттла «Индевор» 16 мая 2011 года. Полученные результаты позволили сформулировать гипотезу о том, что изменения гравитационного ускорения, как я уже отмечал, сказываются на физиологии растения. Хорошим известием стало то, что, как и при стрессах, вызванных более распространенными причинами, растение может привыкнуть переносить вариации силы тяжести.

«Камешек в небе»

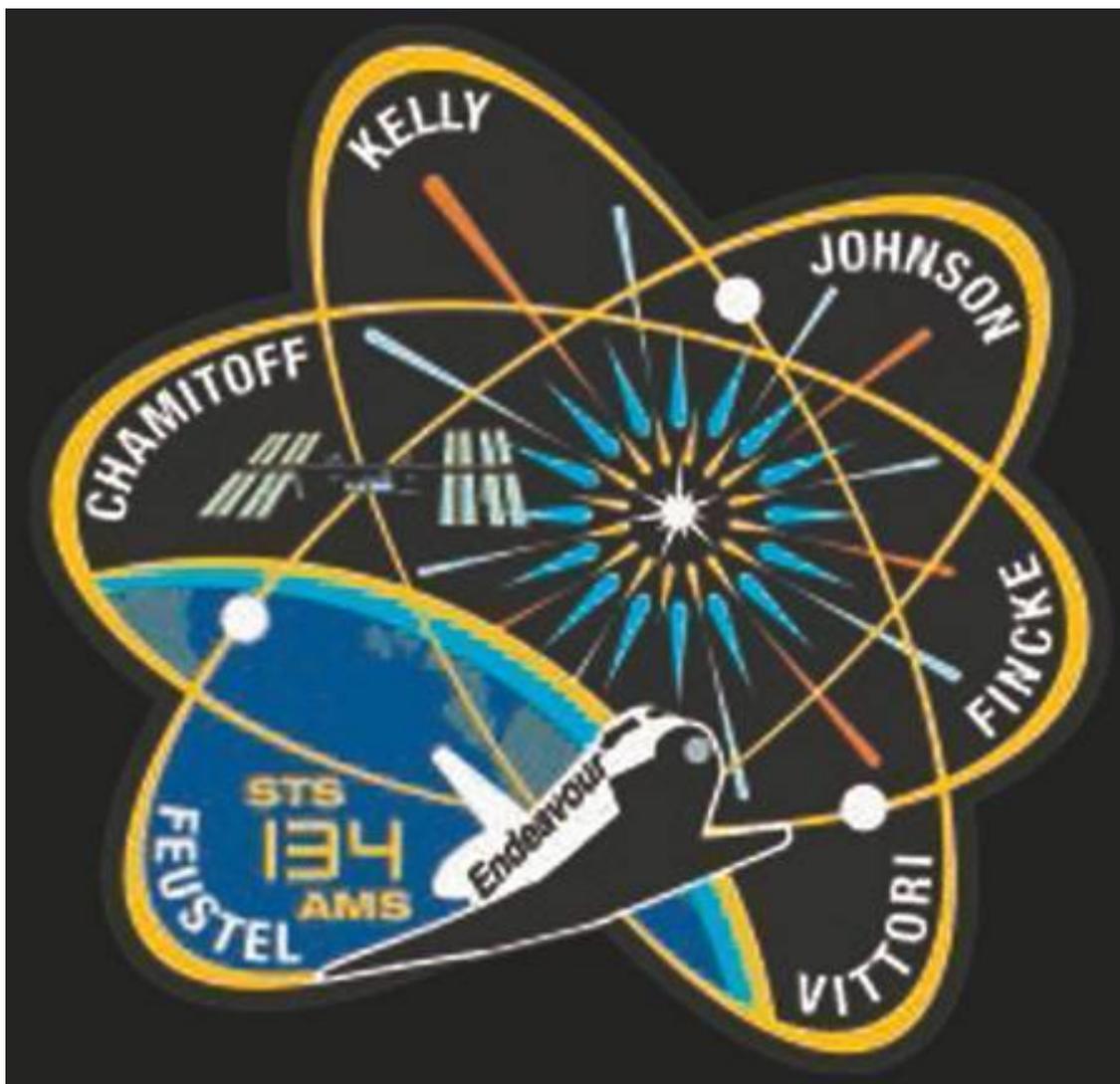
Мне всегда нравились космические исследования, завораживающий мир инженеров, ученых, безумцев и мечтателей, работающих в этой сфере. Поэтому, когда в 2004 году ЕКА приняло наше предложение по проведению экспериментов во время параболических полетов, первой же моей мыслью было: я стою на пороге вступления в один из самых эксклюзивных клубов мира, члены которого испробовали на себе состояние невесомости. Конечно, именно об этом я мечтал с самого детства, поглощая книги лучших фантастов мира.

Для того чтобы принять участие в параболическом полете, надо запастись терпением – пройти длительный медосмотр и преодолеть бюрократические препоны. Карты, формы, запросы, согласования, визиты ко врачам, анализы... Но оно того стоит. Я прекрасно помню все подробности моего первого полета – потом мне повезло участвовать в еще шести – на борту самолета Airbus A300-ZeroG, специально приспособленного ЕКА для этих целей. Мы вылетали из аэропорта Бордо-Мериньяк, во Франции.

В течение всей недели, предшествовавшей подготовке, наша итало-немецкая команда загружала на борт самолета необходимые для проведения экспериментов инструменты и оборудование. Мы собирались исследовать первые сигналы, испускаемые клетками корней ростков кукурузы в тот момент, когда они вдруг оказываются вне действия силы тяжести. Эксперимент был очень сложным – надо было измерить очень слабые электрические сигналы, которые, как мы предполагали, должны были зарождаться в определенной зоне корня (которая представляет собой сложный сенсорный орган) размером меньше миллиметра, в самые первые мгновения исчезновения силы тяжести. У нас не было ответов на огромное количество вопросов. Мы не знали, как вибрация самолета могла подействовать на измерение крайне чувствительных параметров. Мы не знали, сможет ли растение во время полета сохранять самочувствие, достаточное для быстрой реакции на изменение гравитации. Мы не знали, с какими условиями столкнемся, и сможем ли заменять растения во время эксперимента. Короче, мы были абсолютно не готовы к работе в столь непривычных условиях. Я бы ни за что не признался тогда, но у меня было ощущение, что мы занимаемся какой-то бессмыслицей.

Среди многих причин для беспокойства, одна особенно нервировала всех новичков, с которыми мы познакомились за неделю подготовки, мне же она казалась, наоборот, ерундой. Может быть, вы уже догадались, о чем шла речь? Все были убеждены, что параболические полеты воздействуют пренеприятным образом на желудок экспериментатора, да так, что самолет даже прозвали рвотной кометой. Но это как раз меня заботило меньше всего. Я никогда не страдал морской болезнью – полагал я наивно – и какие-то банальные проблемы с желудком не могли мне помешать провести эксперимент и совершить первые шаги в качестве астронавта.

После почти бессонной ночи, проведенной за придумыванием всех возможных ситуаций, которые могли бы помешать опытам, мы начали этот утомительный день в вождеденных синих комбинезонах ЕКА, которые выдают всем участникам полетов. Надев его, я ощутил себя настоящим астронавтом. Мне было как-то все равно, что он был на пару размеров больше, чем я обычно ношу. Он соответствовал всем остальным критериям – был синим, с ярким названием космического агентства и логотипом «Parabolic flight campaign». Это было восхитительно! Внушительное количество гигиенических пакетов, которое заполняло все карманы комбинезона, вызвало у меня только легкую улыбку.

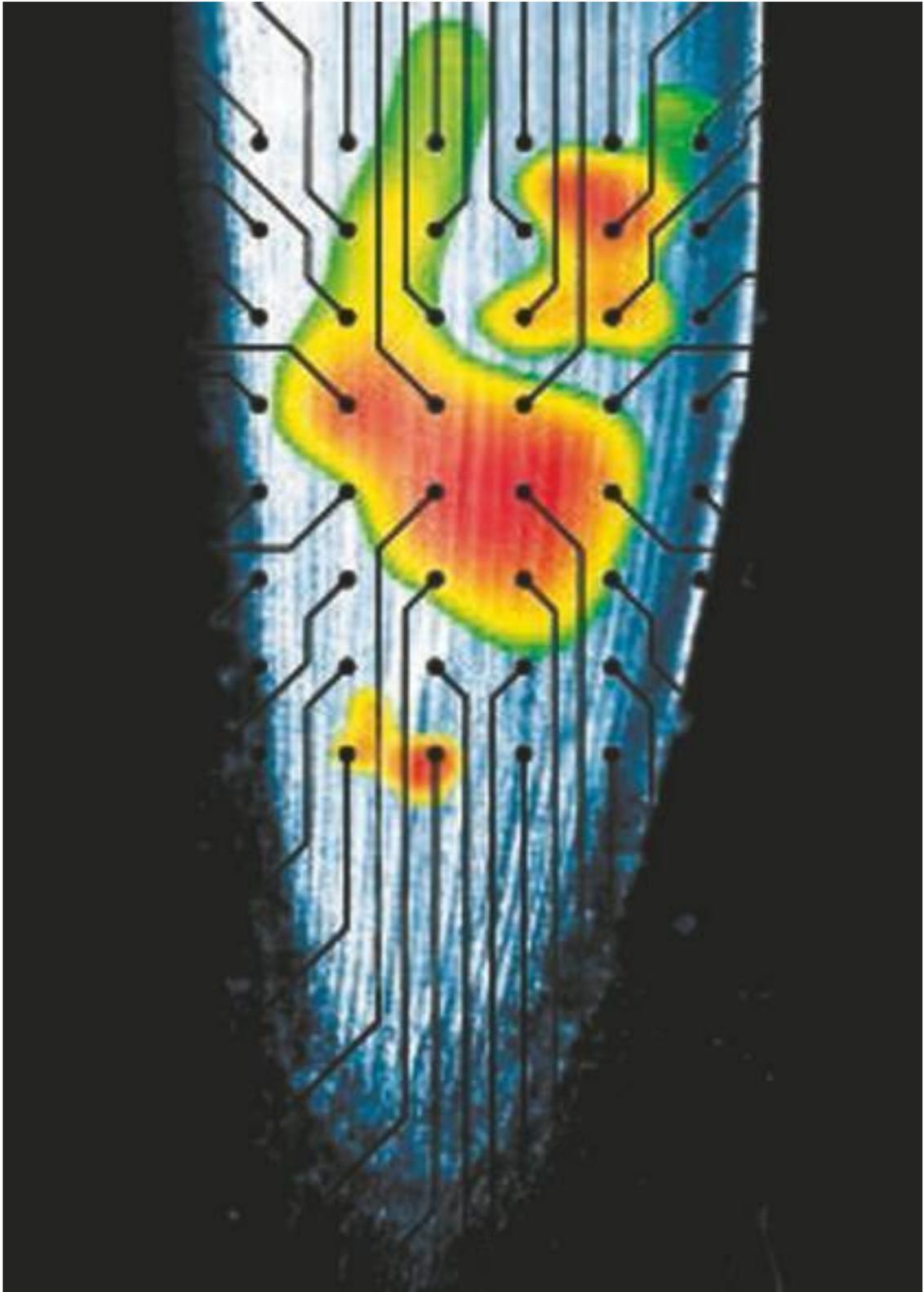


Логотип последнего полета шаттла Индевор, на борту которого был поставлен наш эксперимент.

Во время первого полета – серия параболических полетов состоит из трех, день за днем – мне надо было проверить работу приборов, и, в случае штатного их функционирования, я должен был непременно сделать пару-тройку опытов. Самолет взлетел и взял курс на Атлантику, над океаном он выполняет последовательность из тридцати парабол. Во время каждой примерно на 20 секунд наступает состояние невесомости.

Каждая парабола начинается с фазы 30-секундного подъема, во время которого самолет задирает нос на 45 градусов вверх и набирает скорость. Пассажиры испытывают перегрузки примерно в 2 g (как если бы вдруг ваш вес увеличился вдвое). На вершине параболы пилот прекращает подачу топлива в двигатели, и начинается свободное падение, во время которого и наступает состояние невесомости. Переход от двойной силы тяжести к невесомости практически мгновенный, у вас даже нет времени воскликнуть: «Падаем???!» Вот оно, волшебное состояние. Тело отрывается от пола и начинает левитировать, верх и низ теряют всякий смысл, остается только движение. Одни сравнивают это состояние с болтанием в воде, другие с падением с обрыва. На самом деле эти ощущения описать невозможно, они не похожи ни на что из того, что живое существо когда-либо могло испытать в своей жизни. Это настолько необычное ощущение, что всю следующую после полета ночь вам снится состояние невесомости. Мозг пытается втиснуть новое переживание в рамки привычного. Это чертовски приятно! Ничего

не весить! Болтаться в воздухе, ходить по потолку самолета, вертеться волчком! Какой восторг! Первая парабола, как и другие первые разы в нашей жизни, никогда не забудется.



Корень кукурузы, укрепленный на пластике с микроэлектродами, который измеряют потенциал, генерируемый клеткой.

А потом пилот снова нажал на газ, и я из бесплотного духа превратился обратно в материального субъекта. К моему огромному удивлению, эксперименты сразу пошли без проблем, и я смог посвятить практически полностью время моей первой невесомости увлекательным играм в воздухе. А компьютер в это время регистрировал изменения электрического потенциала (электрические сигналы, похожие на те, что распространяются между нейронами в нашем мозгу), зарождавшиеся точно в той зоне, что мы и предполагали, и передаваемые в район возле корневой системы. Тогда я еще не знал, что нам удалось зарегистрировать самую скоростную реакцию растения на внезапное исчезновение гравитации! Спустя 1,5 секунды после наступления невесомости изменения электрического потенциала были зарегистрированы в корневой системе и распространились на соседние области. Поразительный результат: до этого момента самой скоростной реакцией на невесомость было зарегистрированное спустя 10 минут после ее наступления изменение рН.

В очередной раз растения продемонстрировали нам, что обладают уникальными способностями, чувствительностью, намного более тонкой, чем мы могли себе вообразить. Знание того, что корневая система способна с такой скоростью реагировать на изменение силы тяжести, открыло новые перспективы. Мы поняли, что растение способно, путем последовательных физиологических адаптаций, приспособиться к иному, чем на Земле, гравитационному полю. Это был первый шаг, который, вкупе с достижениями других ученых, работающих в области космической биологии, позволит в самое ближайшее время понять, как растение, – гений сопротивляемости и приспособляемости, – может привыкнуть даже к отсутствию силы тяжести.

Я ошеломленно взирал на повторяющиеся регулярные сигналы, поступающие с началом каждой следующей параболы. Это был момент чистого счастья. В этот день во время полета я впервые в жизни летал и сам, легче пушинки, в воздухе, и одновременно регистрировал самую быструю из ранее зарегистрированных реакций растения на изменение гравитации. Это то, о чем мечтают все ученые. Конечно, счастье – это мимолетное мгновение, а не постоянное физическое состояние материи. Проблемы посыпались со всех сторон на двадцатой параболе, и за время, меньшее чем то, которое требуется, чтобы сказать эти слова, счастье превратилось в кошмар.



Это я в состоянии невесомости во время параболического полета, организованного Европейским космическим агентством.

Невесомость надо испытывать в идеальном помещении. В условиях микрогравитации всякий предмет, в том числе всевозможный мусор, начинает болтаться в воздухе, куда бог пошлет. Уже во время первой параболы, в самом начале фазы невесомости, волшебная атмосфера новизны, когда взрослые люди превратились в детей, веселящихся и порхающих внутри самолета, была подпорчена появлением предметов, о существовании которых в самолете мы и не подозревали. Это были отвертки (вдруг ставшие крайне опасными и норовящими нацелиться прямо в глаз), винтики, очки, носки, использованные и чистые носовые платки, пустые банки из-под напитков, серьги, потерянные французской исследовательницей за день до этого, и бесконечные палочки, щепочки, кусочки железа, алюминия, латуни, ватки и прочие обрывки материалов, которые использовались для подготовки опытов, и оказались на полу.

Мы оказались совершенно не готовы к подобным условиям: более опытные астронавты защищают все, что может быть повреждено, специальными тонкими сетками. А мы этого не сделали. В итоге крошечный кусочек металла проник внутрь одного из компьютеров, регистрировавших результаты опыта, и закоротил провода. Я не имел ни малейшего представления о том, что делать, если в невесомости случится взрыв и пожар. В нашем случае вспышка, языки пламени и отвратительный запах горелого пластика стали дополнительным раздражителем для и так уже взвинченных нервов моих товарищей по полету (которые еще не успели прийти в себя от успешного начала параболы) и спровоцировали их на резкие движения. Следует отметить, что сдерживать движения в отсутствие силы тяжести не просто. С одной стороны, инстинкт побуждает вскрикнуть и отскочить, с другой стороны, произвольная реакция приводит к тому, вы летите в произвольном направлении, сталкиваясь со всеми, пихаясь и нанося беспорядочные удары во все стороны, поскольку сами остановиться не можете. В

результате образовалась куча мала, в которой мои коллеги были на грани безнадежной порчи отношений всех со всеми.

Когда фаза проклятий на десятке разных языков закончилась, все вдруг осознали, что эксперимент был моим, и посему я несу ответственность за все происходящее. Тут я стал главным виновником катастрофы, козлом отпущения и общим врагом. Коллеги воззрились на меня с презрением, а мне вспомнилась одна из книг Айзека Азимова, которую я очень любил в детстве – «Камешек в небе». Название полностью соответствовало моему положению. Я потушил пожар, сохранил все данные, зарегистрированные к тому моменту, и отодвинулся в сторону, как можно дальше от остальных членов команды, в самоуничужении, соответствовавшем моему новому положению изгоя. Я не думал, что может стать хуже. Но я ошибался.

Десятки лет я не страдал ни от морской болезни, ни от тошноты в самолетах и наземном транспорте, как вдруг мой желудок решил, что пришел правильный момент напомнить о себе. Потом я долго ломал голову, что же пошло не так, но так и не понял. Это было Ватерлоо, как у Наполеона. Катастрофы бы не случилось, если бы не роковое стечение сразу нескольких обстоятельств, которые определили ход событий, цеплявшихся одно за другое и приведших к краху французского императора. В моем случае все было, конечно, гораздо банальнее: обильный французский завтрак, съеденный согласно рекомендациям врачей, потряс мой желудок, давно привыкший к проглатыванию одинокой утренней чашки кофе и пары печений, если уж очень голодно. К этому добавились волнение от короткого замыкания в компьютере, вдыхание химических испарений горящего пластика, усталость, бессонная ночь накануне, презрительно-жалостливые взгляды коллег, и, не в последнюю очередь то, что самолет продолжал лететь над Атлантикой, выдвывая петлю за петлей. Идеальный шторм, эффект Ватерлоо – называйте, как хотите – я, за минуту до этого наблюдавший с улыбкой легкого превосходства за своими коллегами, вцепившимися в гигиенические пакеты, разделил их незавидную судьбу.

Так закончилось мое первое незабываемое путешествие в невесомость. В последующие дни, уже с запасным компьютером и сетками на оборудовании, эксперимент успешно продолжился. К концу серии опытов параболический полет стал отправным пунктом нашего научного успеха. Мы смогли доказать, что корневая система реагирует на изменения гравитации со скоростью гораздо большей, чем предполагалось ранее; что 20 секунд микрогравитации в течение одного свободного падения вполне достаточно для возбуждения у растения реакции на невесомость и ее исследования. Данные, собранные во время этой серии экспериментов, показали, что растения реагируют с потрясающей скоростью, и позволили убедить научное сообщество и космические агентства в том, что растения прекрасно ведут себя во время параболических полетов и могут стать отличными астронавтами.

В последующие годы я участвовал в других аналогичных проектах, которые дали еще более поразительные результаты. Но этот первый полет, с его бедами и неопишуемыми ощущениями, навсегда сохранился в моих воспоминаниях, вместе со всеми другими «первыми», и может вполне служить рекламой того, насколько восхитительна жизнь ученого.

Библиография

E.E. Aldrin, N. Armstrong, M. Collins, First on the moon. A voyage with Neil Armstrong, Michael Collins and Edwin E. Aldrin, Jr., Little, Brown and Company, New York 1970.

I. Asimov, Pebble in the Sky, Doubleday, New York 1950 (trad. it. Paria dei cieli, Mondadori, Milano 2015).

P. W. Barlow, Gravity perception in plants. A multiplicity of systems derived by evolution?, «Plant, cell & environment», 18 (9), 1995, сmp. 951–962.

S.I. Bartsev, E. Hua, H. Liu, Conceptual design of a bioregenerative life support system containing crops and silkworms, «Advances in space research», 45 (7), 2010, сmp. 929–939.

S. Mancuso et al., Root apex transition zone. A signalling-response nexus in the root, «Trends in plant science», 15 (7), 2010, стр. 402–408.

*S. Mancuso et al., Gravity affects the closure of the traps in *Dionaea muscipula*, «Biomed research international», 2014, см. на сайте www.hindawi.com/journals/bmri/2014/964203/.*

S. Mancuso et al., The electrical network of maize root apex is gravity dependent, «Scientific reports», 5 (7730), 2015.

IX

Выжить без пресной воды

Океан – водоем, занимающий около двух третей мира, который сотворен для человека, не имеющего жабр.

Амброз Бирс. Полный словарь Сатаны

Вода – это субстанция, из которой берут начало все вещи на свете. Ее текучесть определяет изменение всех вещей. Это утверждение исходит из того, что животные и растения питаются влагой, пища пропитана соками и после смерти тела живых существ высыхают.

Фалес Милетский

Да хвалит Господа сестра моя Вода. Она – тиха, она – смиренна, и целомудренно-чиста, и драгоценна!

Святой Франциск Ассизский. Гимн Солнцу



Виды Невады, пустынного американского штата. Его земли по большей части полусухие и пересечены многочисленными горными цепями.

Запасы пресной воды не безграничны...



Американский писатель Дэвид Фостер Уоллес 21 мая 2005 года на церемонии вручения дипломов колледжа Кеньон рассказал историю. «Однажды плывут две юные рыбы, одна подле другой, а навстречу им рыба постарше. Она приветствует парочку и говорит: «Привет, ребята. Как сегодня водичка?» Молодые рыбы проплыли еще немножко, посмотрели друг на друга, и одна другую спрашивает: «А что это за фигня – вода?»»

Проблема воды сегодня во многом похожа на этот анекдот. Для большинства стран Северного полушария вода – доступный ресурс, достаточно дешевый, и, по нашему мнению, практически неисчерпаемый. Мы не осознаем его истинной цены и важности. Классическая экономика тоже использует для воды примерно те же термины. Давид Рикардо писал в своей книге «Начала политической экономии и налогового обложения» (1817): «Согласно общим законам предложения и спроса никто не будет платить ренту за такую землю, точно так же, как никто не платит ренту за пользование воздухом, водой или каким-либо другим даром природы, существующим в неограниченном количестве. Точно так же пивовар, водочный заводчик и красильщик постоянно пользуются воздухом и водой при производстве своих товаров. Но так как запасы их безграничны, то они и не имеют никакой цены».

В последнее время становится все более очевидным, что по причине постоянно возрастающего спроса дефицит пресной воды становится угрожающим фактором для устойчивого развития человечества. Об этом сообщает и Всемирный экономический форум в своем последнем ежегодном отчете о глобальных рисках. Самой важной угрозой, с точки зрения потенциального воздействия на человечество, названо истощение запасов пресной воды. Первые последствия длительных периодов засухи весьма трагичны, и мы уже можем наблюдать их своими глазами. Исследование, опубликованное Калифорнийским университетом, содержит убедительные доказательства того, что страшная засуха (самая ужасная из всех, когда-либо регистрировавшихся с момента начала инструментальных измерений), начавшаяся зимой 2006-го и продолжавшаяся последующие три года, поразила Сирию и большую часть территории, когда-то называвшейся Плодородным полумесяцем. А ведь именно в этом регионе зародилось земледелие, около 10 тысяч лет назад. Эта засуха стала одной из основных причин, породивших войну в Сирии.

Засуха, продолжавшаяся столь длительное время, нанесла смертельный урон сельскому хозяйству на территории, которая и ранее страдала от хронической нехватки пресной воды, и вынудила мигрировать из сельских районов на городские окраины около 1,5 миллиона человек. Это привело к катастрофическим последствиям.

На нашей планете 97 % воды плещется в океане. Но она не годится для использования человеком в быту, в сельском хозяйстве, в индустрии. Все человеческие потребности в воде удовлетворяются, таким образом, остающимися тремя процентами. Если учесть, что один из этих процентов не может быть использован, поскольку находится в виде льда на Северном и Южном полюсах, то на все постоянно растущее и требующее все более высоких стандартов жизни население мира остается всего два процента. Все больше воды требуется и для индустриального производства, и для сельского хозяйства с его ирригационными системами. В целом в планетарном масштабе на период времени в один год запасов пресной воды должно хватать. Однако различия в потребностях разных стран и в доступности им ее источников слишком

велики. Многие регионы планеты в некоторые периоды года страдают от острой нехватки воды. Дефицит воды становится следствием географического положения и времени года, результатом разрыва в пространстве и времени между запросом на пресную воду и ее источниками.



Высыхание почв вызвано постоянной засухой и климатическими изменениями, создающими чрезвычайную ситуацию планетарного масштаба.

Снабжение некоторых регионов водой может стать в будущем весьма важной задачей, ввиду предполагаемого прироста человечества. Прогнозируется, что к 2050 году население Земли достигнет цифры в 10 миллиардов человек. Всем им будет нужна пресная вода как для собственного потребления, так и для производства пищи.

Чтобы представить себе реальные масштабы проблемы, вообразим, что до 2050 года нам предстоит произвести пищевых продуктов в количестве, достаточном, чтобы накормить больше человек, чем обитало на Земле в 1960 году, то есть 3 миллиарда. Другими словами, в ближайшие 30 лет мы должны будем прокормить еще одну планету. С этой точки зрения задача предстает во всей своей масштабности и – поскольку я никогда не смотрел на возможность ее решения пессимистично – трудоемкости. Уже должно стать очевидным, что подобный прирост населения, если его не сочетать с решительным изменением наших привычек производства и потребления, может стать неподъемным для планеты.

Чтобы понять, что задача прокорма трех миллиардов человек еще более серьезна, чем кажется, стоит привести не очень утешительные данные о состоянии сельского хозяйства.

Во-первых, в последние несколько лет во всем мире, и в особенности в наиболее развитых его областях, наблюдается заметное замедление прироста производства сельхозпродукции. Это явление имеет столь важное значение, что исследование его причин становится просто необходимым. Очевидно, что растущие потребности в производстве продуктов питания можно удовлетворить только двумя способами: интенсификацией производства и/или расширением сельскохозяйственных угодий. В течение последнего десятилетия, несмотря на устойчивый рост урожайности во всем мире, как я уже упоминал, урожайность в более развитых странах расти перестала, что вызвало тревогу у специалистов. Одно из возможных объяснений

этого неприятного феномена – что подтверждают многочисленные исследования, – заключается в том, что показатели урожайности просто приближаются (в регионах с развитым земледелием) к биологическому максимуму урожайности отдельных культур. Это может быть вполне справедливым в отношении риса в Китае и Японии, пшеницы в Великобритании, Германии и Нидерландах, кукурузы в Италии и Франции.

Во-вторых, проблемы, безусловно, связаны с локальными изменениями климата. В исследовании Навина Раманкутти (преподаватель дисциплины «Глобальные изменения окружающей среды и продовольственная безопасность» из университета Британской Колумбии, Канада), опубликованном в 2016 году, впервые указана конкретная стоимость катастроф, связанных с климатом второй половины XX века. Ученый исследовал 2800 природных катастроф, связанных с наводнениями или крайне высокой температурой, произошедших между 1964 и 2007 годами в 177 странах. Он выяснил, что эти явления вызвали существенное снижение производства зерновых (напоминаю, что 70 % пищевого рациона человечества составляют злаковые) – примерно на 10 %. Более того, в наиболее развитых странах эти явления приводили к вдвое большему снижению объемов производства, чем в менее развитых странах. В Австралии, Северной Америке и в Европе уровни урожайности снизились в среднем на 19,9 % из-за засухи, то есть вдвое больше, чем в среднем по планете. Эта разница, возможно, имеет причиной большую унификацию посадок, более индустриальный характер земледелия в развитых странах. В некотором смысле этот факт экспериментально подтверждает вывод о том, что снижение уровня разнообразия сельскохозяйственных культур несет в себе опасность. Например, в Северной Америке злаковые культуры выращиваются на огромных площадях по абсолютно унифицированным методикам, единым для всех видов. Поэтому если вдруг некая опасность будет угрожать одной культуре, то могут пострадать все. Наоборот, во многих развивающихся странах поля злаковых представляют собой пеструю мозаику небольших площадей, засеянных разными видами. И если некоторым из них будет грозить беда, остальные имеют все шансы выжить.

Рост количества катастроф представляется все более очевидным результатом изменения климата, и все прогнозы предполагают, что в ближайшем будущем мы столкнемся с еще более многочисленными и масштабными событиями. Поэтому нам следовало бы подготовиться к еще более заметному снижению урожайности в ближайшие годы.

Если урожайность не будет расти – а во многих случаях она, в результате климатических изменений, падает – единственным возможным ответом на все возрастающие потребности в пище может стать возделывание новых земель. Это, очевидно, будет не так просто, как кажется. Почему? Прежде всего, для развития земледелия потребуется освободить территории от лесов, а это законодательно запрещено во многих странах. Да и уничтожение крупных лесных массивов повлечет за собой нарушение экологического равновесия планеты – в конце концов, мы получим поля, сельскохозяйственный потенциал которых будет стремиться к нулю.



Галофиты – растения, прекрасно переносящие присутствие соли в почве и способные расти в морской воде. Их исследование могло бы стать решающим для понимания устойчивости растений к засолению почв.

Такая игра не стоит свеч. Временный прирост производства будет полностью перекрыт негативными последствиями уничтожения лесов. Ухудшение климата пойдет еще быстрее и приведет к снижению урожайности в гораздо больших масштабах. Некоторые политики, которые считают, что смогут решить проблему нехватки продовольствия с помощью освобождения от леса больших территорий и превращения их в сельскохозяйственные угодья, просто не представляют катастрофических последствий планетарного масштаба.

Значительное количество потенциально пригодных для сельского хозяйства земель не возделывается по разным причинам, в основном из-за человеческой деятельности. Например, засоленные земли вполне могли бы быть засеяны злаками, но сейчас их почвы токсичны для растений из-за высокого содержания соли.

Засоленность почв – проблема, остающаяся пока на периферии общественного внимания. По приблизительным оценкам, от 3,6 до 5,2 миллиардов гектаров засушливых земель, используемых для посевов в разных уголках земного шара, страдают от засоленности. Почти 10 % всей поверхности суши (950 миллионов гектаров) и 50 % всех орошаемых земель (230 миллионов гектаров) нашей планеты страдают от излишней соли. Ежегодные потери сельскохозяйственной продукции, вызванные засолением почв, превышают десятки миллиардов долларов, и постоянно растут. Климатические изменения, к сожалению, негативно сказываются и на проблеме засоленных почв: повышение уровня моря способствует проникновению морской воды либо в источники пресной, либо непосредственно в прибрежные почвы, и это явление принимает все большие масштабы.



Кактусы в результате эволюции приспособились к условиям засушливых зон с ограниченным доступом к пресной воде, и умудряются успешно выживать.

Те земли, которые раньше легко подвергались обработке, перестают быть таковыми. Плодородные почвы становятся все более редкими. Кроме того, они побуждают влиятельные группы и правительства, озабоченные собственной продовольственной безопасностью, их скупать. Масштабы этого феномена все увеличиваются, и он вызывает все большее беспокойство. С 2000 по 2012 год были зарегистрированы договоры на покупку 83 миллионов гектаров, что составляет примерно 2 % возделываемых земель мира. Это происходит в основном в африканских странах, таких, как Судан, Танзания, Эфиопия и Демократическая Республика Конго. Помимо африканских стран, аналогичные явления наблюдаются в Латинской Америке, Юго-восточной Азии, а в самые последние годы случаи скупки земель были зарегистрированы и в Европе.

Продовольственная безопасность стала настоящей проблемой XXI века. Как гарантировать снабжение продовольствием постоянно растущего населения земного шара? Как преуспеть в этом вопросе в условиях резкого сокращения плодородных земель и водных ресурсов? Чтобы ответить на этот вызов, не усугубляя состояния и так уже ограниченных ресурсов планеты и не умножая факторов негативного влияния на ухудшающуюся климатическую ситуацию, необходимо произвести настоящую революцию в нашем понимании того, что такое сельское хозяйство. Возможным решением, удовлетворяющим все возрастающую потребность человечества в продовольствии и учитывающим все возможные экологические ограничения, может стать частичный перенос земледелия в океан. На первый взгляд, это звучит диковато и фантастично, но если мы проанализируем внимательно это предложение, то увидим, что в этом нет ничего невероятного. Вода на нашей планете на 97 % соленая, 2/3 земного шара покрыты водой. Именно океаны, без всякого сомнения, будут нашим новым рубежом, который мы преодолеем, гораздо раньше, чем окажемся на иных планетах. Конечно, чтобы спуститься в глубины океана, потребуются новые технологии и новые растительные виды, которые мы сделаем съедобными (включая, те, которые будут легко переносить засоление). Но эти задачи вполне решаемы современными научными методами.



В последние годы человеческая деятельность и климатические изменения вызвали рост площади засоленных земель. Подъем уровня моря ежегодно превращает в солончаки некогда плодородные почвы.

Выжить в соленой воде

Земледелие в условиях повышенной засоленности потребует разработки конкретных ответов на снижение доступности пресной воды, а также методов выращивания культур в условиях высокого содержания соли в почве. Все культуры, выращиваемые сегодня, весьма чувствительны к соли. Даже те, немногочисленные растения, что считаются неприхотливыми, выдерживают в лучшем случае не более 30 % морской воды в воде для полива. Повышение концентрации соли вызывает сильное снижение урожайности – соль токсична для злаков. Уже не один десяток лет многочисленные исследователи ищут способ добиться снижения чувствительности сельскохозяйственных растений к соли, однако результаты их более чем скромны.

Несмотря на то что эксперименты проводятся самые различные, возможность получения сортов сельскохозяйственных культур, способных успешно расти на засоленных почвах, представляется иллюзорной. Поиск новых идей в этой области привел к тому, что в последние годы взоры ученых обратились на те растения, что смогли самостоятельно решить проблему выживания на засоленных почвах. Речь идет о так называемых галофитах (от греческих слов *alo* – соль, и *fito* – растение), автохтонных для почв, засоленных естественным путем (соленые пустыни, прибрежные почвы, высохшие лагуны и т. д.), и способных расти и размножаться в районах, где другие растения не выживают. Одомашнивание и превращение в земледельческую культуру этих растений, многие из которых вполне съедобны для человека и животных, позволило бы использовать для полива как смеси пресной и морской воды, так и просто морскую воду, и создало бы новые возделываемые угодья в прибрежных или засоленных регионах. Другими словами, изучение широкой гаммы адаптационных способностей галофитов, их морфологической, физиологической и биохимической приспособляемости к соли позволит найти решения и для повышения устойчивости обычных злаков.

Представьте себе, что галофиты – или иные растения, хорошо переносящие соль, – могли бы выращиваться на плавучих фермах в море. Они бы не занимали места, не требовали воды, и проблема продовольственной безопасности была бы решена навсегда.

Баржа «Медуза» – плавучая теплица

Пару лет тому назад, на приеме, организованном Иларией Фенди в ее поместье Казали дель Пино в Риме, я познакомился с Кристианой Фавретто и Антонио Джираради – молодой парой архитекторов. Они живо интересовались миром растений, как источником вдохновения для технологических открытий. Эта пара, сплоченная совместной жизнью и профессиональными интересами, посвятила себя воплощению идей, подсказанных растениями, в весьма оригинальных архитектурных сооружениях. Общие интересы, яркое воображение, реализованное в их удивительных проектах, вызвали мгновенную симпатию между нами, и мы, естественно, начали обсуждать наш опыт и возможности осуществления совместного проекта. Так я узнал о «Медузе». Антонио и Кристиана разрабатывали идею плавучей теплицы, в которой соленая вода превращалась бы в пресную и использовалась бы для полива растений, растущих внутри. На их живописных набросках я увидел теплицу с прозрачным куполом, из-под которого тянулись длинные канаты, предназначенные для абсорбции соленой воды как щупальца, они уходили под воду. Сооружение действительно очень напоминало медузу, поэтому мы назвали его Jellyfish («медуза» по-английски). Мне идея не просто очень понравилась – она как раз соответствовала моей собственной идее плавучих морских ферм, которая как раз занимала мои мысли в то время.

Мы начали с решения многочисленных технических задач и попыток воплотить идею в реальный и функционирующий прототип. Я пригласил архитекторов ко мне во Флоренцию в лабораторию Linv, чтобы продолжить обсуждение и найти способ более эффективного сотрудничества. За те недели, что мы обсуждали как сделать «Медузу» настоящей плавучей теплицей, мы сформулировали многочисленные критерии, которым должна была соответствовать наша крошечная плавучая морская ферма. В конце концов у нас получился удивительный, амбициозный проект. Его целью стало создание автономной системы по производству растительной пищи, которой не нужна была бы земля, которая не потребляла бы ни капли пресной воды и обогревалась бы исключительно за счет солнечной энергии или других естественных ее источников – ветра или волн. На меньшее мы не были согласны. Мы хотели создать чудо, скатерть-самобранку, производящую продовольствие без потребления ресурсов. «Медуза» должна была стать нашим вкладом в решение проблемы продовольственной безопасности на нашей планете. Поэтому к слову Jellyfish мы добавили слово Barge (баржа). Jellyfish Barge (JB) должна была стать спасательной шлюпкой, показать, что еду можно производить даже в условиях тотальной катастрофы.



Растущий на барже «Медуза» салат: плавучая теплица позволяет производить овощи без потребления пресной воды.

Имейте в виду: производство без использования ресурсов – это в каком-то смысле философский камень, идеал устойчивого производства. Этой цели достичь практически невозможно. В начале, несмотря на добрую волю и упорную работу команды, которую мы организовали (к Антонио и Кристиане присоединились Элиза Аззарелло, Элиза Маси и Камилла Пандольфи, которые помогали в реализации проекта), мы не могли никак соединить взаимоисключающие требования. Мы находили решения для отдельных задач, но они никак не укладывались в единое целое: можно было обойтись без пресной воды, но тогда росло потребление энергии; если же мы пытались снизить энергопотребление, то ничего не получалось с гидропоникой (выращивание растений в питательном растворе). Чем дальше, тем больше нам казалось, что наш визионерский проект реализовать невозможно. Кроме того, мы поставили себе еще одно дополнительное ограничение: все детали баржи «Медуза» должны годиться для повторного использования, и по возможности, быть созданы из переработанных материалов.

В последующие месяцы многочисленные задачи, над которыми мы трудились, становились все более и более трудными и казались вовсе не поддающимися решению. Любая попытка приводила только к прежним неутешительным результатам. Мы продолжали беспорядочно плутать вокруг да около разных аспектов задачи. Мы попали в ловушку и не знали, как из нее выбраться, пока не решили наконец вернуться к нашей изначальной идее: попробовать найти решение в растительном мире, обратиться к природе с технологическими вопросами, которые нас мучили.

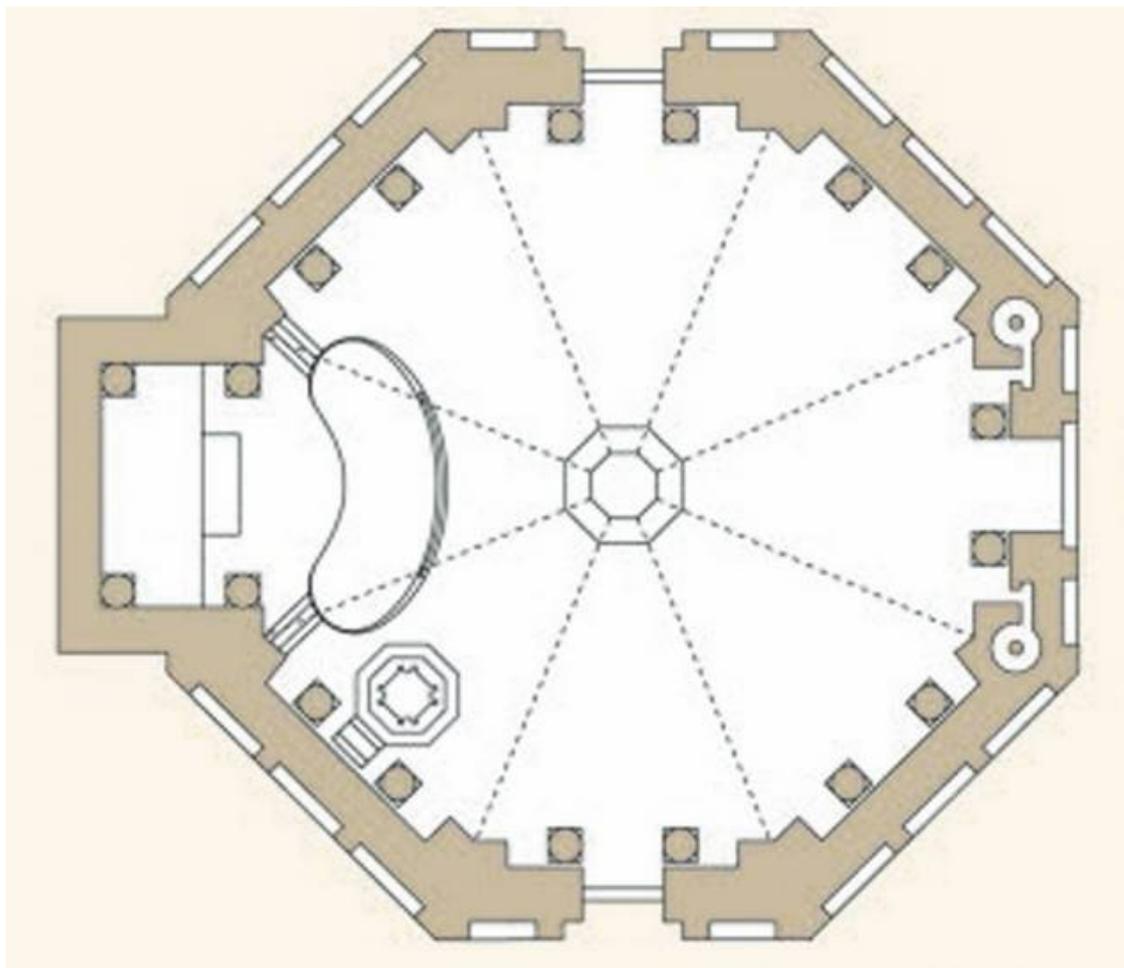
Антонио и Кристиана создали новый дизайн «Медузы» так, чтобы ее структура соответствовала базовой модели строения растения. Они решили собрать «Медузу» из модулей. В точности как растение состоит из отдельных модулей, которые бесконечно повторяются по мере увеличения его размеров, так же и баржа должна была иметь возможность функционировать как в одиночку (как одна-единственная автономная плавучая теплица), так и вместе с другими такими же модулями, чтобы иметь возможность производить продукцию в больших

количествах. Базовым элементом стал восьмиугольник – совершенная геометрическая фигура, позволяющая наиболее эффективно использовать пространство, и в то же время оставлять достаточно места для транспортировки или общих операций на случай, если несколько модулей соединены вместе.

Растения помогли нам спроектировать и систему, которая вызывала больше всего тревог – опреснитель для морской воды. У нас в голове вертелись слова Леонардо да Винчи из Атлантического кодекса, в которых он описал круговорот воды: «Можно заключить, что вода течет из рек в море и из моря в реки». Сегодня, когда мы думаем о круговороте воды в природе, мы понимаем, что таким образом она освобождается от соли. Испаряясь из моря, вода оставляет растворенные в ней соли, образует облака и выпадает обратно на землю дождем, пополняющим запасы уже пресной воды. Таким образом каждый день в атмосфере циркулируют огромные объемы воды. Растения тоже участвуют в этом природном цикле, испаряя воду через листья и кроны. Леса, такие, как растут в бассейне Амазонки, испаряют воду в количествах, имеющих ключевое значение для формирования климата нашей планеты, а некоторые деревья, вроде мангрового, используют для своих нужд непосредственно морскую воду.



Первый прототип баржи «Медуза» обладал несущей конструкцией, полностью изготовленной из дерева, и мог производить овощи без использования пресной воды, почвы и работал на солнечной энергии.



Восьмиугольное основание здания в романском стиле. Кастиль дель Монте в Апулии, Баптистерий во Флоренции и дом Томаса Джефферсона в Виргинии служат самыми знаменитыми примерами подобной формы.

Мы пришли к выводу, что испарение под лучами солнца является самым безупречным и надежным способом получения пресной воды. Это оказалось поразительно просто: вода испаряется, нагреваемая солнцем, и вновь становится жидкой за счет конденсации при снижении температуры. Этот процесс, как мы обнаружили в ходе нашей работы, уже использовался американскими солдатами во время Второй мировой войны, для получения питьевой воды в совершенно безнадежных ситуациях, например, в многократно описанной в литературе истории с попаданием на необитаемый остров, на котором не было никаких источников пресной воды. Американские военные даже придумали специальный набор, который под тропическим солнцем мог из морской воды произвести достаточное, чтобы не страдать от жажды, количество воды питьевой. Мы даже попробовали найти подобный набор, уцелевший после войны, но безуспешно. Однако принцип его действия был совершенно понятен, и нам довольно быстро удалось создать опреснители, которые, действуя под влиянием солнечных лучей, на широте Средиземного моря за день производили до 200 литров пресной воды в день. Этого было больше чем достаточно для нужд гидропоники, с помощью которой выращивались овощи в теплице.

Когда проблемы с получением пресной воды были решены, мы уже были готовы к строительству первого прототипа баржи. Но тут нам был нужен спонсор, который бы поверил в успех нашего дела. Это оказалось проще, чем мы ожидали. «Медуза» всем нравилась, а важность задачи по производству продовольствия без использования ценных ресурсов была оче-

видной. Фонд Cassa di risparmio di Firenze, руководству которого проект понравился чрезвычайно, оказал нам финансовую поддержку.

И вскорости мы построили первый действующий прототип. Все прошло самым наилучшим образом. Теплица плавала, система выращивания овощей на гидропонике работала, вода поступала из опреснителей в нужных количествах. Единственным недостатком было качество воды, она была слишком чистой для наших целей. Вода, получаемая с помощью выпаривания под солнечными лучами, аналогична дистиллированной, минеральных веществ в ней нет вообще. Чтобы устранить проблему, и одновременно увеличить запасы воды, мы начали добавлять в полученную из опреснителя воду 10 % морской. Так вода обогащалась минеральными солями, но не вызвала никаких отрицательных последствий у растений. «Медуза» начала свою работу с блеском, овощи созревали отменно. За месяц наша плавучая теплица произвела около 500 пучков салата, готового в пищу, и многие поняли, что выращивание овощей без затрат ценных ресурсов – не досужая фантазия. Идея, которая родилась в воображении, была воплощена в жизнь. Растения, выращенные в теплице, стали нашим вкладом в благополучное будущее.

Баржа «Медуза» приняла участие во Всемирной выставке в Милане в 2015 году, и сотни тысяч человек смогли увидеть, как она плавает и зайти внутрь на старом причале столицы Ломбардии. Она посетила множество городов мира, получило множество международных премий, среди которых есть и важные награды от ООН. Баржа на самом деле очень красива, поэтому она получила премии и за дизайнерское решение. Но она, к сожалению, совсем не интересует инвесторов. Хотя с ее помощью можно выращивать овощи без особых усилий, для рынка это оказалось неважным. Как сказал однажды мой коллега, не без нотки удовлетворения в голосе: «Проекты или получают премии, или продаются на рынке». Похоже, наша JB стоила только для получения премий.



Система гидропоники, установленная внутри баржи «Медуза», позволяет повысить производительность опресненной воды в теплице.

Я очень расстроился. Несомненно, «Медузу» можно усовершенствовать, урожайность повысить, но самое главное – идея работает. Вы отдаете себе отчет, что это значит – производить продовольствие без плодородной земли, без пресной воды, без использования дополнительных источников энергии? Мы полагали, что к нам выстроится очередь предпринимателей, заинтересованных в развитии идеи за воротами лаборатории. Мы все этого ждали. После того как мы легко нашли спонсора, способного поверить в идею, в самом начале наших приключений, нам казалось, что найти заинтересованных предпринимателей будет еще легче, тем более, что у нас были работающие модели и тысячи наград. И тут такое разочарование. Некоторые проявляли интерес, но ненадолго. Доля нашей вины в этом, конечно, есть, но иметь дело с бизнесом оказалось чрезвычайно утомительно. Это закрытый, суеверный, часто провинциальный мир, и просьбы его представителей могут привести в замешательство любого исследователя.

К примеру, сегодня невозможно никуда сунуться без бизнес-плана. О нем тебя спрашивают еще до того, как узнают твое имя. «У вас нет бизнес-плана?» После первого изумления от того, что кто-то может существовать без бизнес-плана, самые вежливые выразительно трясут головой и разводят руками, сопровождая все это гримасой безнадежности на лице, что, мол, рад помочь, но... Но вежливых не так уж много, а большинство даже и не скрывают презрения. Как? Ты тут выступаешь, воруя драгоценные минуты их времени – которое, следует помнить, деньги – и имеешь наглость не иметь бизнес-плана? Есть ли у нас хотя бы «презентация для лифта»? Чего? Я надеюсь, вы знаете, что такое «презентация для лифта»? Незнание этого закроет перед вами навсегда двери в высшие круги делового мира. Вам останется только роль бедного наивного зрителя. Я, конечно, не знал, что такое «презентация для лифта», но, поскольку мне нравится узнавать новое, теперь я информирован по этому вопросу.

Концепция «презентации для лифта» состоит в том, что вы сможете изложить вашу идею за одну-две минуты, то есть за время, в течение которого поднимается лифт. Хорошо, если лифт установлен в небоскребе в Америке. Наш лифт, во Флоренции, довозит меня до четвертого этажа за двадцать секунд, а он вообще-то еле ползает. «Почему в лифте?» – спросите вы. Я тоже задавал себе этот вопрос. Похоже, что причина в том, что только в лифте порой вы можете встретиться с кем-то весьма важным и рассказать ему о вашей идее.

Википедия просвещает нас: «Термин отражает ограниченность по времени. Длина презентации должна быть такой, чтобы она могла быть полностью рассказана за время поездки на лифте. Если разговор в течение нескольких секунд заинтересует собеседника, и он почувствует возможность получения прибыли, встреча в лифте может закончиться обменом визитками или назначением встречи». Черт возьми! Лифт в США, похоже, может принести незабываемый опыт. Никогда не знаешь, кого придется встретить. Но в Италии? Какую влиятельную персону вы хотите встретить в лифте? Я влезая в него только когда возвращаюсь домой, чтобы подняться на четвертый этаж, на котором я живу, да и то не всегда, поскольку чаще поднимаюсь по лестнице, чтобы немного подвигаться. И никогда не спускаюсь на нем, поскольку пешком получается куда как быстрее. В любом случае я знаю всех соседей и ни один из них не способен профинансировать создание «Медузы».

А по-вашему, кто способен сделать настоящую, классическую «презентацию для лифта», если бы она и вправду понадобилась? Я надеюсь, что таких нет. Вы представляете, как это могло бы выглядеть? Человек входит в лифт, и, вместо того, чтобы заткнуться, или, если уж очень общителен, поговорить о погоде, в течение 20 секунд тщится оценить вашу важность и значимость, и, поскольку вы одеты в парадный костюм, чтобы пойти на выпускной к племяннице, начинает нести что-то про идеи, цифры, рыночные перспективы, статистику со скоростью тысяча слов в минуту. Я живу не в США, а во Флоренции, и здесь это будет выглядеть жутковато. Я пытался представить себе ситуацию, в которой мог бы провести «презентацию для лифта», но мне так ничего и не пришло на ум. Возможно, «презентация для автобуса», «презентация для трамвая», «презентация за кофе», даже «презентация в очереди в кассу супер-

маркета» можно было бы как-то себе вообразить, но «презентацию для лифта» – никак. В моей жизни это не пригодится никогда. Никогда.

Тем не менее все вас о ней спрашивают. Невольно подумаешь, что некоторые понятия нам навязывают, несмотря на их вопиющую бессмысленность. Ты пытаешься объяснить кому-нибудь, что у тебя есть идея производства продовольствия, для которой не нужны специальные ресурсы; ты ожидаешь хотя бы вежливого интереса, пусть даже просто доброты, которую проявляют к людям, не совсем умственно полноценным, а в ответ у тебя на голубом глазу требуют бизнес-план и презентацию в лифте. При этом вы отнюдь не в лифте, а в комфортнейшем офисе, а тот, кто сидит напротив вас, вероятнее всего, совершенно свободен, и вполне мог бы уделить вам пять минут, в течение которых вы вполне бы успели рассказать ему, в чем состоит предложение... Но нет, нужна презентация в лифте.

Это было слишком! Мы пытались, мы потратили уйму времени, мы даже подготовили прекрасную презентацию для лифта и замечательный бизнес-план, мы не хотели сдаваться перед трудностями, но трудности оказались непреодолимыми. Я приведу один-единственный пример: в бизнес-плане было указано, что производство одного кочана салата на «Медузе» стоило чуть больше, чем в привычных условиях. Немного, но чуть больше. И это нормально: если бы в стоимость салата, выращенного в обычной теплице, входила стоимость использованных ресурсов, то баланс был бы совсем другим, и в перспективе склонялся бы в сторону салата с «Медузы». Но это никого не интересует. Природа, в которой мы живем, вся наша планета многим кажется бесплатной. Как вода и воздух в теории Рикардо в 1817 году.

Ничего не изменилось за два века. Потреблять запасы, которые принадлежат нам всем, можно бесплатно и без всякого бизнес-плана. Все, что интересует рынок – это рост прибыли, а не то, что накормит людей без истощения ресурсов планеты. Это задача для фриков, максимум – для Папы Франциска, но не для солидных господ с деньгами. Но, как бы то ни было, мы не унываем. Рано или поздно человечеству понадобится технология для производства продовольствия в море. Знайте, что баржа «Медуза» уже под парами.

Библиография

K.G. Cassman, K.M. Eskridge, P. Grassini, Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends, «Nature communications», 4 (2918), 2013.

C.P. Kelley et al., Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought, «Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America», 112 (11), 2015, сmp. 3241–3246.

Land concentration, land grabbing and people's struggles in Europe, отчет Transnational institute за 2013 год, см. на сайте www.tni.org/en/publication/land-concentration-land-grabbing-and-peoples-struggles-in-europe-0.

C. Lesk, N. Ramankutty, P. Rowhani, Influence of extreme weather disasters on global crop production, «Nature», 529 (7584), 2016, сmp. 84–87.

M. Qadir et al., Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification, «Land degradation and development», 19(4), 2008, сmp. 429–453.

K. Riadh et al., Responses of halophytes to environmental stresses with special emphasis to salinity, «Advances in botanical research», 53, 2010, сmp. 117–145.

D. Ricardo, On the principles of political economy and taxation, John Murray, London 1817 (trad. it. Principi di economia politica e dell'imposta, UTET, Torino 2006).

C.J. Ruan et al., Halophyte improvement for a salinized world, «Critical reviews in plant sciences», 29 (6), 2010, сmp. 329–359.

The Global Risks, отчет за 2016 год Всемирного экономического форума, см. на сайте www3.weforum.org/docs/Media/TheGlobalRisksReport2016.pdf.

D.F. Wallace, Questa è l'acqua, Einaudi, Torino 2009.

Использованные фотоматериалы



Изображения, на которых не указано другое, взяты из архива издательского дома Giunti. Издательство официально заявляет, что оно открыто для любых претензий в отношении прав на изображения, источник которых найти не удалось.

Следующие изображения любезно предоставлены Стефано Манкузо:

стр. 15, 30, 38–39, 52, 56, 59, 66–67, 82, 85, 93–94, 97, 104–105, 114, 115, 116, 119, 121, 123, 129, 132–133, 136, 137, 147, 156, 160, 164–165, 170, 179, 184, 191, 206, 220–221, 224, 227, 239, 246, 247, 249, 262, 263, 265, 269, 271, 273, 297, 300, 304

стр. 14–15 © Peter Owen / EyeEm / Getty Images

стр. 27 © Shutterstock / Bankolo5

стр. 44 alto © De Agostini / Getty Images

стр. 44 basso © Lebrecht Music & Arts / Contrasto

стр. 51 © Labrina / Creative Commons

стр. 73 © Flickr / Wikimedia Commons

стр. 77 alto © blickwinkel / Alamy Stock Photo / IPA

стр. 78 basso © Shutterstock / vaivirga

стр. 81 sinistra © Paul Zahl / National Geographic / Getty Images

стр. 91 © Shutterstock / ChWeiss

стр. 93–94 alto © UIG / Getty Images

стр. 95 © Pal Hermansen / NPL / Contrasto

стр. 99 © Bill Barksdale / Agefotostock

стр. 108 © SSPL / National Media Museum / Getty Images

стр. 110 © SSPL / Florilegius / Getty Images

стр. 139 © Morley Read / Getty Images

стр. 143 © Visuals Unlimited / NPL / Contrasto

стр. 152 © Shutterstock / Lenscap Photography

стр. 181 © Shutterstock / Hristo Rusev

стр. 183 © Stuart Wilson / Science Source / Getty Images

стр. 194 © Martin Ruegner / IFA-Bilderteam / Getty Images

стр. 213 © The Opte Project / Wikimedia Commons

стр. 228 © Hulton Deutsch / Getty Images

стр. 229 © George Reinhart / Getty Images

стр. 238 © UIG / Getty Images

стр. 243 © Juan Carlos Munoz / NPL / Contrasto

стр. 280–281 © Shutterstock / Peter Wey

стр. 285 © Andrii Shevchuk / Alamy Stock Photo / IPA

стр. 289 © Shutterstock / Atonen Gala

стр. 291 © Shutterstock / Darren J. Bradley

стр. 293 © Peter Chadwick / SPL / Contrasto

стр. 2, 3, 16, 20, 21, 40, 41, 68, 69, 106, 107, 134, 135, 166, 167, 222, 223, 256, 257, 282, 283 © Blasko Rizov / Shutterstock

КОГДА ВЫ ДАРИТЕ КНИГУ, ВЫ ДАРИТЕ ЦЕЛЫЙ МИР

ХОТИТЕ ЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

Заходите на сайт:

<https://eksmo.ru/b2b/>

Звоните по телефону:

+7 495 411-68-59, доб. 2261

