

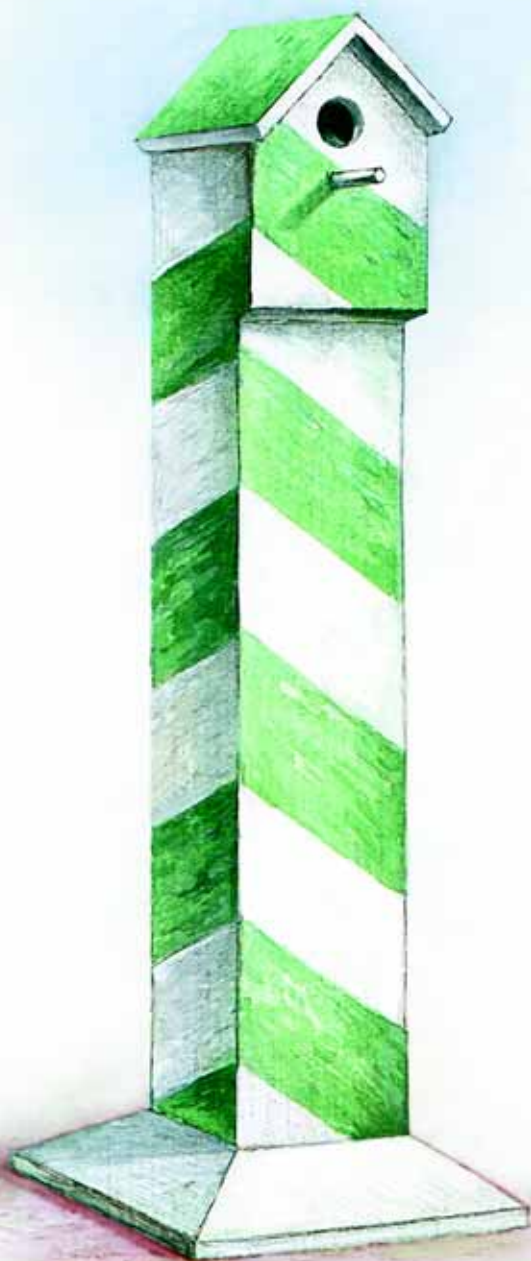


Ж

5

2007

НЗЖ И ВМХ





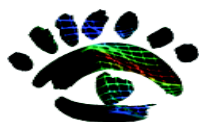


Химия и жизнь
Ежемесячный
научно-популярный
журнал

5
2007

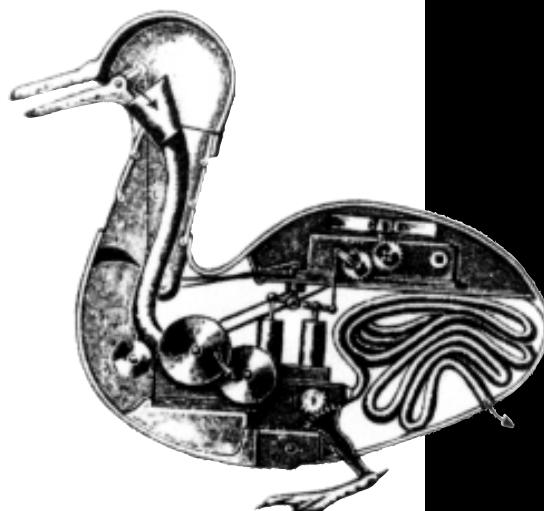
*Не оборачивается тот,
кто устремлен к звезде.*

Леонардо да Винчи



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А. Кукушкина

НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ — картина
Дж. де Мэя «Меланхолическая мелодия в зимнем
фламандском саду». Печаль сопутствует познанию,
но и способствует размышлениям.
Как понять новое и идти дальше, читайте подборку
материалов «В поисках истины».





Зарегистрирован
в Комитете РФ по печати
19 ноября 2003 г., рег. ЭЛ № 77-8479

НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:

Главный редактор
Л.Н.Стрельникова
Заместитель главного редактора
Е.В.Клещенко
Ответственный секретарь
М.Б.Литвинов
Главный художник
А.В.Астрин

Редакторы и обозреватели

Б.А.Альтшулер,
В.С.Артамонова,
Л.А.Ашкинази,
В.В.Благутина,
Ю.И.Зварич,
С.М.Комаров,
Н.Л.Резник,
О.В.Рындина

Технические рисунки

Р.Г.Бикмухаметова

Агентство ИнформНаука

О.О.Максименко,
Н.В.Маркина,
О.Б.Баклицкая-Каменева
textmaster@informnauka.ru

Подписано в печать 3.05.2007

Адрес редакции:

105005 Москва, Лефортовский пер., 8

Телефон для справок:

(495) 267-54-18,

e-mail: redaktor@hij.ru

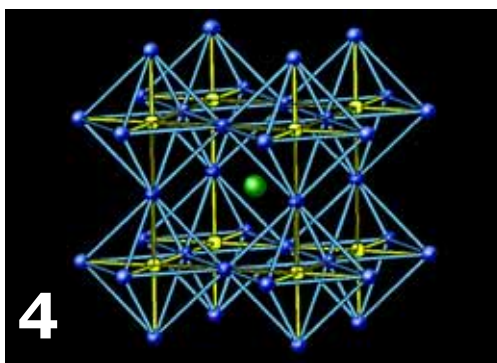
Ищите нас в интернете по адресам:

<http://www.hij.ru>;

<http://www.informnauka.ru>

При перепечатке материалов ссылка
на «Химию и жизнь — XXI век»
обязательна.

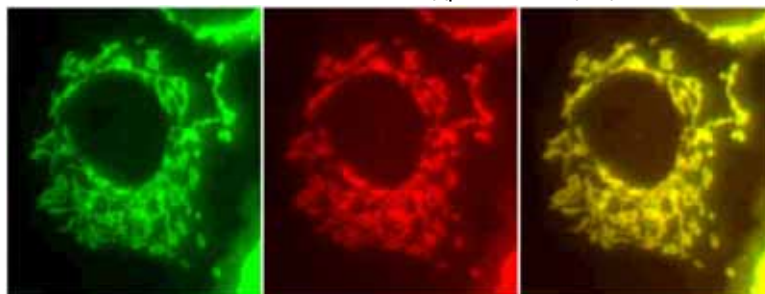
© АНО Центр «НаукаПресс»



Новые сверхпроводники
с рекордно высокими значениями
критической температуры
открыты химиками
из МГУ.

Химия и жизнь

«Ион Скулачева»,
который, возможно,
станет эффективным средством
против старости, накапливается
в митохондриях и защищает их от окисления.



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Ю.Д.Третьяков

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ — ОСНОВА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ 5

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

В.А.Чистяков

SKQ, ОНИ ЖЕ ИОНЫ СКУЛАЧЕВА 11

ИНФОРМНАУКА

ЛУНА-ДЕТЕКТОР 16

ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА СЕЛЕНА В ЯЙЦЕ 16

РОССИЙСКИЕ БИОРАЗРУШАЕМЫЕ ПОЛИМЕРЫ 17

КЛАССИКА НАУКИ

В ПОИСКАХ ИСТИНЫ 18

КНИГИ

Л.И.Верховский

ФИЗИКИ ОБЕДАЮТ С ДЬЯВОЛОМ 24

РАЗМЫШЛЕНИЯ

И.В.Андрианов

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕНИ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ 26

СОБЫТИЕ

ШЕСТАЯ ОЛИМПИАДА ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ 29

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Е.В.Клещенко

О КЛЕТКАХ, ЛЮДЯХ И СТРАНАХ 30

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

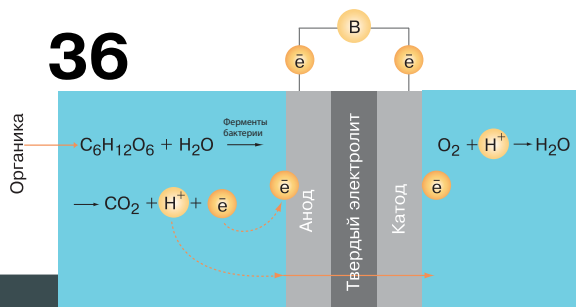
Н.Л.Резник

БЕРЕГИТЕСЬ СТЕВЛОВЫХ КЛЕТОК 33

ТЕХНОЛОГИИ

С.В.Калужный, В.В.Федорович

МИКРОБНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ 36



40



Восемь человек вошли в этот огромный террариум, чтобы провести в нем два года, не получая из внешнего мира ни пищи, ни воды, ни воздуха...

59



Хобот торнадо устроен так же, как канал молнии. Случайно ли это сходство?

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Л.И. Богуславский

МОЕ ОТКРЫТИЕ ЭКОЛОГИИ 40

ЦИКЛ ВОДЫ

Д.Я. Фашук

СОК ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ 48

ВОДА: В НЕБЕ, НА ЗЕМЛЕ, ПОД ЗЕМЛЕЙ 50

ТЕХНОЛОГИИ

А.А. Биршер

СОЗДАНИЕ ТОРРИЧЕЛЛИЕВОЙ ПУСТОТЫ 52

РАССЛЕДОВАНИЕ

И.И. Гольдфайн

ПОЧЕМУ ГИТЛЕРОВЦЫ НЕ СОЗДАЛИ АТОМНОЕ ОРУЖИЕ 56

ГИПОТЕЗЫ

В.Б. Медведев

ТОРНАДО И МОЛНИЯ 59

ФАНТАСТИКА

Алла Гореликова

КТО НАЙДЕТ, ТОГО И БУДЕТ 64

НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ

Л.Викторова

ШОКОЛАД 68

КСТАТИ О КОСМОСЕ

П.Данилов

КОСМОС — ЭТО УРОЖАЙ 72

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ 22

ПИШУТ, ЧТО... 70

ИНФОРМАЦИЯ 39, 62, 63, 67

ПЕРЕПИСКА 72

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ 70



В номере

16

ИНФОРМНАУКА

О первых опытах практического использования Луны, о постоянстве содержания селена в яйцах самых разных живых существ, о российских биоразрушаемых полимерах.

18

КЛАССИКА НАУКИ

«Я был бы очень рад, если бы серьезные экспериментаторы непредвзято изучали явления такого рода, как телепатия. Можно сомневаться или же не верить, что они обнаружат телепатию, но несомненно, что они откроют много других интересных явлений», — эти слова принадлежат академику А.Б.Мигдалу.

24

КНИГИ

В теоретической физике давно не было крупных прорывов, а математический аппарат становится все более запутанным. Говоря о том, как опасно физику попасть в зависимость от подобной математики, французский физик Жорж Лошак вспоминает старую поговорку: «На обед к дьяволу нужно идти с длинной ложкой».

52

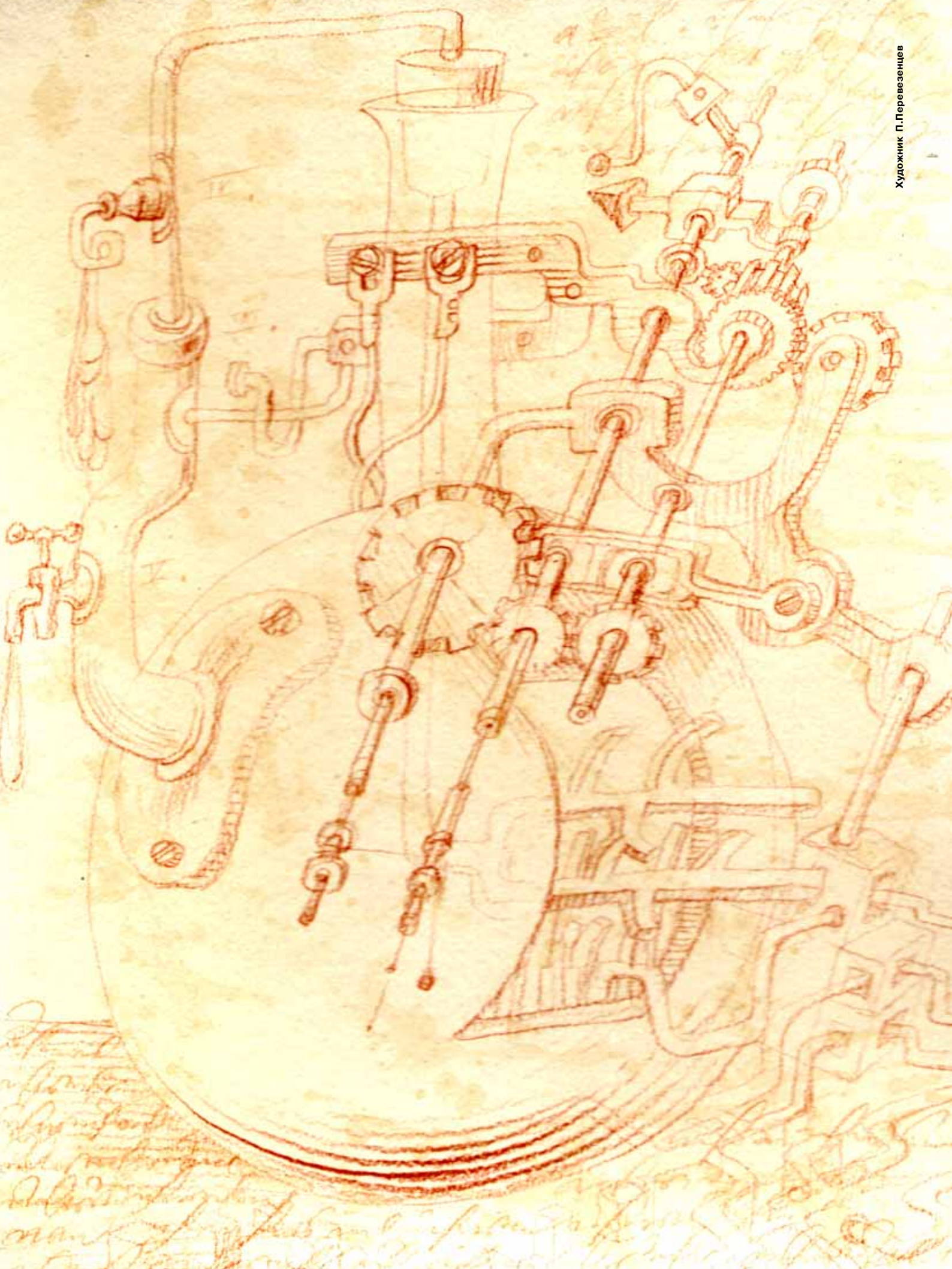
ТЕХНОЛОГИИ

Вакуум — это больше, чем просто ничто. Для физика вакуум — пространство, которое не проводит тепло и звук. Для химика — среда, в которой не идут никакие реакции, и это его свойство использовали опять-таки физики, создав электроламповые приборы. С тех пор цивилизация не может существовать без вакуумных технологий.

56

РАССЛЕДОВАНИЕ

Тем, кто рассуждает о якобы произведенном в Германии в 1945 году ядерном взрыве, следует напомнить про понятие критической массы — минимальной, при которой возможна цепная реакция. Плутоний в Германии не производился вообще, а уран-235 — в количествах, достаточных лишь для лабораторий...



Неорганическая химия — основа новых материалов

Академик РАН
Ю.Д.Третьяков

Большая часть знаний, на которых базируется неорганическая химия, получена довольно давно, но во второй половине прошлого века она вдруг оказалась в тени фантастических достижений органической химии и химии живых систем. Практически у всех создалось ощущение, что неорганическая химия — в глубоком застое. Этому в немалой степени способствовали и университетские профессора, излагавшие предмет почти в неизменном виде на протяжении десятилетий. Между тем ситуация в последние годы существенно переменялась. Интенсивное развитие электроники, фотоники, сенсорики и спинтроники потребовало новых материалов со специальными свойствами, что привело к ренессансу неорганической химии.

Кстати, неорганика вообще гораздо сложнее органической химии. Последняя — это фактически химия одного элемента, а у неорганики их в арсенале почти сто. Именно это дает простор для создания самых разных материалов с разными свойствами.

В Периодической системе элементов уже почти исчезли «застойные» зоны, практически все элементы активно применяются в новых материалах. Пример тому — использование самых молодых (по времени открытия) химических элементов, таких, как рений, технеций и франций, не говоря уже о плутонии, америции и других актиноидах.

Переход от химических элементов к материалам исключительно сложен, здесь не помогают даже методы комбинаторной химии, поскольку возможно множество сочетаний различных химических элементов. Например, только для элементов, имеющих стабильные изотопы, таких сочетаний больше $7 \cdot 10^{23}$. Это число увеличится на много порядков, если учесть, что большинство современных материалов создают, используя метастабильные состояния веществ. Дело в том, что 99,9% неорганических материалов находятся в неравновесном состоянии, то есть с ними что-то происходит во времени (например, металл окисляется). Этот процесс превращения может быть очень медленным, поэтому кажется, что материал стабилен и неизменен. Чем отличается стабильное состояние от метастабильного? Если зафиксировать все параметры, которые характеризуют состояние системы, то только одно-единственное будет термодинамически стабильным, а множество других — метастабильными. Таких метастабильных состояний бесконечно много даже для одного вещества, имеющего фиксированный состав, а свойства у этих состояний разные.

В этой ситуации метод случайного перебора композиций не может быть эффективным — надо с умом использовать закономерности неорганической химии. К сожалению, несмотря на славные традиции ее развития в России, в последние 10–20 лет фронт отечественных исследований зна-



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

чительно сузился из-за крайне ограниченных экспериментальных возможностей многих научных групп (нет современных электронных микроскопов, синхротронных источников излучения, сквид-магнетометров, ЯМР-спектрометров высокого разрешения и т. д.). Это тем более печально, что в прошлом российские ученые внесли существенный вклад в развитие неорганической химии, — достаточно вспомнить Д.И.Менделеева, И.С.Курнакова, Л.А.Чугаева, И.И.Черняева, а также А.В.Новоселову, И.В.Тананаева, В.И.Спицину.

Мы не будем пытаться охватить все направления современной неорганической химии, а ограничим круг научных проблем опытом, накопленным на кафедре неорганической химии химического факультета и на факультете наук о материалах МГУ за последние годы. Несмотря на неизбежную субъективность, этот выбор дает достаточно полное представление о современной неорганической химии. Возьмем только основные направления: химия ионных и молекулярных прекурсоров; кристаллохимический дизайн новых неорганических соединений; неорганическая супрамолекулярная химия; химия соединений переменного состава; химия элементов в аномальных степенях окисления; неорганическая химия биоматериалов; неорганический синтез материалов с использованием различных физических воздействий.

Химия прекурсоров

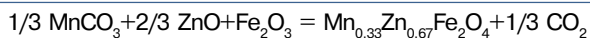
Прекурсор — это предшественник, а точнее, обычное в неорганике обозначение исходного вещества, вступающего в реакцию. Конечная цель исследователей — не синтез соединений, а создание на их основе материалов с определенным комплексом свойств. Свойства же материала зависят от его структуры. Ну, это понятно в общем смысле, а если копнуть глубже, то оказывается, что у каждого материала есть несколько уровней структуры, которые связаны между собой, и все они влияют на свойства материала.

Первый уровень структуры — кристаллический. Это структура на атомном и ионном уровне организации вещества, то, как расположены ионы, атомы или молекулы в кристаллической решетке относительно друг друга. Следующий уровень — более удаленный от атомного состояния, он связан с присутствием в твердом теле различных линейных дефектов. Третий уровень — это макроскопические дефекты (например, поры), которые возникают в твердых телах в процессе их формирования или использования.

Одно дело, когда у нас в руках монокристалл — в нем кристаллический порядок повторяется во всем объеме. Но чаще всего мы имеем дело с поликристаллическими телами, то есть такими, которые состоят из маленьких кристалликов (кристаллитов), по-разному ориентированных друг относительно друга. Здесь возникают дополнительные дефекты (дислокации, границы между кристалликами, поры, трещины), которые вносят важный вклад в формирование свойств. Например, железо, если его получить в виде монокристалла, будет в химическом отношении совершенно инертно. А если железо получить разложением карбонила или оксалата железа, то это будет поликристаллический материал, который сразу сго-

рает на воздухе, образуя оксиды. И то и другое – железо, а ведут они себя совершенно по-разному.

Чтобы управлять зависимостью свойств от уровней структуры, надо, чтобы исходные вещества были в определенном состоянии. А этого не всегда просто достичь. При получении многих материалов неэффективен, казалось бы, самый простой твердофазный синтез, который широко использовали раньше для получения магнитных диэлектриков и пьезокерамики. Например, марганец-цинковые ферриты синтезировали, осуществляя реакцию:



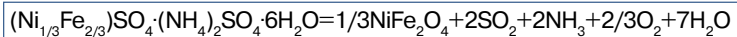
Оказалось, что традиционные механическое перемешивание, прессование смеси реагентов и их высокотемпературный обжиг (1200°C) во многих случаях не дают однофазного продукта. При повышении температуры теряется летучий оксид цинка и происходит диссоциация оксида железа (III). Все это изменяет состав и существенно ухудшает свойства материала.

Шаг вперед – использование в качестве исходных реагентов твердых солевых растворов. Как показали наши исследования, наиболее удобны для этого соли типа шенитов – $\text{M}^{2+}\text{A}^+(\text{RO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($\text{M} = \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zn}$; A^- – щелочной металл или NH_4^+ , $\text{R} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) или квасцов $\text{A}^+\text{M}^{3+}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (A^- – щелочной металл или NH_4^+ , $\text{M} = \text{Fe}, \text{Cr}, \text{Co}$).

Теперь сделаем маленькое отступление и поясним, что такое твердые солевые растворы. Для примера возьмем более простую соль, например NaCl. Если растворить хлорид натрия в воде, а потом понизить температуру, то раствор станет пересыщенным и выпадет осадок. Если мы в этот же раствор добавим еще и KCl, то из раствора по мере понижения температуры выделятся не индивидуальные соли NaCl и KCl, а кристаллиты твердого раствора. В твердом растворе, так же как и в жидком, вещества смешаны на атомном уровне – в этом его ключевое отличие от механической смеси кристаллов.

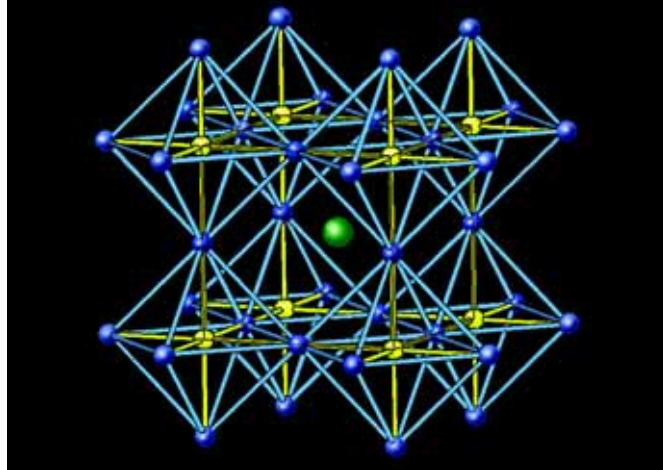
Твердые растворы широко используют в металлургии. Известно, что железо в процессе получения из руды растворяет углерод. Если железо не содержит углерода, то оно мягкое и пластичное, если углерода 1% – это прочная сталь, а если 4% – хрупкий чугун. Для любого человека это совершенно разные материалы, а для химика – твердый раствор железа с различным содержанием растворенного углерода. Другой пример – когда в меди растворяют олово и получается бронза. В зависимости от того, какое количество олова содержится в сплаве, материал будет иметь совершенно разные механические и прочностные свойства, и даже звучание колокола, который делают из меди, будет совершенно разным.

Так вот, оказалось, что шениты и квасцы могут образовывать твердые растворы при любых соотношениях компонентов и имеют хорошую растворимость в воде, резко уменьшающуюся при охлаждении. Это так называемые ионные (поскольку в солях ионная связь) прекурсоры, или исходные реагенты. Целевой продукт – феррит получают с помощью термоллиза:



От того, в каких условиях проводится эта реакция, зависит, удастся ли получить поликристаллический материал с нужной керамической структурой и свойствами.

Несколько позже появилась криохимическая технология получения твердых солевых растворов, основанная на сбалаansirованном сочетании нагрева и охлаждения. Прежде чем применять новую технологию, надо было подробно изучить фундаментальные процессы криокристаллизации, сублимационного обезвоживания, криоосаждения, криоэкстракции и криодиспергирования. Криохимический синтез солеобразных исходных реагентов стал основой получения са-



1

Структура перовскита ABX_3

мых разных функциональных материалов. Например, высокопрочной керамики, пигментов, сорбентов, катализаторов и многого другого.

Важная особенность солеобразных ионных прекурсоров – так называемая топохимическая память, то есть способность помнить свое происхождение и передавать эту информацию в последующих реакциях, которые так и называются – топохимическими. Скорее всего, эту информацию в твердом теле хранит реальная структура, сформированная, как правило, в неравновесных условиях. В дальнейшем это сильно влияет на свойства функциональных материалов (особенно тех, которые получают в форме поликристаллической керамики).

Очень важны и интересны исследования молекулярных прекурсоров (исходных реагентов). Их используют, например, для создания тонкопленочных материалов методом молекулярного насаивания. Известно, что уже давно назрела необходимость увеличить плотность записи информации в кремниевых микросхемах, а для этого придется заменить SiO_2 на оксиды с большей величиной диэлектрической константы. Среди наиболее вероятных претендентов оказались HfO_2 , ZrO_2 , Ln_2O_3 (лантан и другие редкоземельные элементы). Чтобы получить пленки таких оксидов на поверхности кремния, надо создать исходные реагенты с высокой летучестью и относительной термической стабильностью, которые смогут легко гидролизироваться (или вступать в другие реакции разложения) с образованием аморфных оксидов на поверхности кремния. В лаборатории координационной химии МГУ синтезировали новые молекулярные прекурсоры на основе насыщенных комплексов металла с лигандами, образующими относительно слабые донорно-акцепторные связи.

Комплексы с органическими лигандами использовали и для решения другой важнейшей проблемы – получения термозащитных покрытий на лопатках газотурбинных двигателей. Оказалось, что лучше всего покрытия, полученные осаждением $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ из паров бета-дикетонатов соответствующих металлов. Процесс недорогой, поскольку можно использовать недорогой ацетилацетат. То, что полимерный $\text{Y}(\text{AcAc})_3$ недостаточно летуч, легко устраняется его совместным испарением с летучим $\text{Zr}(\text{AcAc})_4$ – при этом испарение происходит гораздо полнее.

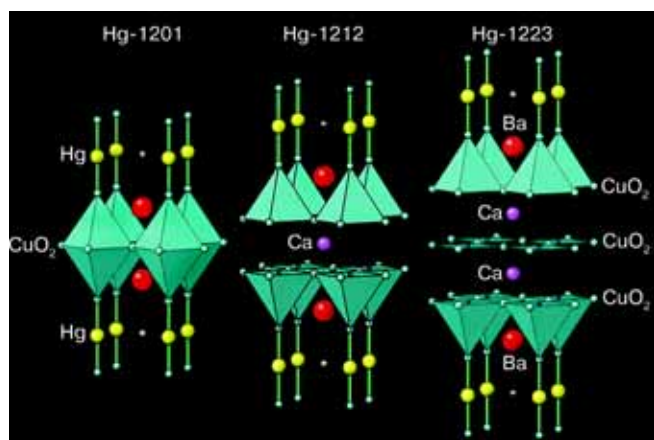
Кристаллохимический дизайн

Сотрудники кафедры неорганической химии МГУ разработали концепцию структур срастания и использовали ее для поиска новых материалов. Что такое структуры срастания?

Например, возьмем кристалл WO_3 . Его стабильная модификация (со структурой типа ReO_3) получается в результате сочленения октаэдров, так что они имеют только общие вершины и больше ничего общего у них нет. Если представить, что одна часть структуры смещается относительно другой,

то тогда общими становятся не только вершины, но и грани. Такое смещение происходит при переходе к нестехиометрическим составам. Практически это делают следующим образом. В WO_3 на каждый атом вольфрама приходится три атома кислорода. Если отжигать такой кристалл при пониженном давлении кислорода, то он частично восстанавливается, теряя какую-то часть кислорода и сохраняя при этом кристаллическую структуру (на такое восстановление способны не все оксиды, например оксид никеля восстанавливается скачком, изменяя состав с образованием металлического никеля). Структура срастания — это фаза с нестехиометрическим соотношением атомов, и ее можно представить как сдвиг одной части кристаллов относительно другой. Этот сдвиг повторяется через определенное число октаэдров, а увидеть его можно на электронных микроскопах высокого разрешения. Надо отметить, что структуры срастания оказались стабильны в довольно широком диапазоне температур.

Концепция структур срастания показала себя очень эффективной при синтезе новых высокотемпературных сверхпроводников на основе сложных оксидов меди. В них входит перовскит (ABO_3) или его фрагмент, который становится одним из блоков структур срастания (рис. 1). Новые сверхпроводники синтезировали, перебирая различные структуры, подобно тому как это делается при синтезе органических соединений. Но в данном случае надо было рассматривать не изолированные группы атомов, как в органических молекулах, а бесконечные двумерные слои, объединенные в блоки.



2
Новые сверхпроводники: $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$

Такое кристаллохимическое моделирование позволило Е.В.Антипову и С.Н.Путилину (кафедра неорганической химии МГУ) спрогнозировать существование и синтезировать новое семейство (рис. 2) сверхпроводников $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$, которое обладает рекордно высокими значениями критической температуры (у лучшего представителя 135K). Температуры перехода в сверхпроводящее состояние у таких соединений сильно зависят от содержания кислорода и числа слоев (CuO_2). Потом оказалось, что если добавить еще и атомы фтора, то это расширяет область поиска Cu-содержащих сверхпроводников (оксифторидов). Особенно надо отметить синтез $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8\text{F}_{0.32}$ — в этом веществе внедрение фтора вызвало анизотропное химическое сжатие и привело к возрастанию T_c до рекордно высокого значения 138K.

Принципиально новый подход к дизайну новых материалов (разработан А.Р.Каулем с сотрудниками) — эпитаксиальная стабилизация неустойчивых оксидов в виде тонких пленок. Эпитаксия — это когда одно вещество удается кристаллизовать на поверхности другого, заставляя его принять ту структуру, которую имеет подложка. Матрица как бы навязывает пленке свое строение.



Так, ученые МГУ синтезировали новые соединения RBO_3 (R — редкоземельный элемент, $B = \text{Ni, Co, Mn, Fe, In}$) с различными свойствами: сегнетоэлектрики (RFeO_3 и RMnO_3), материалы с переходом «металл-диэлектрик» (RNiO_3 , RCoO_3) и магнитные материалы ($\text{R}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$). Оказалось, что эпитаксиальную стабилизацию можно с успехом использовать в производстве тонкопленочных материалов для микроэлектроники.

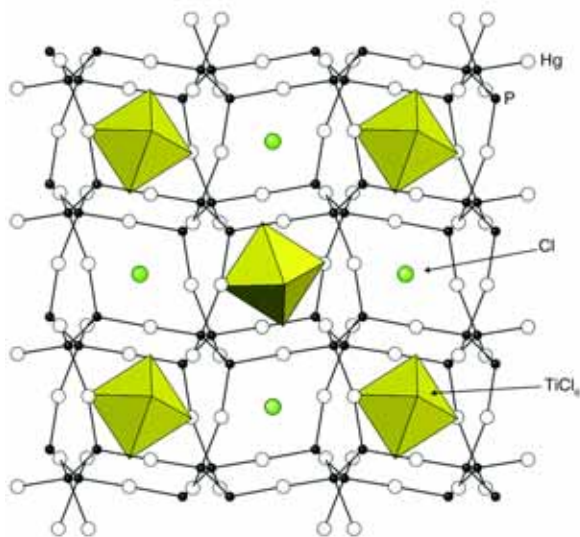
Конечно, конструирование функциональных материалов не сводится только к кристаллохимическому дизайну. Можно использовать систему физико-химических принципов, достаточно давно сформулированных автором этой статьи. Ее с успехом применили для оптимизации свойств ферритов, магнитных полупроводников, электронно-ионных проводников, керамических электролитов, пьезокерамики и т. д.

Неорганическая нано- и супрамолекулярная химия

Интерес к наноматериалам связан, в частности, с их необычными физическими свойствами. Принято, что наноматериалы, в отличие от обычных материалов, состоят из частиц меньше 100 нм — именно в этой области происходит резкое изменение свойств. Например, уменьшение размеров полупроводниковых частиц ниже некоторого критического значения может привести к изменению ширины запрещенной зоны, генерации второй гармоники, эффектам размерного квантования энергетических уровней. При этом, наверное, самая большая проблема — предрасположенность свободных наночастиц к агрегации: это сильно затрудняет их практическое применение. Один из путей решения этой проблемы — нанести наночастицы на инертную матрицу, которая защитит их от воздействия окружающей среды и предотвратит агрегацию. Методами получения таких наноконкомпозитов тоже занимается неорганическая химия.

Как матрицу для наноконкомпозитных материалов можно использовать кремнеземы. Их большое преимущество — высокоупорядоченные поры с диаметром от 20 до 100 Å. Пористых материалов много, но кремнеземы в своем роде уникальны, поскольку у них довольно однородное распределение пор по размерам, а также очень высокая удельная поверхность (1000 м²/г). Пористый SiO_2 можно использовать как матрицу для синтеза наночастиц металла, полупроводниковых соединений, а также полианилиновых и углеродных волокон.

Сегодняшний этап развития неорганической супрамолекулярной химии — это супрамолекулярные ансамбли, обладающие благодаря особенностям архитектуры особыми свойствами. Их строение определяется структурой каркаса «хозяина», а функциональные свойства — природой «гостя». Возьмем, к примеру, полупроводниковые клатраты. У них в полостях каркаса «хозяина» размещены атомы «гостя» с координационными числами 20 и 24. Гостевые атомы не связаны с каркасом ковалентными связями и могут колебаться с такими частотами, которые обеспечивают эффективное рассеяние теплопроводящих фононов. У таких материалов очень низкое (как у стекол) значение теплопроводности. В то же время каркас обеспечивает высокие концентрацию и



3

**Упорядоченное
расположение гостей
двух типов — TiCl_6^{3-} и Cl^- — в полостях трехмерного каркаса
 $[\text{Hg}_6\text{P}_4]^{4+}$ в супрамолекулярном ансамбле $[\text{Hg}_6\text{P}_4](\text{TiCl}_6)\text{Cl}$
(получен высокотемпературным синтезом)**

подвижность носителей заряда. Все это делает клатраты перспективными веществами для создания термоэлектрических материалов.

Новое направление неорганической супрамолекулярной химии исследует контролируемую самосборку упорядоченных супрамолекулярных ансамблей в высокотемпературных реакциях, когда реакционная система сложна и не поддается анализу. Основой для таких процессов служит взаимная подстройка «гостя» и «хозяина». Первый служит шаблоном для формирования каркаса определенной топологии и геометрии, но при этом и сам изменяет свои параметры, подчиняясь требованиям «хозяина». Пример — структура $[\text{Hg}_6\text{P}_4](\text{TiCl}_6)\text{Cl}$, сформированная за счет самосборки TiCl_6^{3-} и Cl^- в полостях каркаса $[\text{Hg}_6\text{P}_4]^{4+}$ (рис. 3).

Соединения переменного состава

Соединения переменного состава открыл более 100 лет назад Н.С.Курнаков и назвал их бертоллидами. Позднее оказалось, что практически все неорганические твердофазные соединения с ионным типом связи имеют непостоянный состав. Возьмем, к примеру, поваренную соль NaCl . Кажется, что это соединение постоянного состава, а на самом деле — переменного. Причем его кристаллическая структура будет сохраняться, даже если на один атом натрия придется больше (или меньше), чем один атом хлора. И хотя отклонение состава от стехиометрического очень невелико (порядка 10^{-5} — 10^{-7}), это уже влияет на свойства вещества и потому становится очень важным в науке о материалах. Например, бесцветный (и стехиометрический) NaCl , обработанный парами натрия при высоких температурах, станет голубым и начнет проводить электрический ток. Если NaCl обработать парами хлора, то он позеленеет и тоже станет проводником, но не за счет движения электронов, а за счет подвижных дырок. Выходит, что можно получать вещества с различными свойствами, не изменяя кристаллической структуры.

В зависимости от элементов, которые входят в состав соединений переменного состава, область их существования может быть широкой (монооксиды титана и железа) или, наоборот, крайне узкой (галогениды щелочных металлов, халькогениды цинка, свинца, кадмия). Если отклонения от стехиометрии невелики, то такой материал можно описывать как модель с точечными дефектами или внедренными атомами, не взаимодействующими друг с другом. Когда степень нестехиометрии возрастает, изменения, происходящие

в кристаллах, имеют другую природу (например, образуются ассоциаты). Подробным исследованием структуры таких соединений занимаются многие исследователи, но тут пока не все ясно.

Есть немало систем с так называемой бесконечно адаптируемой структурой. Они сохраняют свою структурную организацию при непрерывном изменении состава и без участия точечных дефектов. Способностью адаптироваться, как оказалось, обладают фазы переменного состава $\text{Y}(\text{OF})_{2,13-2,22}$ и твердые растворы $\text{TiO}_2(\text{Cr}_2\text{O}_3)$.

Все уже полученные знания в этой области можно применить к любым вновь созданным материалам: сверхпроводящим купратам, манганитам с колоссальным магнитным сопротивлением или цератам с высокой протонной проводимостью. Но каждый из них имеет собственную специфику и потому требует проведения собственных исследований нестехиометрии.

Именно среди таких соединений с переменным составом удалось найти сверхпроводящий материал, сохраняющий высокий уровень критических токов в сильных магнитных полях, — например, неодим-бариевый купрат $\text{Nd}_{1-x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_z$. А вот иттрий-бариевый купрат $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ со строгой катионной стехиометрией такими свойствами не обладает.

Элементы в аномальных степенях окисления

Идея создавать новые материалы на основе элементов в необычных степенях окисления пока кажется довольно странной. Очевидная причина — аномальная степень окисления равносильна нестабильному состоянию этого элемента. Получать подобные материалы можно только в том случае, когда такой необычный элемент существует достаточно долго. Но тем не менее исследования эти необычайно интересны.

Большой вклад в химию элементов, находящихся в аномальной степени окисления, внесли исследователи из Института физической химии РАН и химического факультета МГУ. Они получили Np^{VII} , Pu^{VII} , Am^{VII} , Cm^{VI} , Cm^{V} , серию актинидов и лантанидов в низших степенях окисления, показали возможность существования Tm^{IV} .

С точки зрения материаловеда, наиболее интересны «матричные» системы. Их получают кристаллизацией из раствора или расплава, соосаждением или твердофазным синтезом. Так удалось синтезировать матричные системы, содержащие $\text{Fe}(\text{IV})$, $\text{Fe}(\text{V})$, $\text{Fe}(\text{VI})$ и $\text{Co}(\text{VI})$. Возможен и другой путь синтеза — когда легирующий ион замещает металл в матрице, свойства которой определяют состояние окисления этого легирующего иона. Так, в пентаоксиде ванадия стабилизируется $\text{Fe}(\text{V})$, причем это необычное окислительное состояние возникает просто при растворении в расплаве пентаоксида ванадия оксида трехвалентного железа. Правда, реально получить $\text{Fe}(\text{V})$ удалось только после быстрой заковки образцов. Известны также соединения висмута в низших степенях окисления (Bi_5^{3+} , Bi_8^{5+} и Bi_9^{5+}) и никеля.

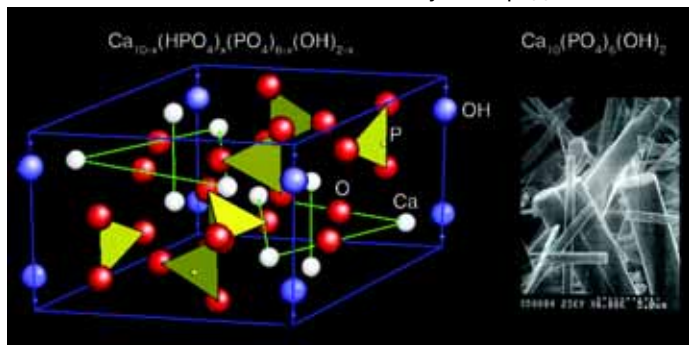
Со всеми подобными соединениями очень трудно работать, поскольку они малостабильны. Свойства их почти не изучены, и не очень понятна перспектива их применения.

Неорганические биоматериалы

У таких, казалось бы, прочных природных материалов, как костная и зубная ткани, тем не менее постоянно появляются проблемы. Кость, с точки зрения материаловеда, — это композиционный материал, состоящий из гидроксилатапата $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (63% вес.) и белка коллагена (20% вес.) (рис. 4). Кроме того, в кости есть заметные количества ионов Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , F^- , CO_3^{2-} . Что обеспечивает высокую прочность

кости, так до конца и непонятно. Поэтому даже самыми современными методами пока невозможно создать полный аналог костной ткани. Единственная альтернатива — имплантаты.

Когда требуется восстановить участки, подверженные серьезным циклическим нагрузкам (например, тазобедренный сустав), используют металлические сплавы на основе малотоксичного титана. В остальных случаях предпочитают более



4 Гидроксилатапатит

похожую по составу на кость керамику или композиты с фосфатом кальция. Современная тенденция — «регенерационный» подход, то есть создание и использование материалов, которые взаимодействуют с организмом и стимулируют восстановление ткани. Такие имплантаты невозможно создать без глубокого понимания физиологических процессов.

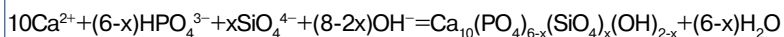
Считают, что важен не только химический состав, но и структура кристаллов гидроксилатапатита, поскольку это определяет отклик организма на чужеродный материал. С этой точки зрения идеально вещество, во всем подобное костному биоминералу. Этого добиться очень сложно, тем более в промышленных масштабах. Тем не менее химическое и структурное соответствие биоматериала костной ткани — один из основных принципов в этой области. Варьируя эти параметры, можно делать биоматериалы с заданной биоактивностью.

Синтез, модификация и исследование фосфатов кальция с заданным составом и микроморфологией, оценка их будущей биоактивности — большая и неординарная задача для химиков. Уже известно, как образуется и гидролизует гидроксилатапатит. Увеличить его биологическую активность можно двумя путями: уменьшить размеры кристаллов (благодаря чему увеличивается удельная поверхность) и изменить физико-химические характеристики поверхности, то есть хими-



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

чески ее модифицировать. При втором подходе возможно создать материалы, которые активно рассасывались бы при контакте с жидкостями организма. Перспективными считают карбонатсодержащий гидроксилатапатит $\text{Ca}_{10-0.5x}(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{CO}_3)_x(\text{OH})_2$, а также кремнийсодержащий гидроксилатапатит:

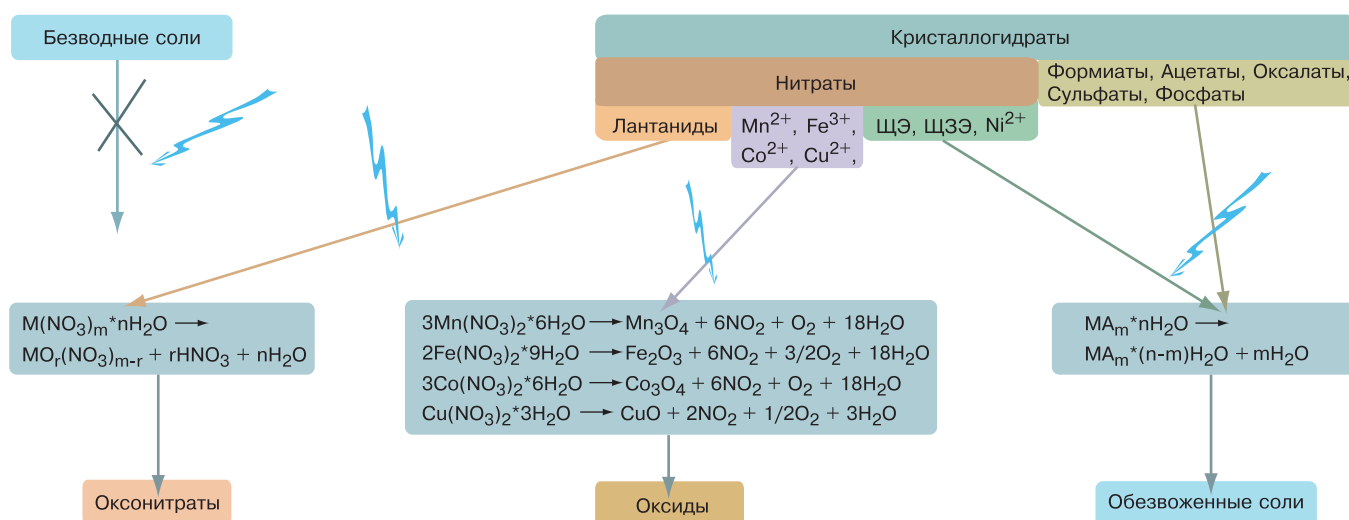


То, что после полувекового активного применения биоматериалов исследователи пытаются сделать такой, который бы стимулировал регенерацию костной ткани, означает, что пришло понимание исключительной сложности задачи. Применение того или иного материала зависит и от характеристики костного дефекта, и от конкретного клинического случая. Поэтому надо иметь целый спектр искусственных заменителей, чтобы можно было выбрать то, что подходит конкретному больному.

Синтез с помощью физических воздействий

Каков бы ни был механизм химических превращений, чтобы они начались, смесь надо активизировать. Самое простое — нагрев, эффективность которого можно оценить величиной энергии активации в уравнении Аррениуса. Однако эта величина (ее можно экспериментально определить как температурный коэффициент скорости реакции) имеет физический смысл только тогда, когда ее можно связать с определенным элементарным процессом, лимитирующим реакцию в рассматриваемом температурном диапазоне.

В реальных же синтезах материалов химическое взаимодействие складывается по меньшей мере из двух фундаментальных процессов — собственно химической реакции и





переноса вещества к реакционной зоне. Поскольку последний процесс зависит от диффузии, а в твердом теле подвижность составных частей определяется дефектностью его структуры, то в результате дефекты существенно влияют на условия твердофазного синтеза. А значит, скорость и направление химической реакции можно изменять с помощью различных физических воздействий (с нагревом или без). Нагрева как раз пытаются избежать, поскольку могут происходить нежелательные изменения.

Начнем с ультразвука. Его эффективность зависит от фазового состояния системы. Если это жидкость (растворы, расплавы), то после ультразвукового воздействия происходит кавитация, то есть возникновение, осцилляции и коллапс микропузырьков. В результате формируются короткоживущие «горячие зоны», с температурой до 5000K и давлением до 1000 атм. В некоторых случаях после схлопывания кавитационных пузырьков возникают интенсивные микропотоки жидкости и мощные локальные ударные волны, которые ускоряют массоперенос. Как следствие — разлагаются летучие соединения (карбонилы металлов), ускоряются окислительно-восстановительные реакции, образуются стабильные эмульсии и суспензии. Оказалось, что ультразвук очень эффективен в жидкофазных системах при проведении классических реакций неорганического синтеза, а также при получении нанопорошков металлов, оксидов и карбидов.

Если реакция идет в твердой фазе, то ультразвук увеличивает плотность дислокаций и эффективные коэффициенты диффузии, а также способствует новым межфазным контактам. Возможно даже, что изменится механизм реакции и снизится температура взаимодействия реагентов. Акустическая активация процессов в твердой фазе дала возможность синтезировать оксидные материалы, получить активные формы исходных реагентов, а иногда и направленно изменять конечные свойства продуктов.

В последние 10–12 лет исследователи предпринимали немало попыток микроволнового синтеза и спекания материалов. Но между тем физико-химическая природа происходящих при этом процессов так и осталась малоизученной. Микроволнами обрабатывали разнообразные оксиды, гидроокиси, соли или их смеси друг с другом, получая при этом самые разные материалы — ферриты, манганиты, кобальтиты, никелаты и купраты.

Согласно теории, для того чтобы микроволновое излучение взаимодействовало с веществом и последнее поглощало энергию, нужно, чтобы в нем были либо диполи, способные переориентироваться и вращаться под микроволновым воздействием, либо свободные носители зарядов, которые могут перемещаться при наложении микроволнового поля. Многие неорганические соли имеют низкую проводимость, а с другой стороны, у молекул воды в кристаллогидратах, а также у некоторых анионов есть значительный дипольный момент. Поэтому в большинстве солевых систем поглощение микроволнового излучения, вероятнее всего, связано с диполями.

Экспериментально известно, что соединения, не содер-

жащие химически связанной воды (карбонаты, нитраты, оксалаты щелочных и щелочно-земельных элементов), практически не поглощают микроволнового излучения. Напротив, кристаллогидраты неорганических солей взаимодействуют с микроволновым полем (рис. 5), причем то, как это происходит, зависит от химической природы катионов. В итоге — микроволновая обработка смеси солей довольно эффективна, поскольку после их разложения образуются высокодисперсные частицы оксидов, равномерно распределенные по реакционному объему, которые активно взаимодействуют друг с другом. Кроме того, при микроволновой обработке смеси не только увеличивается скорость реакции, но и понижается температура взаимодействия — это также наблюдали экспериментально.

Заключение

За последние два десятилетия неорганическая химия значительно изменилась благодаря тесному взаимодействию с физической химией, физикой твердого тела, органической химией, биохимией, а также применению современных инструментальных методов исследования. Необыкновенно расширился круг объектов неорганической химии. К ним теперь причисляют не только соединения, но и материалы, причем помимо неорганической составляющей они часто содержат органические, полимерные или биополимерные фрагменты.

Большинство объектов изучают на нескольких уровнях — кроме кристаллической или молекулярной структуры исследуют электронную и магнитную, структуру дефектов кристаллического строения, распределение микропримесей, структуру границ раздела в поликристаллических веществах, наноструктуру, структуру микро- и мезопор, поверхностей, а также влияние всех перечисленных уровней на свойства вещества. О каком кризисе можно говорить, когда перед химиками столь обширное поле деятельности?

То, что было упомянуто в статье, — далеко не все научные направления неорганической химии. Более того, здесь затронуты даже не все объекты, которые изучают на кафедре неорганической химии химического факультета и на факультете наук о материалах МГУ. Мы не рассказали о неорганических материалах для газовых сенсоров; барьерных материалах; люминесцентных нанокомпозитах на основе A^IVB^VI ; низкоразмерных структурах и сверхрешетках; новых поколений полупроводников и полупроводниковых гетероструктур; кислородпроводящих мембранах и твердых электролитах; материалах для литиевых источников тока; магнитных нанокомпозитах на основе стекломатриц; фотонных кристаллах; керамических пигментах на основе гидроксипатитов и многом другом, чем активно занимаются исследователи в МГУ и за его пределами.



SkQ, они же ионы Скулачева



В.П. Скулачев

О том, что академик В.П.Скулачев изобрел средство «против старения», российские СМИ пишут и говорят уже давно. Тон публикаций самый хвалебный, но что за средство — толком не объясняют, в лучшем случае сообщают, что его действие связано с кислородом и окислением. Чтобы внести хоть какую-то ясность в этот вопрос, «Химия и жизнь» предоставляет слово автору, который почти год назад писал для нас о биохимических средствах против старения, предложенных американским ученым Брюсом Эймсом. Эту статью, таким образом, можно рассматривать как продолжение темы — и всяма интересное продолжение.

Внимательное наблюдение за человеческой историей убеждает, что в самых разных ее областях порой разыгрываются если не идентичные, то очень похожие сценарии. Отсюда, кстати, периодически входящее в моду стремление «ниспровергателей» объявить древнюю историю переносом в прошлое недавних событий. Но интереснее другое: используя этот «принцип гомологии», можно попытаться прогнозировать развитие новых технологий, анализируя процессы, происходившие ранее в более развитых отраслях.

Наблюдая за развитием современной геронтологии, я не мог отделаться от мысли, что оно мне что-то напоминает. Что именно — я понял после того, как в марте этого года благодаря приглашению академика В.П.Скулачева смог принять участие в рабочем совещании компании «Митотехнология». На сове-

щании были подведены первые итоги испытаний ионов Скулачева — антиоксидантов нового поколения, призванных стать средством контроля многих кислородных патологий, в том числе и старения. Этот крупнейший отечественный биотехнологический проект, руководимый академиком В.П.Скулачевым, финансирует принадлежащая О.В.Дерипаске «Русско-Азиатская инвестиционная компания».

Главным философским итогом совещания (поверьте, уважаемые читатели, настоящая философия — это практичнейшая из наук, в отличие от разговоров о философии) стало для меня то, что развитие технологий борьбы со старостью практически точно повторяет историю освоения человеком воздушного пространства. Эту идею я попытаюсь проиллюстрировать схемой, но, чтобы понять, о чем идет речь, читателю желательно вспомнить мою статью о работах Брюса Эймса (см. «Химию и жизнь», 2006, № 6).

Итак, принципом первого этапа освоения воздушного пространства было пассивное следование за воздушными потоками. Достигалось это за счет использования ап-

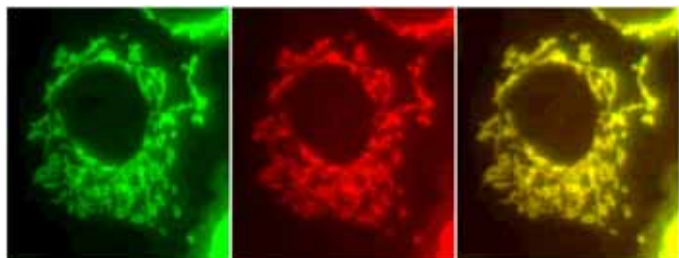
Подход	Пассивный	Пассивный с элементами активного	Активный
Освоение воздушного пространства	Воздушные шары — братья Монгольфье	Дирижабли — Ф. фон Цеппелин	Аэропланы — братья Райт
	1783	1900	1903
Контроль над старением	Современная гериатрия; пробиотики, витамины и т. д. — И. И. Мечников	Высокоэффективные смеси природных веществ — Б. Эймс	Ионы Скулачева — В. П. Скулачев
	1903	2002	2007
Технологии освоения воздушного пространства и контроля над старением развивались гомологично			

паратов легче воздуха. Большого практического значения такая технология не имела.

Геронтология с момента введения этого термина нашим великим соотечественником И.И.Мечниковым и до недавнего времени ставила своей задачей обеспечение «правильного старения», то есть реализации всех возможностей организма в рамках естественного процесса угасания. Средствами для этого стали пробиотики (культуры микроорганизмов, нормализующие микрофлору кишечника), витамины и природные биологически активные вещества, ограничение питания, физкультура и т. д. О практическом эффекте этого подхода писать не буду, чтобы не обижать многих достойных людей. Отмечу лишь, что стратегия эта, безусловно, относится к числу пассивных.

В конце XIX века появились двигатели внутреннего сгорания, легкие и прочные материалы для каркаса, резина. Возникла техническая возможность объединить старый принцип воздухоплавания с новым принципом активного полета. Реализовать эту очевидную, в общем, идею пытались разные изобретатели. Очевидную — поскольку любому здравомыслящему человеку в начале XX века было ясно, что воздушный шар с мотором и пропеллером в принципе должен летать. Но для того чтобы сконструировать «правильный» дирижабль с «правильными» мотором и винтом, понадобился талант графа Цепелина. Именно поэтому слова «цепелин» и «дирижабль» надолго стали синонимами.

В конце XX века прогресс в исследовании клеточной биохимии достиг уровня, позволяющего просчитывать последствия введения в обмен веществ дополнительных количеств тех или иных природных соединений. Это дало импульс множеству попыток улучшить жизнь человека, особенно в зрелом возрасте, при помощи больших количеств метаболитов. Достаточно вспомнить Лайнуса Поллинга с аскорбиновой кислотой, энтузиастов применения янтарной кислоты и глицина и т. д. Идея добавить в старый организм какие-то недостающие вещества и тем самым сделать его более «биохимически молодым» в общем-то тривиальна. Но практически реализовать ее, то есть получить наглядный, сильный и воспроизводимый эффект, впервые удалось американскому биохимику Брюсу Эймсу. Он и его коллеги подобрали пару веществ — ацетил-L-карнитин и липоевую кислоту, которые имитировали омолаживающий эффект голодания. Эти вещества, если принимать их в достаточно больших концентрациях, снимают накопившиеся за годы жизни последствия окислительного стресса. На уровне организма это проявилось в виде омоложения. А уже через два года после публикации научных статей в США поступило в продажу средство против старения, созданное на основе результатов Эймса (подробности на www.juvenon.com).



На левой микрофотографии изображен препарат клетки, митохондрии которой помечены специальным флуоресцирующим белком (зеленый цвет), на средней — тот же препарат, обработанный ионом Скулачева *SkQR1*, который флуоресцировал красным. Наложение изображений (справа) показывает, что *SkQR1* накапливается в митохондриях: чистого зеленого почти не видно. Почему это хорошо — узнаете из статьи



В верхней части фотографии — мышь из контроля, главная долгожительница в своей группе. Ее возраст, для мыши весьма пожилой, — 814 дней, и выглядит она не очень. Нижняя мышка того же возраста получала *SkQ*; 12 апреля 2007 ей исполнилось 849 дней. Различия видны невооруженным глазом

Но, как известно, цепелины не стали главным средством освоения воздушного океана. Более перспективным оказался иной, революционный для своего времени подход: создание летательных аппаратов тяжелее воздуха. Главное преимущество аэропланов перед дирижаблями — большая независимость от естественных процессов в атмосфере — связано с большей чужеродностью самолета для воздушной среды. Именно поэтому создание авиации было более сложной и драматичной задачей. Если цепелины сразу после постройки довольно сносно летали над Боденским озером, то первый полет биплана братьев Райт продолжался всего 59 секунд. Но именно с этого полета началась история самого эффективного средства освоения атмосферы.

Результаты первого рабочего совещания по проекту, о котором идет речь, убеждают (во всяком случае, убедили меня), что «ионы Скулачева» могут стать в геронтологии тем, чем стали аэропланы в истории авиации. Эти вещества, в отличие от выбранных Эймсом ацетил-L-карнитина и липоевой кислоты, не синтезируются в организме и в то же время вполне способны «летать» в безбрежном океане внутриклеточного обмена веществ и находить в нем дорогу к цели.

Далее я постараюсь рассказать об итогах совещания читателям «Химии и жизни», освещая в основном фундаментальные принципы дизайна и действия этих веществ, а не яркие внешние эффекты, уже не раз описанные коллегами-журналистами.

Старение и кислород

Существуют две главные теории старения. Сторонники одной из них считают старение результатом накопления множества мелких повреждений. Для краткости назовем ее теорией износа. Последователи другой считают, что старение — это реализация особой программы. При сопоставлении аргументов сторонников обеих теорий складывается впечатление, что большая часть разногласий связана с терминологией — люди по-разному понимают, что такое износ и что такое программа. Но поставим вопрос по-другому: находится ли старение под генетическим контролем?

На этот вопрос любому профессиональному биологу или медику придется ответить положительно. С одной стороны, есть генетическая болезнь прогерия — синдром преждевременного старения. Этот синдром наследуется так же, как и любой другой детерминированный генетически признак, например цвет глаз или выпяченная губа Габсбургов. А с другой стороны, есть мутации, которые значительно, в разы,

замедляют старение. Причем это обычные мутации — поломки определенных генов. Контроль генов над физиологическими признаками осуществляется без всякой мистики — при помощи синтеза определенных веществ. Поэтому, вводя вещества в клетку извне, можно имитировать эффекты действия генов, в том числе и замедление старения.

Согласно результатам исследований, одно только перечисление которых заняло бы, наверное, весь объем статьи, старение провоцируют активные формы кислорода. И для того чтобы понять, о чем пойдет речь дальше, желательно в самой общей форме представить, что это за частицы и откуда они берутся.

Без кислорода жизнь в ее наиболее организованных формах невозможна, поскольку бескислородные биоэнергетические процессы дают в десятки раз меньше энергии. На клеточном уровне дыхание обеспечивают специальные органеллы — митохондрии. Именно в них вся подходящая органика «сгорает» до углекислого газа и воды, а энергию сгорания сложная ферментная система преобразует в энергию АТФ.

Однако далеко не весь потребляемый митохондриями кислород идет на клеточные нужды. Около 2—5% его превращается в так называемые активные формы (АФК), или свободные радикалы кислорода. Радикалы имеют отличные от молекулярного кислорода характеристики электронных облаков. Упрощенно говоря, неспаренные электроны АФК более склонны к образованию химических связей. Эти суперактивные частицы способны окислять почти все, с чем контактируют. Когда грибы прорастают через древесину и та становится черной и трухлявой, они фактически прожигают ее свободными радикалами. Достаётся от АФК и белкам, и нуклеиновым кислотам, и липидам. Свободные радикалы окисляют азотистые основания ДНК, после чего те становятся неузнаваемыми для работающих с ними ферментов. В клетке происходит путаница. Учащаются ошибки при удвоении ДНК, а следовательно, растёт частота мутаций.

Действие АФК на мембраны запускает реакции перекисного окисления липидов, причем когда активированный кислород атакует одну молекулу, это вызывает цепную реакцию синтеза новых радикалов, которые, в свою очередь, поражают новые молекулы. С результатом этих реакций мы встречаемся, обнаруживая забытый в холодильнике кусок масла, покрытый желтым неаппетитным горьковатым слоем, — это и есть окисленные липиды. Собственно, когда мы замечаем отличия лица в зеркале от фотографии двадцатилетней давности, это тоже во многом результат перекисных процессов.

При окислении липидов, главной составной части мембран, образуется несколько вредных для клетки веществ. Они делают мембраны менее эластичными, мешают работе прикрепленных к ним ферментов, нарушают передачу сигналов и энергии. Одно из этих веществ называется малоновый диальдегид, или, сокращенно, МДА (хорошенько запомните это вещество — один из самых вредных продуктов окислительного стресса!). Он способен связываться со многими ферментами, делая их неактив-

Благодарим за предоставленные фотографии Б.В.Черняка (МГУ), профессора В.Н.Анисимова (НИИ онкологии им. Н.Н.Петрова, Санкт-Петербург) и профессора Г.М.Федоренко (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону)



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

ными, а также вызывать мутации и онкологические заболевания.

Больше всего достаётся от свободных радикалов кислорода митохондриям, и не только потому, что они главные потребители кислорода в клетке. Из-за своей супервысокой активности АФК живут очень недолго. Время существования большинства из них измеряется тысячными долями секунды, и свое вредоносное действие они проявляют неподалеку от места рождения, т.е. в митохондриях. Именно поэтому самые серьезные молекулярные проявления старения характерны для этих органелл. Например, частота мутаций в митохондриальной ДНК в несколько раз выше, чем в ядерной. Превышение некоего критического уровня окислительного повреждения митохондрий ведет к запуску генетической программы клеточной смерти — апоптоза.

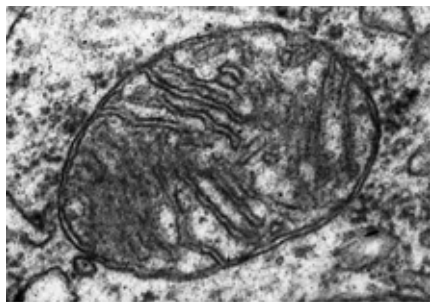
По мнению В.П.Скулачева, запрограммированная активация свободнорадикальных процессов, ведущая к гибели клеток, и есть основная причина старения целого организма. Для более точного обозначения этих процессов им был предложен специальный термин «феноптоз» — запрограммированная гибель организма, по аналогии с апоптозом — смертью клетки. (Тексты популярных статей В.П.Скулачева о кислороде и старении выложены на сайте <http://elementy.ru/lib/25551/25552>.)

В поисках инструмента

Если окисление биомолекул свободными радикалами кислорода — пусковой механизм старения, то, убирая эти частицы, его можно остановить. Еще в первой половине XX века химики умели синтезировать молекулы с заданными свойствами. Поэтому, когда роль АФК в кислородной патологии проявилась, быстро появились эффективные «перехватчики». Создание искусственных антиоксидантов стало одной из любимых игрушек химиков-синтетиков. За последние 20—30 лет появились как универсальные молекулы, взаимодействующие со всеми типами АФК, так и «миметики», имитирующие активность ферментов каталазы и супероксиддисмутазы (СОД) — ферментов, которые обезвреживают АФК, так что достаточная их активность теоретически могла бы решить проблему старения.

Синтетические антиоксиданты оказались замечательным инструментом для консервации липидов неживых объектов, например продуктов питания. Благодаря им удалось в несколько раз увеличить сроки хранения майонезов, спрэдов, шоколадок с арахисовой начинкой и т. д. (Специалисты в области пищевых технологий знают, что бактерии — не единственные враги свежести; если даже предотвратить рост микробов с помощью консервантов, вездесущий кислород превратит поверхность, а затем и весь объем незащищенного продукта в малоаппетитную прогорклую субстанцию.)

Вечный шоколадный батончик — это прекрасно, но вернемся к теме статьи — продлению жизни. К сожалению,



Электронная микрофотография митохондрии речного рака (хорошо видны две мембраны)

серьезных эффектов *in vivo* на живых организмах до сих пор получить не удалось. Выращивание нематоды (маленького червячка) со звучным названием *Caenorhabditis elegans* на среде с избытком СОД-миметика, маленькие молекулы которого свободно проникают в клетку, увеличивает продолжительность жизни на 50–60%, в то время как у той же нематоды есть мутации, дающие двукратное продление жизни, и примеров таких много. Что же мешает безвредным веществам, весьма эффективно защищающим от кислородной атаки майонез и маргарин, делать то же самое для клеток?

Причина, по-видимому, в том, что каждый организм настроен на определенный уровень окислительных процессов, который определяет множество жизненно важных свойств, в том числе и скорость старения. Ведь продолжительность жизни особей именно такая, какая нужна для процветания вида. Во всяком случае, это один из регуляторов плотности популяции, превышение которой чревато вспышками заболеваний и истощением кормовых ресурсов. Поэтому, когда мы вводим в живую систему «внешний» антиоксидант, клетки компенсируют это ослаблением своих внутренних защитных механизмов. Ситуация напоминает попытку дать ребенку горькое лекарство, которое всякий уважающий себя малыш старается выплюнуть. Хороший врач или заботливый родитель не будет кормить его насильно, вводя в еще больший стресс, а постарается обмануть, замаскировав лекарство чем-нибудь более аппетитным. И главным на сегодняшний день результатом проекта, выполняемого командой Скулачева, является то, что стало в общих чертах ясно, как «по-хорошему» накормить клетку антиоксидантами.

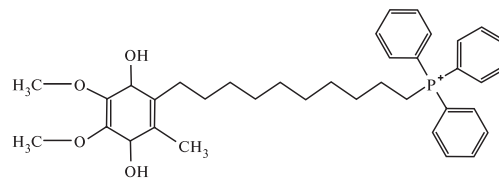
Ионы Скулачева — молекулярный спецназ

Работа дыхательной цепи митохондрий создает на их поверхности положительный заряд. Такой же заряд есть и на внешней поверхности клетки. Мембраны клеток и митохондрий представляют собой липидные пленки с вкрапленными в них «белковыми островами». Липиды, как известно, гидрофобны, поэтому положительно заряженные водорастворимые ионы хотя и стремятся внутрь клетки или митохондрии, но сделать это могут лишь в том случае, если клетка предоставит для этого специальный канал, обычно похожий на скрученную в трубочку белковую молекулу.

Идея, высказанная В.П.Скулачевым еще в 60-е годы, состояла в том, что гидрофобные (то есть имеющие сходство к липидам) положительно заряженные ионы (катионы) будут накапливаться сначала внутри клетки, а затем внутри митохондрии, независимо от «желания» клетки. Разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностью внутренней мембраны митохондрии (напомним, что митохондрия — двухслойный мембранный мешочек) примерно в три раза выше, чем разность потенциалов на клеточной поверхности. Поэтому гидрофобные катионы будут стремиться в митохондрии, проходя через цитоплазму транзитом.

Эта идея была вскоре подтверждена экспериментами, и такие конструкции стали называть «ионами Скулачева». Главное полезное свойство этих ионов — способность быть электровозами, то есть доставлять внутрь митохондрии разнообразные молекулярные грузы. К органическому катиону, например трифенилфосфоню, при помощи линкера присоединяется какая-либо структура, которую нужно доставить внутрь митохондрии. Эта структура также должна быть гидрофобной. Если грузом будет краситель, то накопление всей конструкции в мито-

хондриях можно будет легко проконтролировать под микроскопом. Собственно, эти наблюдения и стали подтверждением как работоспособности ионов Скулачева, так и правоты хемиосмотической теории Митчелла (согласно этой теории, источником энергии для синтеза митохондриями АТФ служит ток протонов между внешней и внутренней сторонами внутренней мембраны митохондрии; избыток протонов на внешней стороне и создает положительный заряд). Интересно, что по принципу иона Скулачева работает и карнитин, образующийся в организме из ацетил-L-карнитина, одного из компонентов ле-



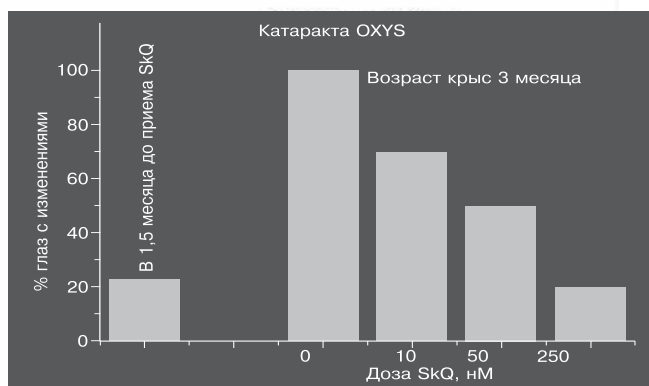
карства от старости, созданного Брюсом Эймсом. Этот органический катион протаскивает внутрь митохондрии остатки жирных кислот.

Нагрузить ион Скулачева антиоксидантом впервые предложили английский ученый Майкл Мерфи и его коллеги. Свою созданную в 2001 году конструкцию они назвали MitoQ (см. формулу). В данном случае к катиону прикреплен убихинон. MitoQ, который, как и положено веществу с такой структурой, хорошо накапливается в митохондриях. Его концентрация в матриксе этих органелл может быть в 10000 раз выше, чем во внеклеточном пространстве. Однако физиологически значимого антиоксидантного эффекта *in vivo* при помощи MitoQ до сих пор получить не удалось. Малые концентрации этого вещества неактивны, а большие токсичны. Продолжая аналогию с развитием авиации, MitoQ можно сравнить с самолетом Можайского. Наш талантливый соотечественник еще в 1885 году построил самолет с вполне приличной аэродинамикой. К сожалению, в качестве двигателя он был вынужден использовать паровую машину, что обрекло проект на неудачу.

«Паровая машина» конструкции, созданной Мерфи, — убихинон, который в определенных условиях из протектора легко превращается в прооксидант. Уже в начале XXI века В.П.Скулачев и его коллеги предложили несколько более эффективных заменителей убихинона. Получившийся в итоге класс молекул по рекомендации патентоведов было решено назвать SkQ, а отдельных представителей класса обозначать номерами.

К сожалению, до публикации результатов в научной печати я лишен возможности познакомить читателей «Химии и жизни» с формулами SkQ. Могу лишь сказать, что максимальные неактивные и минимальные токсичные концентрации веществ этой серии различаются примерно в тысячу раз. Другими словами, диапазон антиоксидантных концентраций SkQ значительно шире, чем у MitoQ, а это дает гораздо большую свободу в поиске благотворных физиологических эффектов.

Механизм действия SkQ можно сравнить с антитеррористической тактикой специальных подразделений. В отличие от линейных частей, спецназовцы обучены передвигаться незаметно, небольшими группами, не тревожа без крайней нужды местное население, чтобы потом неожиданно сосредоточиться непосредственно в очаге терроризма. Так и SkQ, незаметно для клеточного метаболизма проходя через цитоплазму, концентрируются в митохондриях, где находятся основные очаги генерации свободных радикалов. Именно поэтому они действуют в нано- и фемтомольных концентрациях: на самом



Результаты опытов по предотвращению SkQ старческой катаракты крыс. Ученые использовали специальную линию (породу) крыс — OXYS, у которой значительно ослаблена антиоксидантная защита. Уже в три месяца у большинства этих крыс начинается старческая катаракта, однако введение SkQ в оптимальной дозе позволяет полностью остановить ее развитие. (Материалы предоставлены профессором Н.Г. Колосовой из Института цитологии и генетики СО РАН)

деле такие концентрации получаются в пересчете на весь объем клетки, а в матриксе митохондрий создается действующая микромолярная концентрация.

От теории к практике

Проекту компании «Митотехнология», главная цель которого состоит во внедрении ионов Скулачева в практику, всего два года. Начинался он с разработки методов синтеза и очистки SkQ, его количественного определения, оценки стабильности в разных растворителях. Поэтому на сегодня наиболее полно проведены исследования на клеточных и бесклеточных моделях. В этих опытах показано, что самые перспективные конструкции исправно пересекают различные мембраны, накапливаются в митохондриях, перехватывают образующиеся как в мембранах, так и в воде АФК, подавляют образование митохондриями перекиси водорода, образование МДА и останавливают начинающиеся в клетке процессы апоптоза.

Получены первые данные на животных. Нужно отметить, что руководству проекта удалось привлечь к его реализации лучших специалистов в самых разных областях экспериментальной биологии. Даже просто перечислить их всех в небольшой статье невозможно. Поэтому, несколько не умаляя вклада других ученых, скажу лишь, что опыты по влиянию SkQ на продолжительность жизни мышей проводятся под личным контролем президента Международной ассоциации геронтологии и гериатрии, главного редактора журнала «Успехи геронтологии», профессора В.Н. Анисимова. Эксперименты выполняются с соблюдением всех международно признанных правил геронтологических исследований. Количественные итоги таких опытов подводят только после смерти последней мышки. Последние контрольные животные, не получавшие препарата, скончались еще в начале года. Некоторые из опытных животных живы до сих пор (я пишу эти строки в конце марта). Но пока не доживут до своего естественного конца последние участники последней серии опытов, результаты по продолжительности жизни профессор Анисимов считает предварительными. Тем не менее качественный эффект продления молодости (уже сейчас осторожно можно говорить о более чем двукратном эффекте), то есть состояния, когда жизнестойкость максимальна, а вероятность смерти от естественных



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

причин минимальна, стабильно регистрируется во всех опытах. По-видимому, особенность SkQ по сравнению с другими геропротекторами состоит в том, что он продлевает молодость, а не растягивает старость.

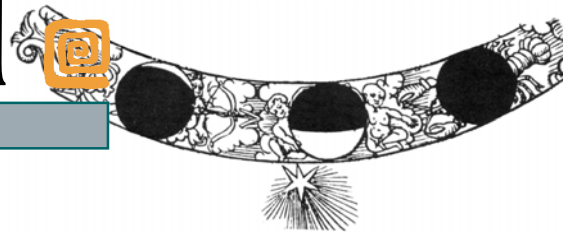
Впечатляющие результаты получены при лечении у животных старческих заболеваний зрения. Одна из таких болезней, макулярная дистрофия сетчатки, оказалась особенно «отзывчивой» на введение капель с SkQ. Ветеринары отметили улучшение зрения у 80% животных, а из 56 полностью слепых собак, кошек и лошадей 46 частично прозрели. В числе последних и прославленный коллегами-журналистами мерин Машук, который как раз и страдал от макулярной дистрофии. О его выздоровлении написал даже журнал «Эксперт». Есть положительные результаты и при лечении других старческих недугов: катаркте, нарушениях иммунного ответа, возрастной утрате регулярных циклов у самок и полового влечения у самцов, инволюции тимуса, остеопорозе, поседении и облысении, а также при определенных типах рака.

Ионы Скулачева улучшают и характеристики, связанные с высшими когнитивными функциями, такими, как память, обучаемость и т. д., хотя эффектов, полученных для этих показателей Эймсом, пока достичь не удалось. Возможно, это связано с неудачным выбором исследованных доз или с неизвестными пока эффектами метаболитов SkQ. Напомню, однако, что биплан братьев Райт в 1903 году пролетел всего 260 метров. Тем не менее именно этот полет считается рождением авиации. И это, безусловно, справедливо, поскольку сама возможность полета крупных аппаратов тяжелее воздуха (более чудеродных для воздушной стихии, чем дирижабли) до того была далеко не очевидной. Братья Райт указали путь целой армии ученых и инженеров, создавших авиацию, и уже через 12 лет после их первого полета «нюпоры» и «спады» очистили небо Европы от цеппелинов.

Антиоксиданты, созданные на основе ионов Скулачева, сконструированы как средство «внешнего» управления клеточным метаболизмом. Их дизайн определяет невиданную ранее эффективность действия. Все результаты, о которых говорилось выше, получены для доз, измеряемых наномолями на килограмм веса животного: улучшение зрения у стареющей собаки вызывает количество вещества, которое весит меньше, чем зубчик почтовой марки. Для всех известных на сегодняшний день природных и синтетических антиоксидантов, да и для большинства лекарств, эти дозы относятся к подпороговым (недействующим).

В общем, похоже, что, если технологии применения ионов Скулачева будут развиваться хотя бы в половину так же стремительно, как авиация, к середине XXI века старость станет делом свободного выбора.





АСТРОФИЗИКА

Луна-детектор

Уникальный проект разрабатывают сотрудники Физического института им. Лебедева РАН с коллегами из НПО им. С.А.Лавочкина и НИИ ядерной физики МГУ им. М.В.Ломоносова. Называется проект ЛОРД – Лунный орбитальный радиодетектор. Его основная задача – регистрация космических лучей и нейтрино ультравысоких (более 1020 эВ) энергий. Тех самых неуловимых частиц, поток которых настолько мал, что составляет одну частицу на квадратный километр, причем раз в столетие (tsarev@x4u.lebedev.ru).

Помимо решения этой, чрезвычайно важной для физиков и астрофизиков задачи авторы планируют изучить сейсмическую активность Луны, исследовать окололунную плазму, а также провести мониторинг потоков космической пыли и микрометеоритов, которые сталкиваются с лунной поверхностью. Эти исследования имеют большее практическое значение. Ведь Луна – это весьма вероятный и, уж во всяком случае, самый близкий космический объект для потенциальной колонизации землянами. А колонистам необходимо будет знать, чем вызвана сейсмическая активность Луны, как часто обрушиваются на ее поверхность потоки космической пыли и микрометеоритов и многое другое, что поможет выяснить эксперимент ЛОРД.

Для решения всех этих задач авторы предполагают использовать один и тот же метод – регистрацию электромагнитного излучения в различных частотных диапазонах. Ловить многочисленные радиосигналы станет комплекс специальных антенн, расположенных на окололунном спутнике. Там же, на спутнике, информация будет оцифрована, а затем отправлена на Землю, где ее запишут и проанализируют.

Каким образом один метод исследования сможет ответить на столь разные вопросы? Об этом рассказывает один из участников проекта, доктор физико-математических наук, заведующий отделом космических излучений

ФИАНа В.Царев. «Что касается частиц ультравысоких энергий, а это, может быть, самая захватывающая часть проекта, то регистрировать их мы будем по очень кратковременным, наносекундным радиоимпульсам, которые они генерируют, врезаясь в лунный грунт. Здесь они рожают целый ливень вторичных частиц, содержащих миллиарды электронов и позитронов. Вот этот-то ливень и испускает радиоимпульсы.

Разумеется, зафиксировать такие короткие сигналы нелегко, и еще сложнее выделить их из общего фона электромагнитного излучения, как естественного, так и техногенного, уходящего в космическое пространство с Земли. Мы полагаем, что наиболее информативным будет «прослушивание» обратной стороны Луны – чтобы не мешал радиосум Земли. Аппаратуре, которую мы планируем разместить на спутнике, а также приборам на Земле это будет по силам.

Кстати, на Земле зарегистрировать частицы ультравысоких энергий гораздо сложнее. Искусственно получить их, скажем на ускорителе, при современном уровне развития науки и техники просто невозможно, а ловить... Пытаются, строят гигантские наземные детекторы с площадью в несколько тысяч квадратных километров, но пока за 40 лет экспериментов в этой области удалось зарегистрировать всего лишь около 20 частиц. Так почему не использовать в качестве детектора Луну? Площадь огромная, атмосферы нет, от Земли с ее шумами далеко – здесь шансы как раз очень высоки.

А с таким детектором мы ожидаем, что число зарегистрированных за год частиц космических лучей с энергией 1020 эВ будет более тысячи. Ожидаемое число нейтрино высоких энергий в нашем проекте – около 40 в год, в то время как в «Auger Observatory» в Аргентине, занимающей площадь 3000 квадратных километров, можно надеяться зарегистрировать всего одно такое нейтрино в год. Кроме того, эксперимент ЛОРД даст возможность проверить различные модели источников частиц ультравысоких энергий и позволит ответить на некоторые важные вопросы астрофизики.

Что касается мониторинга сейсмической активности Луны, а также по-

токов пыли и микрометеоритов, то в первом случае мы будем регистрировать электромагнитное излучение, которое возникает в породе при колебаниях грунта и образовании трещин. Подобные эксперименты, проведенные на Земле, доказывают, что это возможно. Что касается частиц пыли и мельчайших метеоритов, то здесь принцип тот же, что и с частицами высоких энергий, только параметры радиоизлучения будут другими».

Конечно, пока этот эксперимент находится в стадии разработки. По-видимому, он войдет как составляющая в большую программу «Луна-Глоб», направленную на детальное изучение и освоение Луны и создание элементов лунной базы. Но это более отдаленные планы, работа над которыми тем не менее начинается уже сейчас. А вот первым этапом, возможно, как раз и будет выведенный на окололунную орбиту спутник с аппаратурой, разработанной фиановцами.

БИОХИМИЯ

Закон постоянства селена в яйце

Содержание селена в съедобной части яйца одинаково у разных видов птиц. Обнаружившие эту закономерность специалисты ГУ НИИ питания РАМН и компании «Оллтек» предполагают, что постоянство содержания селена в комплексе «белок + желток» необходимо для нормального развития эмбриона в любом яйце.

Работа, приведшая к такому интересному теоретическому результату, изначально преследовала сугубо практическую цель – определить оптимальную долю микроэлемента селена в кормах разных видов птиц. А для этого ученым пришлось выяснять, сколько селена содержится в яйце. Селен необходим для нормальной работы нескольких ферментов, предохраняющих организм от разрушительного действия перекиси водорода. Не-



хватка селена пагубно сказывается на работе сердечно-сосудистой системы, а в избыточных количествах этот элемент токсичен. Оптимальное содержание селена в яйцах важно и для будущей птицы, и для человека, который эту птицу или яйцо будет есть.

Сейчас в неволе разводят самых разных птиц: кур, гусей, перепелов, голубей, уток, цесарок, фазанов, индеек и даже страусов. Яйца всех этих птиц и стали объектом исследования. Яйца разделяли на белок, желток, скорлупу и подскорлупную оболочку и флуорометрически определяли содержание селена в каждой пробе. Сами несушки получали корма с примерно одинаковым содержанием селена, без специальных пищевых добавок.

С большим удивлением ученые отметили высокое содержание селена в скорлупе и подскорлупной оболочке страусиных яиц. Оно во много раз превышает этот показатель у птиц других видов. Правда, только у страуса селена в скорлупе много больше, чем в белке и желтке. Зачем страусу столько селена, исследователи сказать пока не могут.

Более интересно другое наблюдение. Ученые обнаружили взаимосвязь между суммарным содержанием микроэлемента в белке и желтке и их общей массой. При условии, что птиц не перекармливают селеном, содержание этого микроэлемента постоянно в очищенном яйце птицы любого вида (в опытах московских ученых оно составило 38,7 мкг на 100 г съедобной части яйца). Однако это еще не все. Исследователи добыли в Московском зоопарке три яйца ужа и обнаружили в них такое же соотношение. Ученые предположили, что содержание селена в белке и желтке постоянно не только для птиц, но и для всех яйцекладущих – змей, черепах и других. Если эта гипотеза подтвердится,

то постоянство содержания микроэлемента в комплексе «белок+желток» можно будет считать единым требованием для развития эмбриона любого яйцекладущего существа.



БИОТЕХНОЛОГИИ

Российские биоразрушаемые полимеры

В 2005 году российские специалисты создали на базе Института биофизики СО РАН первое в России Опытное производство биоразрушаемых полимеров. Сейчас ученые испытывают новую технологию, имея в виду переход на промышленное производство. Помимо сотрудников Института биофизики, в работе принимали участие специалисты Сибирского государственного технологического университета МО РФ (Красноярск), московского ОАО «Биохиммаш» и Красноярского государственного университета (volova45@mail.ru).

Материалы, о которых идет речь, представляют собой полимеры оксипроизводных жирных кислот (полигидроксиалканоаты, ПГА) – биосовместимые и биodeградируемые материалы микробного происхождения. Технологию синтеза, выделения и очистки ПГА разработали в Институте биофизики СО РАН. Полимер синтезируют бактерии *Ralstonia eutropha*. Замечательно, что для производства ПГА они могут использовать разные субстраты: смеси водорода и углекислоты, синтез-газ, который получают из углей и лигнина, конвертированный газ, фруктозу, глюкозу, ацетат или глицерин. Бактерии выращивают на питательной среде, затем их суспензию концентрируют до пастообразного состояния и из этой массы выделяют полимер, который подлежит очистке. Технология позволяет извлечь из биомассы бактерий до 90% произведенного ими полимера. Химическая чистота продукта составляет 98%, а его повторное растворение и осаждение позволяет получить полимер 100%-ной чистоты. Судя по деятельности Опытного производства, получение ПГА можно поставить на промышленную основу. Его массовое производство будет эффективно и рентабельно.

Для чего нужен ПГА? Пока материал нашел применение в медицине и биологии. Красноярские ученые научились получать из полимера пленки, шовные нити, микрочастицы и пористые матриксы. Из высокоочищенного полимера можно делать матриксы для

функционирующих клеток, системы депонирования лекарственных препаратов, биосовместимые покрытия внутрисосудистых стентов. (Стенты, цилиндрики из металлической сетки, вставляют в сосуд с поврежденной внутренней стенкой, чтобы избежать ее разрушения, образования тромбов или сужения сосудов.) Кроме того, ПГА используют для направленной регенерации костных тканей в ортопедии и стоматологии. Из полимера делают каркас, на который нарастают клетки новой ткани, а когда процесс завершится, рассосется и ненужный более полимер. Изделия из высокоочищенного ПГА выдерживают контакт с кровью, не провоцируют образования тромбов и почти не вызывают воспалительной реакции. Ученые провели все необходимые исследования, включая острые и хронические эксперименты на лабораторных животных, и убедились, что ПГА биосовместимы с клетками, тканями и организмом в целом. Поскольку ПГА практически не вызывают иммунных реакций, на них возлагают большие надежды хирурги, которые планируют использовать этот материал для искусственных клапанов и ангиопластики (замены и ремонта сосудов).



Попытка использовать ПГА для изготовления биоразрушаемой упаковки пока успехом не увенчалась. В природных условиях полимер разлагается слишком медленно, причем скорость разрушения сильно зависит от окружающих условий. Люди успеют накидать горы мусора, прежде чем разложится хотя бы одна бутылка, сделанная из ПГА. Очевидно, пока придется ограничиться использованием полимера для более деликатных целей.





В поисках истины

Мы продолжаем публикацию высказываний ярких исследователей на заданную тему. Тема сегодняшнего разговора — как наука ищет истину, что такое научный метод, есть ли абсолютная истина, что такое парадигма в науке и какова роль гипотезы в познании. Наши «собеседники» — блистательный Леонардо да Винчи, крупный физик-теоретик А.Б.Мигдал, математик и философ В.В.Налимов и знаменитый биохимик Эрвин Чаргафф. Все они уже покинули этот мир. Но, вспоминая и цитируя их, мы продлеваем им земную жизнь.

Леонардо да Винчи: «Опыт никогда не ошибается»

Мне кажется, что пусты и полны заблуждений те науки, которые не порождены опытом, отцом всякой достоверности, и не завершаются в наглядном опыте, то есть те науки, начало, середина или конец которых не проходят ни через одно из пяти чувств. И если мы подвергаем сомнению достоверность всякой ощущаемой вещи, тем более должны мы подвергать сомнению то, что восстает против ощущений, каковы, например, вопросы о сущности бога и души и тому подобные, по поводу которых спорят и сражаются. И поистине всегда там, где недостает разумных доводов, там их заменяет крик, чего не случается с вещами достоверными. Вот почему мы скажем, что там, где

кричат, там истинной науки нет, ибо истина имеет одно-единственное решение, и, когда оно оглашено, спор прекращается навсегда. И если спор возникает снова и снова, то эта наука — лживая и путаная, а не возродившаяся [на новой основе] достоверность.

Истинные науки — те, которые опыт заставил пройти сквозь ощущения и





быть поспешными и, ожидая от опыта в суетных и вздорных желаниях вещей, которые не в его власти, говорить, что он обманчив! Несправедливо жалуются люди на неповинный опыт, часто виня его в обманчивых и лживых показаниях! Природа полна бесчисленных причин, которые никогда не были в опыте.

Ни одно человеческое исследование не может казаться истинной наукой, если оно не прошло через математические доказательства. И если ты скажешь, что науки, начинающиеся и кончающиеся в мысли, обладают истиной, то в этом нельзя с тобой согласиться, а следует отвергнуть это по многим причинам, и прежде всего потому, что в таких чисто мысленных рассуждениях не участвует опыт, без которого нет никакой достоверности.

А.Б.Мигдал:

«Единственный убедительный способ установить истину – поставить научный эксперимент»

Научный подход начинается с того, что устанавливаются границы области, которая включает достижения науки, не вызывающие сомнения, и границы области невозможного, то есть того, что противоречит многократному и многолетнему научному опыту. Между этими границами находится область неизученных, но возможных явлений.

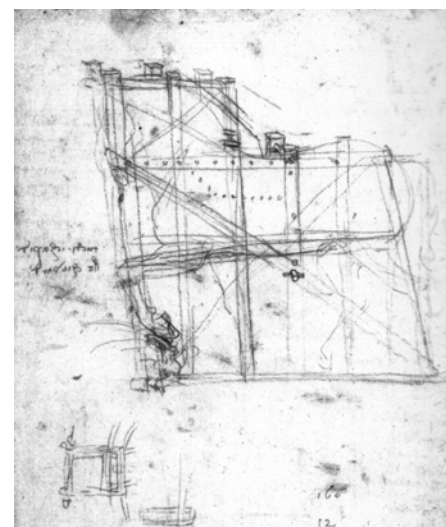
Например, можно с уверенностью сказать, что никакое дальнейшее развитие науки не заставит нас усомниться в том, что Земля круглая, или поверить в существование вечного двигателя, то есть в возможность грубого нарушения закона сохранения энергии.

Отличие между научным и житейским подходом особенно отчетливо проявляется при проведении границ достоверного и невозможного. <...>

Естественно, возникает вопрос: «А знает ли сама наука, где лежат эти границы? Не сможет ли произойти такая революция, которая перевер-

нет все наши представления?» Из истории и логики развития науки следует, что такой переворот невозможен. <...> Мы твердо знаем, что дальнейшее развитие науки не отменит установленных соотношений, а только выяснит область их применимости. Именно эта стабильность достижений науки и позволяет разграничить области достоверного и невозможного. <...>

Но как отличить домыслы от дей-



ствительных фактов? Ведь многое из того, что ученые отрицают, подтверждается очевидцами.

Единственный убедительный способ установить истину – поставить научный эксперимент, то есть эксперимент, проведенный специалистами, дающий повторяющиеся результаты и подтвержденный независимыми опытами других исследователей. Что же касается очевидцев, то к их показаниям нужно относиться крайне осторожно. Вспомним, что в XIX веке, пользуясь показаниями очевидцев, можно было бы составить точные словесные портреты чертей разного ранга, которые могли бы удовлетворить самого требовательного сотрудника уголовного розыска.

Есть очень короткий рассказ: «Привидений не бывает», – сказал один. «Вы думаете?» – спросил другой и

наложил молчание на языки спорщиков. Истинная наука не питает сновидениями своих исследователей, но всегда от первых истинных и доступных познанию начал постепенно продвигается к цели при помощи истинных заключений, как это явствует из первых математических наук, называемых арифметикой и геометрией, то есть числа и меры. Эти науки с высшей достоверностью трактуют о величинах прерывных и непрерывных.

Опыт никогда не ошибается, ошибаются только суждения ваши, которые ждут от него вещей, не находящихся в его власти. Несправедливо люди жалуются на опыт, с величайшими упреками виня его в обманчивости. Оставьте его в покое и обратите свои жалобы на собственное невежество, которое заставляет вас

исчез». Разумеется, такое странное событие не убедит ученого, поскольку оно противоречит многократному научному опыту. Неизмеримо правдоподобнее предположить здесь обман зрения или гипноз. <...>

Подобно тому как юристы исходят из презумпции невиновности, так и наука исходит из презумпции отсутствия чуда. Мы не обязаны доказывать, что нет странных или необычных явлений. Доказать нужно, что они существуют. Поэтому, пока категорически не исключены все естественные, то есть более правдоподобные, объяснения, не следует принимать менее правдоподобные. Очень хорошо об этом сказал замечательный американский физик Фейнман: «На основании своих представлений об окружающем мире я считаю, что сообщения о летающих тарелках являются скорее результатом известной мне иррациональности мышления жителей нашей планеты, чем результатом рациональных усилий мыслящих существ с других планет. Первое из предположений гораздо более правдоподобно».

Задача науки – отбирать наиболее правдоподобные объяснения и придерживаться их до тех пор, пока опыт не заставит от этого отказаться. Это не означает, что следует запретить попытки обнаружить неправдоподобные явления. Фейнман говорил: «Один из верных способов остановить прогресс науки – это разрешить эксперименты лишь в тех областях, где законы уже открыты». <...>

Я был бы очень рад, если бы серьезные экспериментаторы непредвзято изучали явления такого рода, как телепатия. Можно сомневаться или же не верить, что они обнаружат телепатию, но несомненно, что они откроют много других интересных явлений. <...> Открытие возникает только как побочный продукт глубокого исследования.

В науке давно уже принято очень простое и убедительное предположение, что процессы, происходящие в живой природе, определяются в конечном счете законами взаимодействия электронов, атомов и молекул, установленными в физических экспериментах. До сих пор эта гипотеза подтверждалась. Более того, она оказалась настолько плодотворной, что привела к объяснению даже такого таинственного явления, как наследственность.

Но нам придется от этой гипотезы отказаться, если убедительные эксперименты докажут нам, что в живой природе есть процессы, не сводящи-

еся к физическим законам. Например, если будет обнаружено поле, не проявляющееся в физическом эксперименте. Однако раньше, чем прийти к такому важному заключению, как существование нефизических полей, передающих информацию, следует со всей возможной убедительностью установить само явление, исключив все более простые объяснения. <...>

Имеется много профессиональных приемов, общих для всех точных наук. Есть методы, дающие возможность проверить ошибочность идеи еще до начала работы. Существуют способы разбить трудную задачу на более легкие, которые сравнительно просто решать. Задача максимально упрощается. После того как решена упрощенная задача, легче решать сложную. И очень важно обсуждать работу со специалистами на всех стадиях, от первой догадки до полного завершения.

В.В.Налимов:

«Парадигма защищает науку от проникновения в нее сорняков»



Наука – каждый этап ее развития – задается определенным набором разрешенных вопросов. Вместе с тем можно назвать немало безусловно запрещенных, хотя логически правомерных вопросов. К примеру, в науке запрещены вопросы такого рода, как: «Откуда произошел закон Ома?», «Зачем существует закон Ома?», или еще более сильные вопросы: «Как, почему и зачем произошли законы природы?», «Зачем существует мир?»

Иногда наука как бы опережает себя и дает ответы на еще не поставленные вопросы, и тогда эти ответы оказываются ненужными. Мендель дал ответ на вопрос, который в то время еще не был задан, –

не потому ли он так долго оставался без отклика?

Оглядываясь назад, мы убеждаемся, что развитие науки можно рассматривать как последовательность ответов на ряд глубоких вопросов. <...> Наличие глубоких вопросов, отчетливо сформулированных или хотя бы подразумеваемых, – это признак, характеризующий всякую систему, целенаправленно обогащающуюся новой информацией. Мой отец, этнограф, рассказывал мне, как великолепно ориентировались северные крестьяне-охотники во всем, что можно было видеть в природе. Но они наблюдали, не задавая вопросов. И в этом смысле их познания не были научными, хотя знали они, несомненно, многое. Они не задавали вопросов просто потому, что у них не было гипотез, а без гипотез невозможно ожидать от природы глубоких ответов.

Мы ничего не знаем о том, как выдвигаются гипотезы в науке. <...> Модели, к которым мы сейчас так привыкли в науке, можно получить только из предпосылок, но не непосредственно из результатов опыта. Этот несколько неожиданный тезис детально рассмотрел Карл Поппер – австрийский теоретик науки, живущий в Англии; вслед за ним мы должны признать первую особенность или, если хотите, первый парадокс в развитии науки: творческая составляющая науки – процесс выдвижения новых гипотез – не обладает какими-то особыми чертами, присущими только науке. Во всяком случае, мы не можем отличить его от мифотворчества.

Это очень важное утверждение. Из него следует, что в момент, когда гипотеза выдвигается, не нужно слишком заботиться о ее обосновании – важнее, говоря словами Бертрана Рассела, поверить в нее из каких-то интуитивных, то есть попросту необъяснимых, побуждений. Только последующая теоретическая или экспериментальная разработка сможет дать серьезные данные для такого обоснования.



Никакая гипотеза не может быть окончательно удостоверена при ее экспериментальной проверке. Единственное, что можно сделать, — это показать, что гипотеза не опровергается результатами наблюдений. Но одни и те же наблюдения могут не противоречить не только облюбленной нами гипотезе, но и множеству других, еще не сформулированных гипотез. Поэтому, как говорит Поппер, приходится констатировать довольно неприятную асимметрию: ни один благоприятный для нашей гипотезы эксперимент не может служить достаточным основанием для ее безусловного признания, но одного отрицательного эксперимента достаточно, чтобы ее отбросить. Гипотезы всегда открыты для дальнейшей проверки, и в этом залог прогресса естественных наук. <...> Говоря кратко, гипотезы не могут быть верифицируемы — они могут быть только нефальсифицируемы; это второй парадокс науки. <...>

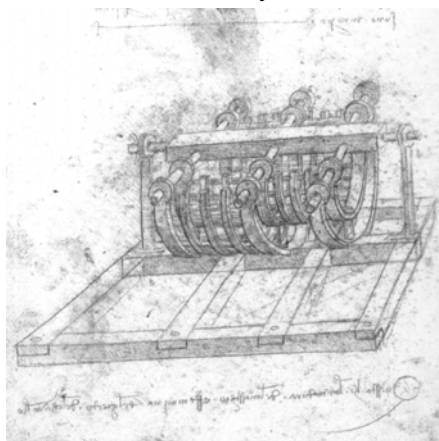
Как же все-таки принимается или опровергается гипотеза? Приходится думать, что кроме опровержения гипотез в науке существуют другие механизмы, которые и производят стабилизирующий отбор. <...> Термин «парадигма в науке» <...> означает некоторую систему общепринятых представлений; мы бы сказали так: парадигма есть некое интеллектуальное поле — размытое поле аксиом, определяющих, что есть научное в науке. Парадигма защищает науку от проникновения в нее сорняков. <...>

Парадигма играет двоякую роль: положительную — позволяя ученым сосредоточить свои усилия в некотором четко заданном направлении, и отрицательную — когда она изживает себя и начинает тормозить появление новых идей. Новые — «безумные», по выражению Бора, гипотезы в момент их возникновения трудно отличить от сорняков. <...>

Мы должны отдавать себе отчет в том, что наука устроена так, что сегодня научным становится то, что вчера было ненаучным. <...> Ибо зна-

ния человечества не суммируются с ростом науки, как, скажем, копятся книги в библиотеке или экспонаты в музее. В процессе развития науки в ней разрушается нечто самое существенное, включая ее язык.

Эрвин Чаргафф: «Небеса безмолвствуют»



Понятно, что размышлять о природе вообще или даже о живой природе вообще — это не занятие для ученого. Это дело поэта, философа, пророка. Должно быть разделение труда. Но излишняя дробность представления о природе, зачастую приводящая к его полному исчезновению, делает мир похожим на Шалтая-Болтая, которого не удалось собрать; такой мир может стать еще более неуправляемым по мере того, как от континуума природы будут отламывать — «для более тщательного изучения» — кусочки все мельче и мельче. Из-за чрезмерной специализации мы иногда получаем массу никому не нужной информации. Попробуйте обратиться к разделу науки, который хорошо знали лет десять или двадцать назад: вы почувствуете себя незванным гостем — как если бы, войдя в собственный дом, вы обнаружили в ванной 24 серьезных специалиста.

Да что — я! Более компетентным людям трудно определить, не говоря уже о том, чтобы излечить, болезнь, поразившую всех нас. Как в случае с

Орфеем, близкие цели заслонили от нас побудительную причину поиска. Не имея крепкого стержня, мы кидаемся в крайности. И чудесный, красочный ковер распускается по ниточкам. Одну за другой нити вытаскивают, разрывают, изучают, в конце концов узор забывается и восстановить его невозможно. Что же стало с начинанием, которое замышлялось как исследование *gesta Dei per naturam* (Божьих деяний, проявившихся через природу)?

Пытаться постичь деяния Божьи через природу — дело безнадежное. Это знал Кеплер, знали и другие, однако сейчас об этом забывают. Мы верим, что наши поиски приведут к пониманию, но они ведут лишь к объяснению. Даже разница между «понять» и «объяснить» постепенно сводится на нет, что уж совсем непростительно. Ссылаются на высказывание Эйнштейна: «Самое непостижимое в природе то, что она постижима». Я бы сказал: «Объяснима». Это совершенно разные вещи, ибо мы мало что понимаем в природе. Даже самая точная из точных наук витает над аксиоматической бездной, которую нельзя измерить. Правда, когда разум в горячке, человеку чудится, что он вот-вот поймет, познает; но жар спадает, он приходит в себя и слышит лишь... гул пустоты.

В наше время так называемые законы природы фабрикуются как на конвейере. Но не потому ли так стройны эти законы природы, что выведены они с помощью стройного метода? В последнее время о природе узнали много любопытных пустяков, некоторые природа создала словно нарочно, чтобы их открыли невежды. И некому вывести их из заблуждения. Иными словами, наука до сих пор не излечилась от своей извечной болезни бездоказательности. Как сказано в «Беседах и суждениях» Конфуция: «Учитель сказал: небеса безмолвствуют».



ДАТЧИК ИЗ ДИАТОМЕИ

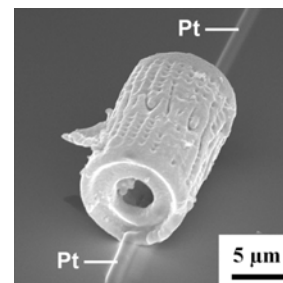
Американские ученые исхитрились приготовить датчик из панциря микроскопической диатомовой водоросли.

Ken Sandhage,
ken.sandhage@mse.
gatech.edu

В зарубежных лабораториях

Нанотехнологи из Технологического института Джорджии не смогли устоять перед соблазном применить изящный панцирь одноклеточной диатомеи для какого-нибудь полезного дела и соорудили из него микродатчик на оксид азота. Для этого они сначала обработали магнием панцирь. При температуре 650°C составляющий его оксид кремния теряет кислород, который переходит к магнию. Затем получившийся оксид магния и остатки оксида кремния вымыли кислотами, и остался пористый кремний, форма которого сохранила вид исходного панциря. К нему ученые приделали два электрода, и прибор стал пропускать электрический ток, сила которого зависела от числа осевших в порах молекул оксида азота.

«Диатомеи строят чрезвычайно сложные трехмерные панцири, — говорит руководитель работы Кен Сандхаг. — Манипулируя генами этих водорослей, мы можем создавать огромное разнообразие нужных нам структур из пористого кремния, которые невозможно получить методами микроэлектроники. И они пригодятся для создания новых устройств. Например, на получившуюся развитую поверхность можно нанести литий и повысить емкость литий-ионной батарейки. Другое применение — фотоника; обработанные по нашей технологии панцири светятся при облучении их светом».



ЗАПРАВЬ МОБИЛЬНИК СИРОПОМ

Ученые из США создали полимерную батарейку, которая работает на растворе сахара.

Shelley D. Minteer,
minteers@slu.edu

В зарубежных лабораториях

Портативный топливный элемент — это то, что должно сменить обычную батарейку для сотового телефона или ноутбука. Однако пока что на роль топлива для него претендует метанол — вещество ядовитое и необщедоступное. В то же время под рукой всегда есть другой источник энергии — сахар. Поэтому идея сделать элемент, который работает на растворе сахара, кажется очень привлекательной. Обычно электричество из сахара добывают бактерии.

Ученые из Сент-Луисского университета во главе с доктором Шелли Минтеер решили пойти дальше. Зачем кормить целую бактерию, когда достаточно взять тот единственный фермент, который расщепляет молекулу сахара и способен передать в электрическую сеть добытый при этом электрон? Этот фермент, NAD-зависимую глюкозодегидрогеназу, вместе с сопутствующими его работе медиаторами они пришили к мембране из хитозана, который, в свою очередь, получают из хитиновых панцирей ракообразных и насекомых. Такой биологический комплекс поместили на стеклянный электрод и сделали с его помощью батарейку, стабильно работавшую в течение месяца на систематически подливаемом растворе сахара.

«Именно раствор обычного сахара давал самый лучший результат, — говорит Шелли Минтеер. — Мы также испытывали древесный сок, сладкие напитки, раствор глюкозы. Все они показали неплохие результаты. А вот газировка уменьшала мощность, чему виной был углекислый газ. Наша технология позволяет изготовить биоразлагаемые батарейки, которые будут в несколько раз долговечнее нынешних аккумуляторов для сотовых телефонов и ноутбуков».

ДАТЧИК В ПОСТЕЛИ

Британские ученые создали систему датчиков, которая позволяет следить за пожилым человеком.

Пресс-секретарь
Joyce Lewis,
j.k.lewis@ecs.
soton.ac.uk

В зарубежных лабораториях

По мере того как доля стариков в населении развитых странах растет, чему причиной как улучшение медицинского обслуживания, так и повышение уровня жизни, и сокращение рождаемости, возникает задача: обеспечить пожилым людям комфортную самостоятельную жизнь и дать возможность молодым родственникам следить за здоровьем своих отдельно живущих близких. Один из вариантов такой системы создали ученые из Саутгемптонского университета во главе с профессорами Баширом аль-Хашими и Дэвидом де Руром. Ее основа — беспроводная сеть датчиков, встроенных в самые разные предметы домашней обстановки. Эти датчики будут постоянно контролировать окружающее пространство и фиксировать изменения в состоянии здоровья.

Например, датчик веса, встроенный в матрас кровати, распознает движения человека, лежащего на нем. Датчики в ванной и туалете позволяют следить за использованием санузла и вовремя заметить проблемы, связанные с питанием. Датчики тепла, вмонтированные в кресла и стулья, смогут обнаружить на теле области с повышенной температурой — места возможного воспаления. По мнению авторов разработки, в ближайшие 12 месяцев им удастся смонтировать прототип подобной умной комнаты, которая способна следить за находящимся в ней человеком. Правда, остается вопрос: можно ли назвать такую жизнь самостоятельной?

МАШИНА ИЗ КОНОПЛИ

Британские студенты собрали биоразлагаемый гоночный автомобиль.

Пресс-секретарь
Peter Dunn,
p.j.dunn@warwick.ac.uk

В зарубежных лабораториях

Студенты из Уорвикского университета решили собрать автомобиль из таких материалов, которые можно либо столь же легко утилизировать, как, например, металлы, либо вообще обойтись без утилизации, предоставив это занятие бактериям. И это у них получилось. У их детища — автомобиля «Есо Опе» — кузов сделан из композита с волокнами конопли, шины приготовлены на основе картофельного крахмала, а тормоза — из композита со скорлупками от орешков кешью. В качестве полимерной матрицы для изготовления пластиков, видимо, был выбран биоразлагаемый полилактат. В бензобак залили биодизель, а для смазки используется растительное масло. Не нужно думать, что подобный наполовину растительный автомобиль представляет собой игрушку — во время испытаний он показал скорость 200 км/ч.

«Весь автомобиль можно сделать из биоразлагаемых или хорошо перерабатываемых материалов. В частности, все пластиковые детали удастся сделать из растений и останет только стальное шасси. А металл перерабатывать нетрудно. Сейчас мы сделали биоразлагаемыми лишь несколько деталей автомобиля и заправили его растительным топливом, однако я надеюсь довести их долю до 95%. Представляете, как это интересно — фактически выращивать автомобиль из семян?» — рассказывает руководитель проекта студент Бен Вуд.



ВОДОРОДНОЕ БИОТОПЛИВО

Американские ученые придумали, как повысить выход топлива, образующегося при переработке соломы и прочих сельскохозяйственных отходов.

Rakesh Agrawal,
agrawalr@purdue.edu

ДЫШАЩИЙ КРИСТАЛЛ

Французские химики создали кристаллический материал, который способен обратимо увеличивать свой объем в два раза.

Пресс-секретарь
Montserrat Capellas,
capellas@esrf.fr

ИЗ ГРЯЗИ — В СПИРТ

Ученые из Швеции обнаружили вид грибов, которые могут помочь бороться с отходами грязнейшего производства — целлюлозно-бумажного.

Пресс-секретарь
Annie Andreasson,
ann-christine.
andreasson@hb.se

ПОСТРОЙКИ БУДУЩЕГО

Британские ученые придумали два типа материалов для домов будущего.

Пресс-секретарь
Simon Jenkins,
s.jenkins@leeds.ac.uk

В зарубежных лабораториях

Производство топлива из сельскохозяйственных отходов в США и Западной Европе считают одним из способов спасения как от глобального потепления, так и от нефтяной зависимости. Один из способов переработки — высокотемпературный пиролиз: солому или иной мусор нагревают без доступа кислорода и превращают в смесь водорода и угарного газа. Потом из этой смеси получают углеводороды и углекислый газ, в который переходит до 60% атомов углерода, присутствующих в соломе.

«Так происходит потому, что биомассу рассматривают как источник энергии. А мы решили посмотреть на нее как на источник углеводородов и утилизировать весь углерод, зафиксированный растением при фотосинтезе», — говорит профессор Ракеш Агравал из Университета Пэрдью.

Чтобы решить эту задачу, ученые добавили в реактор водород: соединяясь с углеродом, он стал давать углеводороды. «Сейчас много говорят про водородную энергетику. Однако инфраструктура для углеводородных автомобилей развита хорошо, а для водородных или электрических — практически отсутствует. Поэтому использовать водород для производства привычного топлива вполне разумно. Более того, чтобы обеспечить потребность всех США в углеводородном топливе с помощью придуманного нами процесса, нужно соответствующими растениями засеять лишь 10% посевного клина. А при обычной технологии на это должно пойти 25–55% площади США», — говорит Ракеш Агравал.

В зарубежных лабораториях

Когда человек глубоко вдыхает воздух, легкие растягиваются и их объем увеличивается на 40%. Это неудивительно — ведь они построены из весьма эластичной ткани. А вот от кристаллического материала, у которого связи между атомами очень жесткие, такого поведения никто не ожидает.

Французские исследователи из Института Лавуазье Версальского университета, сделав гибридный пористый материал, сумели доказать, что и это возможно. В нем ионы железа и хрома соединены в ажурную структуру с помощью гибких мостиков из органических молекул. В исходном состоянии мостики сжаты. Оказавшись же в растворителе, они распрямляются, и объем увеличивается на 230%. После того как материал высушивают, он снова сжимается до исходного размера. За процессом авторы работы следили с помощью Европейского синхротронного источника и установили в деталях, как идет выпрямление мостиков.



В зарубежных лабораториях

Сульфитный щелок — один из вредных отходов, которые получаются при изготовлении бумаги. Способов его переработки придумали много: щелоки и добавляют в буровой раствор, и кожи в нем дубят, и цемент им пластифицируют. А главное, из него получают спирт или кормовые дрожжи. Технологию получения спирта решили улучшить биологи из Университета Буроса (Швеция), для чего стали разводить в щелоке зигомицеты. Такие грибы часто образуют пушистый белый налет на пищевых продуктах.

«До сих пор никто не думал, что зигомицеты способны превращать отходы в спирт. Мы, пожалуй, единственная группа, которая пошла по этому пути и добилась успеха. Все остальные ищут более эффективные дрожжи», — говорит руководитель работы Мохаммед Тахир-заде.

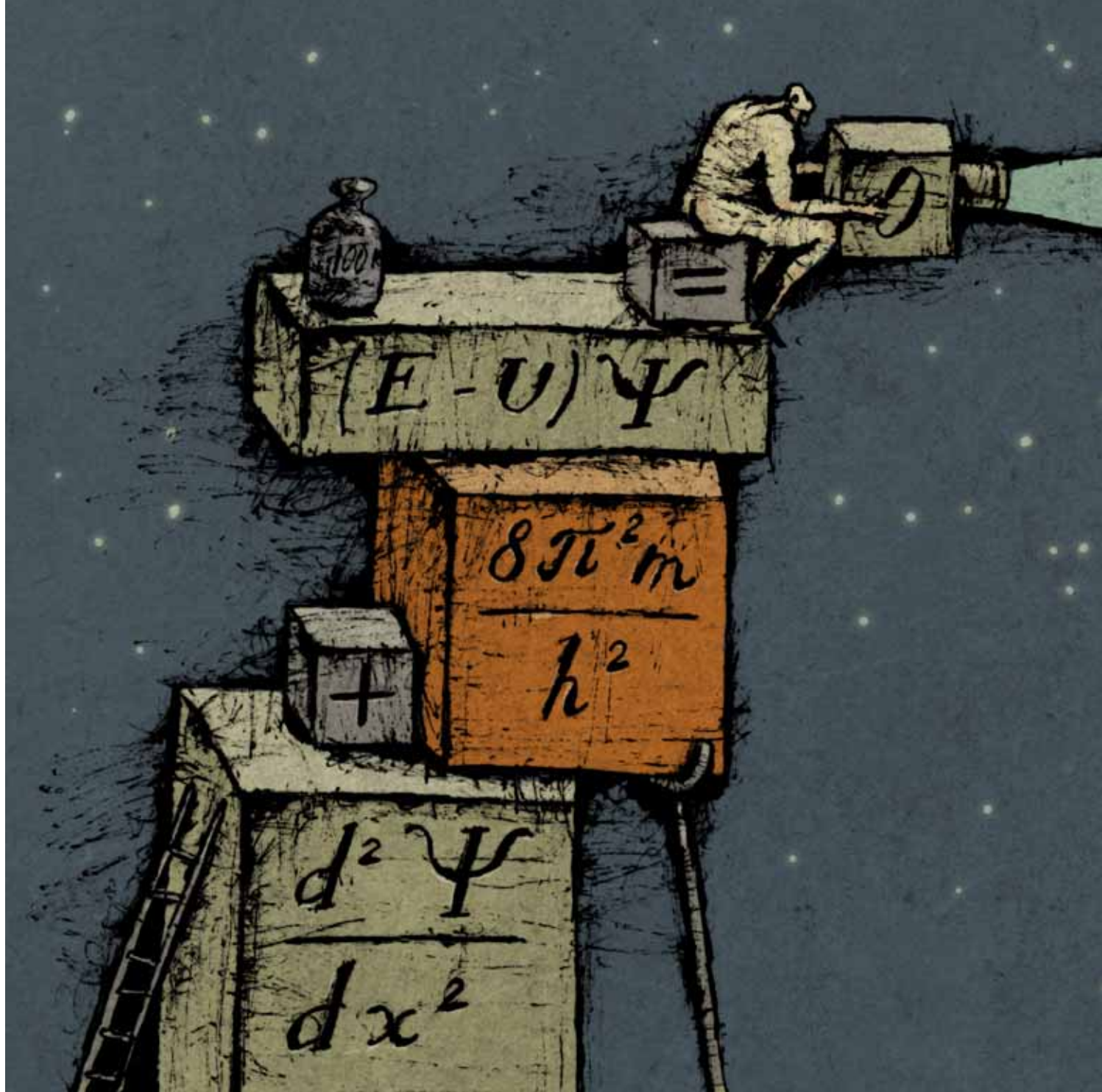
От переработки щелока зигомицетами получилась и дополнительная польза — сорбент, который к тому же обладает антибактериальным действием. Этот сорбент состоит из стенок клеток и впитывает в десять раз больше жидкости, чем весит сам. Он убивает содержащиеся в ней клетки кишечной палочки, золотистого стафилококка, *Klebsiella pneumoniae* и грибка *Candida albicans*. Из такого сорбента можно делать и перевязочные материалы, и женские прокладки, и много чего другого. Поскольку сорбент получается из остатков грибов, не возникает и проблем с его последующим уничтожением — он разложится сам собой.

В зарубежных лабораториях

«Разработанные нами битумблоки, от слова «битум», служат отличной заменой бетонных. А самое главное, они на 100% состоят из отходов», — говорит доктор Джон Форт из Лидского университета. Согласно его идее, сначала нужно смешать битое стекло, шлак металлургического производства, ил сточных вод, золу мусоросжигающих заводов, а также распыленную золу тепловых электростанций. Потом добавить расплавленный битум, полученный в результате переработки старых автопокрышек, и разлить по формам. Далее заготовки помещают в печь, нагревают, битум окисляется и становится в шесть раз прочнее бетона. Правда, автор работы не упоминает о том, не выделяются ли в здании, построенном из таких блоков, каких-то вредных веществ, которые в избытке содержатся и в шлаке, и в золе. Зато в числе дальнейших планов создание вегеблоков, где будут использованы отходы растительного масла.

Другой материал для дома не вызывает никаких нареканий с точки зрения безопасности жилья, более того, он специально предназначен для того, чтобы такую безопасность повысить. Этот материал британские ученые совместно с коллегами из Германии разрабатывают для греческих строителей, которым нужно возводить жилье в сейсмоопасных районах. Чтобы защитить обитателей такого жилья от стихийного бедствия, ученые предлагают добавить полимерные наночастицы в высокопрочную гипсовую композицию, из которой возводят стены. Характерное свойство этих наночастиц — способность превращаться в жидкость при увеличении давления. В результате частицы из вершины развивающейся трещины в буквальном смысле слова вытекают и, оказавшись в области с меньшим давлением, вновь становятся твердыми, залечивая трещину.





Физики обедают с дьяволом

Л.И.Верховский

Жорж Лошак. Геометризация физики. М.— Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005, 280 с. Перевод с французского А.И.Пигалева.

Взаимоотношения физики и математики имеют столь же долгую и сложную историю, как само познание природы. Проследить основные их этапы от древности до наших дней (на языке оригинала книга вышла в 1994 году) попытался Жорж Лошак — французский физик-теоретик, один из ближайших учеников и сотрудников Луи де Бройля.

Античные мыслители мечтали ухватить строение космоса со свойствами чисел — «все есть число» (пифагорейцы), с правильными многогранниками, иначе говоря, видели в математических структурах первообразы физического мира. Эта идея ста-

ла наполняться конкретным содержанием в эпоху научной революции XVII века. Тогда же Готфрид Лейбниц выдвинул теологический принцип «предустановленной гармонии»: «Cum Deus calculat, fit mundus» (Как Бог вычисляет, так мир и делает).

В последующие столетия роль математики в физике неуклонно росла. Обе науки взаимно поддерживали развитие друг друга, но время от времени их общее поступательное движение застопоривалось, наступал кризис, и тогда начиналось выяснение отношений: «кто виноват?» и «что делать?».

Судя по всему, именно такую ситу-



КНИГИ

Художник В. Камаев

штейном общей теории относительно-сти, в которой гравитация трактовалась как искривление пространства. Герман Вейль говорил, что «пространство-время перестало быть квартирой, арендуемой материальными телами» — оно стало формой существования материи.

Попытки построить более общую теорию, которая охватила бы также электромагнетизм, предприняли Вейль, Эйнштейн и многие другие ученые первой половины прошлого века. Позднее их усилия продолжил Дж. Уилер, да и сейчас в проблеме объединения всех физических взаимодействий идет разработка самых разных геометрических схем.

Надо сказать, что не все корифеи одобряли идею геометризации. Например, великий математик Анри Пуанкаре (который сам очень много сделал в области неевклидовых теорий) полагал, что поскольку на опыте проявляют себя не отдельно физика и отдельно геометрия, а только как бы их сумма, то разделять описание явлений на две части нужно просто из соображений удобства. Евклидова геометрия, рассуждал он, проще всех других («как многочлен первой степени проще многочлена второй»), поэтому выбор должен быть сделан в ее пользу.

Такой взгляд напоминает уверенность Платона, что небесные тела должны двигаться по наиболее простым кривым, то есть по окружностям. Но тогда для видимых траекторий планет необходимо вводить множество эпициклов — дополнительных кругов все меньшего радиуса. А вот Иоганн Кеплер понял, что планетные орбиты представляют собой не окружности, а эллипсы, и это оказалось потрясением как для него самого, так и для других астрономов. Казалось бы, произошло усложнение небесной механики, на самом же деле картина резко упростилась.

Подобным образом и геометрия Евклида, в случае ее внутреннего несоответствия реальности, будет «обрастать эпициклами». О них Лошак сначала рассказывает в историческом аспекте, а затем использует это понятие уже в качестве метафоры (последняя глава называется у него «Возвращение эпициклов»). Он пишет, что введение в со-

ацию мы наблюдаем и сейчас: уже давно в теоретической физике не было крупных прорывов, а математический аппарат становится все более вычурным и запутанным. Говоря об опасности для физиков попасть в зависимость от подобной математики, Лошак вспоминает старую французскую пословицу: «На обед к дьяволу нужно идти с длинной ложкой».

С другой стороны, когда удается найти формальные методы, приносящие богатые и часто неожиданные плоды, физики испытывают восторг от мощи и «непостижимой эффективности» математики. Так, Генрих Герц

писал об уравнениях Максвелла, что они обладают собственным рассудком, а Людвиг Больцман, цитируя «Фауста» Гете, добавлял: «Не Бог ли эти знаки начертал?»

Главная тема книги — геометризация физики. Такая цель была поставлена в XIX веке, когда открытие неевклидовых и многомерных геометрий навело математиков с естественно-научными интересами на мысль, что фундаментальные физические законы неразрывно связаны со свойствами пространства, даже определяются ими.

Эта программа вышла на первый план после создания Альбертом Эйн-

временные теории разных искусственных подпорок приводит к утрате ими простоты и элегантности — они становятся похожими на архитектурные сооружения в стиле барокко. Ясно, что дальнейший прогресс таких конструкций очень затруднен.

Отличительное свойство рецензируемой книги — в ней нет ни одной, даже самой простой, формулы. Часто тот или иной автор, обсуждая физическую проблему, почти машинально приводит знакомые всем формулы и после этого считает свою задачу выполненной. Лошак же сознательно выбирает сложный путь: словесно, «на пальцах», с помощью рисунков растолковывает абстрактные вещи, и здесь проявляется его талант популяризатора. А круг охваченных им вопросов очень широк: экстремальные принципы, уравнения Шредингера и Дирака, симметрии и теория групп, элементарные частицы и калибровочные поля...

Хотелось бы узнать, где сам автор видит возможный выход из нынешнего кризиса — услышать его, пусть интуитивное, мнение. Но он лишь говорит о смутных идеях де Бройля, писавшего в конце жизни о необходимости включить в основные уравнения стрелу времени (вспомним Илью Пригожина). Лошак даже ни разу не упомянул проективную геометрию, которая, в соответствии с рассмотренной им Эрлангенской программой Ф.Клейна, играет совершенно особую роль (см. статью «Прообраз красоты мира» в «Химии и жизни», 1999, № 1).

Если метрическая геометрия отражает, как писал Пуанкаре, свойства твердых тел, то проективная — световых лучей. Логично допустить, что именно свет определяет геометрию, и, значит, в проективном подходе может лежать ключ к решению проблемы. Так, из него сразу следует (это заметил еще в 1921 году В.Паули), что при требовании постоянства скорости света, сложение скоростей будет идти по правилам геометрии Лобачевского, то есть выводится центральное положение релятивизма.

И.Кант утверждал, что геометрия Евклида, которая служит фундаментом классической механики, есть априорная форма человеческого мышления, что она абсолютна и неизменна. С тех пор наука очень далеко ушла от этого наивного представления, и теперь поиск истинной геометрии природы поставлен во главу угла. Успех придет к отважным исследователям, способным, говоря словами Лошака, на «подвиг воображения».



Профессор
И.В. Андрианов,
igor_andrianov@inbox.ru

Математические тени физических явлений

«Точность анализа должна соответствовать грубости модели» — так звучит любимая фраза замечательного ученого-механика Я.Г.Пановко. На первый взгляд она представляется тривиальной, однако на опыте мы часто убеждаемся, сколь глубоко «тривиальные истины» и как следование им сократило бы нам «опыты быстротекущей жизни». Итак, обо всем по порядку.

Физическое явление и ее Тень

И.Кант сказал: «В каждой науке столько науки, сколько в ней математики». В советские времена фраза эта набилась оскомину (кажется, ее любил К.Маркс, поэтому она полюбилась и нашим философам). Сейчас ее цитируют реже, но все же похожие заявления приходится довольно часто слышать, особенно от чистых математиков. Что, собственно, она означает — например, для физики?

Имеется в виду, что, после того как составлена математическая модель явления, она должна быть подвергнута как можно более строгому математическому анализу, и чем строже анализ, тем более точное описание реальности мы получим. С этой точки зрения физика — просто «недозревшая» математика. На самом деле ситуация значительно интереснее, и, чтобы понять ее, вспомним пьесу Евгения Шварца: отделившись от человека Тень начала жить своей жизнью и натворила немало бед. Так и математическая модель физического явления, используемая за пределами своей применимости, может привести к серьезным недоразумениям. Как говорил в таких случаях ведущий советский радиопизик академик Л.И.Мандельштам: «Идеализация мстит за себя». А забыть об исходных предпосылках модели несложно, особенно если эта модель освящена высоким авторитетом чистой математики, доказанными теоремами и прочим. Отсюда недалеко и до беды. Попробуем проиллюстрировать сказанное несколькими примерами.

Когда я учил гидродинамику, мне казалось, что она состоит из одних парадоксов. Действительно, посмотрим

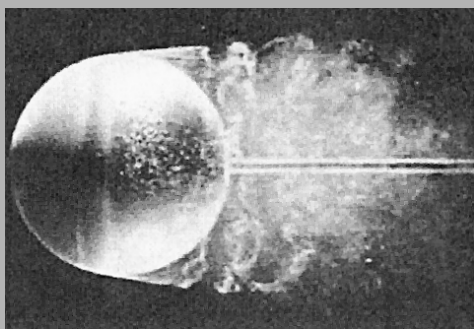
любой учебник и увидим там «парадокс Эйлера—Д'Аламбера», «парадокс Прандтля», «парадокс Жуковского»... Прекрасная книга американского математика Г.Биркгофа «Гидродинамика: методы, факты, подобие» во многом посвящена именно парадоксам.

Как правило, они связаны как раз с математическими тенями, вздумавшими жить самостоятельной жизнью. Вот, например, парадокс Эйлера—Д'Аламбера. Он заключается в том, что, согласно упрощенным расчетам, шар при равномерном поступательном движении в жидкости не испытывает никакого сопротивления, поскольку давление на шар одинаково со всех сторон. Однако это резко противоречит эксперименту, и, значит, наши упрощения зашли слишком далеко. В основу математической модели положено нечто невозможное, а именно движение без вихрей. На самом же деле вихри постоянно срываются с поверхности шара, изменяя распределение давления по ней и картину течения. Учет этого обстоятельства приводит к новой математической модели, она-то и позволяет получить верный результат.

Не нужно думать, что парадоксы гидродинамики способны приносить только огорчения исследователям. Г.Биркгоф говорил: «Нужно только приветствовать открытие гидродинамических парадоксов, искренне признав неспособность существующей математики (и логики) адекватно отображать сложные и удивительные явления природы. Опыт показывает, что человеческое воображение гораздо более ограничено, чем ресурсы природы; как писал Паскаль, «воображение скорее устанет постигать, чем природа поставлять».

Шарики и пружинки

В механике очень популярна физическая модель: цепочка равных масс, соединенных пружинами одинаковой длины и жесткости. По-видимому, впервые такую модель предложил И.Ньютон в 1686 году для вычисления скорости звука. Он предполагал, что звук распространяется в воздухе так же, как упругая волна распространяется по цепочке



1
Обтекание шара
(Альбом течений жидкости и газа
/Сост. и авт. текста М.Ван-Дайк. М.:
Мир, 1986)



РАЗМЫШЛЕНИЯ

масс. Полученное Ньютоном значение скорости звука меньше экспериментального; причина в том, что он не учел некоторые термодинамические соображения. П.Лаглас в 1822 году показал: выбрав правильные значения жесткости пружин, удастся очень хорошо рассчитать скорость звука. Рассмотренная система — классический пример дискретной физической системы. В то же время в механике, благодаря работам Б.Тейлора (1713) и Л.Эйлера (1748), развивалось представление о непрерывных колеблющихся объектах, например струне. Иначе говоря, речь идет о закрепленном на концах стержне с пренебрежимо малой изгибной жесткостью. Поскольку растянутая цепочка шариков и натянутая струна похожи друг на друга, оставалось сделать маленький, хотя и нетривиальный шаг — установить связь между ними. Это сделал Ж.Лагранж (1759). С тех пор в арсенале механики появились такие приемы, как континуализация — замена дискретной системы непрерывной — и противоположный подход — дискретизация, замена непрерывной системы дискретной. На основе континуализации построена вся механика сплошной среды, на ней же основано представление о

жидкости, твердом теле и многом другом. При этом предполагается, что вещества состоят не из дискретных атомов, но их свойства как будто «размазаны» по некоторому объему.

Нетривиальность метода континуализации удачно проиллюстрировал Э.Шредингер: «Допустим, мы рассказали бы древнему греку, что возможно проследить путь отдельной частицы жидкости. Он не поверил бы, что ограниченный человеческий ум может дать решение столь запутанной задачи. Дело заключается в том, что мы научились владеть всем процессом с помощью одного дифференциального уравнения».

Естественно, подобная процедура позволяет получить лишь некоторое приближенное по отношению к реальной дискретной системе решение. Какова область его применимости? Нетрудно сообразить, что таким условием служит плавность колебаний, когда их период много больше расстояния между шариками. Чем меньше пространственный период колебаний, тем быстрее растет погрешность полученных таким путем приближенных решений. Казалось бы, все ясно: нужно использовать континуальную модель только для колебаний с большим пространственным периодом и ошибки не случится. На практике же все выглядит по-другому.

Ошибаются и великие

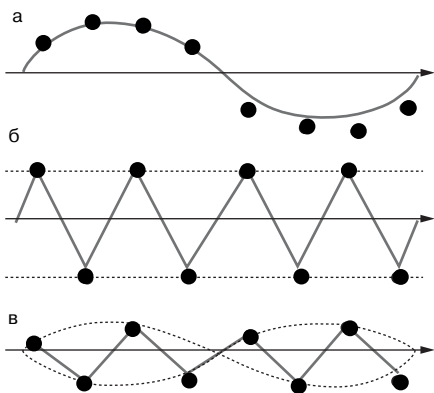
Много лет назад возникла практическая задача — определение напряжений в сцепке вагонов при трогании поезда с места. Пусть локомотив прикладывает некоторое усилие к первому вагону. Что можно сказать об усилиях в сцепке между n -м и $(n-1)$ -м вагонами? В грубом приближении вагоны можно заменить массами, сцепки — пружинами, и тогда возникает задача о движении дискретной системы — цепочки масс. Великий русский механик Н.Е.Жуковский (1919) заменил дискретную систему непрерывной и пришел к задаче о продольных колебаниях конечного стержня, к концу которого приложена сила P . Она допускает изящное математическое ре-

шение (ох уж эти изящные математические решения физических задач! Соблазн это), из которого следует, что в процессе движения возникающие в стержне усилия никогда не будут превосходить P . Решение Жуковского многократно повторялось, попало в учебники и справочники, короче, как и положено тени, зажило своей полнокровной жизнью. Однако описанный вывод оказался ошибочным: аналитическое исследование и численные расчеты, проведенные П.Ф.Курчановым, А.Д.Мышкисом и А.М.Филимоновым (1991), его опровергли! В таблице — некоторые результаты расчетов, проведенных в предположении, что приложенная сила равна единице.

Номер вагона	8	16	32	64	128	$n \rightarrow \infty$
Усилие	1,76	2,06	2,35	2,63	2,91	$P_n \rightarrow \infty$

В некоторые моменты времени усилия, возникающие между отдельными вагонами, могут существенно превышать единицу. Более того, при увеличении их числа, что вроде бы должно вести к сближению результатов расчетов в рамках дискретной и непрерывной моделей, это превышение возрастает и стремится к бесконечности! Парадокс?

Вспоминается предупреждение С.Улама: «В обычном способе введения непрерывности многое должно быть подвергнуто критическому рассмотрению и обсуждению. Предельные уравнения молчаливо подразумевают непрерывность и дифференцируемость функций, описывающих движение непрерывной среды, что накладывает различные ограничения. В самом деле: в любой момент можно себе представить две соседние частицы движущимися в противоположных направлениях с относительной скоростью, не стремящейся к нулю при стремлении к бесконечности количества частиц, в то время как непрерывность решения предельной задачи для сплошной среды исключает такое положение. В некоторых случаях поэтому обычные дифференциальные уравнения гидродинамики могут дать ошибочное описание физического процесса». Еще определеннее высказывались



2
Различные формы колебаний цепочки масс
а — плавная форма колебаний, когда на одну полуволну колебаний приходится несколько масс
б — пилообразная форма колебаний, когда все массы колеблются с одинаковой амплитудой
в — близкая к пилообразной форма колебаний



РАЗМЫШЛЕНИЯ

Т.Постон и И.Стюарт: «То, что уравнения механики сплошных сред каким-то чудом в точности описывают усредненное поведение микросистем, составляет привычный догмат веры, но еще никто не доказал этого для реалистичной модели тонкой структуры».

Любопытно, что сейчас в физике регулярно возникают идеи об обусловленности особенностей нашего мира дискретностью пространства-времени. Если так и окажется, это будет еще одним примером того, как математическая тень реальной дискретной структуры оторвалась от своей физической основы и долгое время жила самостоятельной жизнью.

Кубики и матрешки

В следующем примере разговор пойдет о так называемой математической строгости. Точнее, о том, всегда ли математически строгие результаты оказываются правильными. В.И.Арнольд вспоминает, что о своей теории турбулентности великий А.Н.Колмогоров говорил: «Она нестрогая, но правильная, и это — главное». Разумеется, математика — наука строгая, и чисто математические результаты (например, теорема Пифагора) — абсолютные истины в последней инстанции. Однако когда чистые математики начинают применять свои результаты в инженерной практике, держи ухо востро! Вот занятный пример.

Одна из проблем линий электропередач или вант подвесных мостов — колебания под действием ветра при дожде или зимой при низких температурах. В качестве примера можно привести мост Меикониси в порту Нагои или мост Эразма в Роттердаме. В сухую, теплую погоду ванты вполне устойчивы. Сочетание сильного шторма с дождем в 1996-м поставило Роттердамский мост на грань катастрофы из-за колебаний вант с недопустимой амплитудой. Дело в том, что при дожде профиль тросов становится несимметричным, а это приводит к потере устойчивости колебаний (галопированию). То же происходит, если из-за высокой влажности при низких температурах ванты оледеневают или на них налипают снег. Для борьбы с недопустимыми колебаниями нужно

Фото А.И. Андрианова



3

Роттердамский мост

вводить демпфирование, а для этого, в свою очередь, требуется составить математическую модель явления. Это весьма непросто — система нелинейна (реакция системы на воздействие непропорциональна его интенсивности), несимметрична, диссипативна (имеет место рассеяние энергии). Анализ экспериментальных результатов показывает, что в рассматриваемом случае мы имеем дело с упругими явлениями. Значит, записывая уравнения теории упругости (а это хорошо развитая теория) и вперед? Однако беда в том, что уравнения получатся очень сложными, трудно их решать, трудно анализировать результаты. Нужны упрощенные модели. Этого добра тоже хватает в механике. Например, если один характерный размер тела много меньше двух других — можно применять теорию пластин (или оболочек, если поверхность сильно искривлена). При двух примерно одинаковых характерных размерах и существенно большем третьем — получается балка, для которой опять-таки есть своя упрощенная модель.

Провода линии электропередачи напоминают гитарные струны. Изгибная жесткость такой струны мала, поэтому уравнение ее колебаний, впервые полученное Ж.Д'Аламбером в середине XVIII века, содержит только два члена, характеризующие силу натяжения и силу инерции. Какова область применимости подобной модели? Возьмем струну и попробуем деформировать ее по одной полуволне синусоиды — для этого практически не нужны никакие усилия. А если по двум полуволнам (так, как это показано на рис. 2а)? Соппротивление нашим усилиям ощутимо нарастает. Значит, пренебрегать изгибной жесткостью можно только до некоего предела, далее следует от модели струны переходить к модели балки, учитывая переход изгибные жесткости. Номера гармоник, при которых нужно переходить от модели струны к модели балки, потом к теории упругости, по-

том, если угодно, к молекулярной теории, определить можно, но только приближенно, то есть по порядку соответствующей величины. Поэтому инженер, ориентируясь на наиболее опасные на практике низшие частоты, ограничится несколькими первыми гармониками, мало заботясь о высших. Как поступает при анализе описанной системы математик? Постулирует модель струны и подвергает ее строгому анализу, принятому в математике. При этом получаются бесконечные системы уравнений, несводимые корректно к конечным. Следовательно, инженерные решения грубо ошибочны! Обсуждая этот «парадокс» с хорошим математиком, я спросил — как можно использовать, скажем, теорию стержней для высоких форм колебаний, когда длина полуволн колебаний сопоставима с ее поперечными размерами. В ответ услышал: «Значит, в данном случае стержень имеет одинаковые размеры по всем направлениям» (!). Тогда я четко осознал разницу в менталитетах физика и математика. Математики воспринимают упрощенные теории, описывающие поведение физических объектов, как некоторые не связанные друг с другом творения чистого разума. Разбросанные на столе резиновые кубики — это упрощенные теории. Взял кубик, на котором написано — «теория пластин», растянул его в одном направлении, сжал в другом — все равно «теория пластин»! Для механика или физика упрощенные теории не существуют поодиночке, а живут семьями, в одном гнезде. Или, если угодно, представляют собой матрешки. Увеличь самую маленькую матрешку в два раза — и она уже заняла место второй по величине матрешки, и так далее. Вот в чем основное отличие мира физических моделей от мира чисто математических зверюшек — это многомасштабные иерархические построения. Тот же математик допытывался у меня: «Так где же четкая грань между моделями струны и балки? Назовите конкретные числа!» — «Да нет их, можно указать только порядок величин». — «Но как же тогда можно что-то анализировать?!»

Конец у этой истории вполне оптимистичен: погрешность приближенных инженерных схем оказалась вполне сопоставимой с точностью исходных гипотез, и их полная ревизия не нужна. Сильные колебания Роттердамского моста устранены при помощи демпферов. Но ходить по нему зимой при сильном ветре все равно не советую — можно простудиться.



Шестая олимпиада по органической химии

СОБЫТИЕ

12 апреля на химфаке МГУ прошла VI Всероссийская Олимпиада по органической химии (http://www.chembridge.ru/events/chem_olympiad/default.asp), организованная, как всегда, совместными усилиями химфака МГУ, Химического лица и фирмы «Кембридж». Шесть лет — достаточный срок, чтобы мероприятие стало традицией. В этом году в Олимпиаде приняли участие 102 человека — новое подтверждение, что каждый год в нашей стране находится около 100 талантливых ребят, для которых органическая химия стала частью жизни и которые готовы к решению сложных задач не только на Олимпиаде.

А задачи действительно сложные, причем наблюдается интересная закономерность. Первые годы все участники жаловались, что задачи трудные, и действительно почти половина ребят не могла с ними справиться. Участники III и IV Олимпиад тоже

считали, что задания сложные, но тем не менее написали лучше. И в этом году все говорили о сложности задач, но «пустых» работ практически не было, и большинство участников справилось с заданиями на «хорошо» и «отлично».

Польза от Олимпиады очевидна. Недаром преподаватели вузов стали проявлять интерес к ней, помогать в организации, а главное — готовить к ней студентов. Так, например, в МИТХТ собирались организовать свою команду для участия во Всероссийской олимпиаде по органической химии, а в результате сделали свою олимпиаду, которая прошла перед Всероссийской. В итоге ребята из МИТХТ показали неплохие результаты, и, может быть, благодаря такому тренингу они окажутся в числе победителей в будущем году.

Теперь участники Олимпиады зна-

ют, что их ждет, готовятся, а значит, получают дополнительное образование. Причем не абстрактное, а вполне конкретное: ведь два тура Олимпиады моделируют две составляющих научных исследований. Первый тур — это, по сути дела, теоретический лабораторный практикум на очень хорошем уровне. А второй тур — исследовательская задача, предполагающая мозговую штурм с привлечением всех полученных знаний.

Абсолютное большинство из сотни «бойцов» — студенты старших курсов (третьего, четвертого и пятого). А вот аспиранты и молодые ученые, которых также приглашают попробовать свои силы в Олимпиаде, пока заходят не так часто. Видимо, побаиваются конкуренции с юными химиками.

В этом году в Олимпиаде приняли участие студенты из 18 городов России, Украины и Беларуси. Москва была представлена всеми своими профильными вузами: МГУ, МИТХТ, РХТУ, ВХК РАН, лицеем №1303. Победитель в этом году — студент Санкт-Петербургского государственного университета Евгений Владимирович Белецкий (4-й курс). Второе место разделили Алексей Юрьевич Сухоруков (студент 4-го курса Высшего химического колледжа РАН) и Александр Герардович Жданко (студент 4-го курса МГУ им. М.В.Ломоносова). Фирма «Кембридж» по традиции наградила победителей солидными денежными премиями, именными стипендиями, а 14 участников получают пропуск на участие в международном симпозиуме ASMC-2007 (www.asmc07.org) с компенсацией проезда в Санкт-Петербург. Олимпийцы также могут пройти стажировку в лабораториях фирмы «Кембридж».

С огромной благодарностью организаторы отмечают директора лица № 1303 С.Е.Семенова и преподавателя МГУ С.Е.Сосонюка, которые, несмотря на свою огромную занятость, уже шесть лет придумывают задачи для этого некоммерческого проекта, а также профессора МГУ Б.И.Покровского, который оперативно обрабатывает информацию и размещает ее на сайте. Фирма «Кембридж» благодарит также преподавателей вузов за прекрасную подготовку студентов. Кстати, при приеме на работу в «Кембридж» будет учитываться олимпийский опыт, который приравнивается к опыту работы в органической химии.

Время летит быстро, уже надо готовиться к следующей Олимпиаде! Если у вас возникли вопросы, пишите по адресу kurakin@chembridge.ru.



Победители Олимпиады (слева направо): Е.В.Белецкий (I место), А.Г.Жданко (II место), А.Ю.Сухоруков (II место), Халиуллин Р.Р. (победитель разминочного конкурса). Посередине — А.В.Куракин (фирма «Кембридж»)

О клетках, людях и странах

Е.В.Клещенко



Ширли Харрисон

15 марта 2007 года в британском посольстве в Москве состоялось совещание «Стволовые клетки: законодательство, исследования и инновации. Международные перспективы сотрудничества», в котором приняли участие представители России, Великобритании и Европейского союза. Совещание должно было помочь биологам, медикам, юристам и государственным деятелям рассказать друг другу о своих возможностях и пожеланиях. Ведь, как известно, лишь половина нерешенных проблем связана с неразгаданными тайнами природы, а остальные проблемы были бы решены, если бы мы вовремя узнали что-то, уже известное другим.

Совещание состояло из четырех сессий: первая была посвящена правовым и этическим вопросам, вторая — фундаментальным исследованиям стволовых клеток, третья — их применению в клинике, четвертая — бизнес-решениям в медицине стволовых клеток. Мы ограничимся рассказом о первых трех сессиях и заранее приносим извинения всем, чьи доклады не упомянули. Трудно уместить в одну журнальную статью все интересное, что произошло в этот день.

Этика и право

«В Кембридже я начинал как ученый, но что-то пошло не так, и мне пришлось стать дипломатом», — с этого признания начал свою приветственную речь Энтони Брентон, посол Великобритании. И во многих других выступлениях первой сессии проскальзывало что-то вроде белой зависти к ученым: похоже, перед администраторами и юристами стоят более сложные задачи. С одной стороны, правовые нормы должны быть выработаны как можно раньше, чтобы исследователи могли спокойно работать, с другой стороны, как регламентировать то, что еще не до конца исследовано? И как выполнять социальный заказ на продвижение или, наоборот, ограничение клеточной медицины, если социум имеет неполное и искаженное представление о предмете?

Об этом говорил заместитель председателя Комитета по охране здоровья Госдумы РФ Н.Ф.Герасименко. Первой в числе проблем он назвал отсутствие целостного законодательного регулирования клеточных технологий — в том числе и потому, что «нет внятного сигнала от общества и Министерства здравоохранения». В России принят мораторий на клонирование человека (срок действия которого истекает в июне) — однако нет запрета на манипуляции с эмбриональными стволовыми клетками. По нашим законам органы и ткани не могут быть предметом купли-продажи — но как быть с клетками, которые можно взять у добровольца без вреда для него самого и со значительной пользой для пациента? (А взятие образцов пуповинной крови, очевидно, нужно будет исключить из зоны действия закона о принудительном донорстве...) И как регламентировать клеточные технологии, которые применяют не в медицине, а, например, в косметологии?

Зампредседателя Комитета по образованию и науке Госдумы РФ, академик РАНН С.И.Колесников сразу обратился к журналистам в зале. По его мнению, именно они должны взять на себя просвещение общества, а между тем большинство сообщений СМИ о стволовых клетках имеют скорее сенсационный, чем образовательный характер. С другой стороны, и специалисты пока знают о клеточной медицине недостаточно, не знают и самого важного — какими могут быть отдаленные последствия лечения. Но по крайней мере, необходимо собрать и систематизировать всю имеющуюся информацию и как следует поработать над законодательной базой. «Если мы просто распространим Закон о лекарственных средствах на клеточные технологии, это остановит их развитие», — сказал С.И.Колесников. Необходимы не только поправки к действующим законам, но и отдельный закон, посвященный клеточным технологиям, а также специальный общественно-государственный экспертный орган в этой области медицины. Лишь после этого будет возможно бороться с «теневым» бизнесом вокруг стволовых клеток.

Выступление ректора РГМУ В.Н.Ярыгина было посвящено стратегическим вопросам: как нам организовать исследования в области клеточных технологий. Сегодня в России существуют научно-координационный совет, который



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

занимается этими проблемами, ежегодная конференция «Стволовые клетки и перспективы их использования в здравоохранении», с 2004 года выходит специализированный журнал «Клеточные технологии в биологии и медицине». Принята специальная программа «Новые клеточные технологии — медицине», цель которой — оформление новых проектов.

Затем о британском опыте (более обширном, чем наш) рассказала Ширли Харрисон, руководитель Управления репродукции и эмбриологии человека и Управления тканевой инженерии в Лондоне. Там, например, каждый исследователь, который получает стволовые клетки, предоставляет образец в банк клеток — вроде бы мелочь, а насколько все будет проще, если кому-то понадобится воспроизвести методику! В Соединенном Королевстве много внимания уделяют этическим вопросам биомедицины. Так, если женщина хочет пожертвовать свою яйцеклетку, ей обязаны объяснить в понятной форме, что с этой яйцеклеткой будут делать, а также дать время, чтобы она могла все обдумать и, возможно, изменить решение. И разумеется, такое донорство не должно оплачиваться.

Европу на совещании представляла Гвеннел Жолиф-Ботрел (Еврокомиссия по научно-исследовательской работе). Евросоюз финансирует всего лишь 5% всех исследований человеческих эмбриональных стволовых клеток (это «всего лишь» составляет 500 миллионов евро). В 2006 году Совет Европы выпустил уже третье издание «Руководства по обеспечению безопасности и качества при трансплантации органов, тканей и клеток», но тем не менее проблему стволовых клеток в европейской науке и медицине нельзя считать решенной. Законодательное пространство Европы мозаично: в одних странах использование стволовых клеток разрешено, в других запрещено, а в некоторых разрешено ис-

пользование «лишних» эмбрионов, но запрещено терапевтическое клонирование. (Добывать клетки из не востребовавшихся эмбрионов, полученных при лечении бесплодия — из яйцеклеток, которые были оплодотворены, но не введены женщине, и, следовательно, все равно должны погибнуть, — интуитивно кажется более приемлемым, чем создавать эмбрионы специально для того, чтобы разобрать их на запчасти.) Все это приходится учитывать при финансировании совместных проектов, ведь одна и та же работа может быть законной и похвальной для бельгийского биолога, но противозаконной для его коллеги из Австрии. Каждый ученый может получить от Евросоюза грант только на то, что разрешено в его стране, поэтому, если в совместной работе участвуют ученые из пяти стран, проект утверждают шесть раз: каждый у себя, потом в Евросоюзе.

Об интересном проекте рассказал Бен Сайкс: сейчас в Великобритании создается Национальная сеть по стволовым клеткам Великобритании (UK National Stem Cell Network). Цель проекта — дефрагментация научного потенциала английских ученых в этой области, а также связь с иностранными учеными для совместных работ (в отличие от аналогичного канадского проекта, сеть планирует не раздавать гранты, а лишь способствовать контактам). Подробности скоро можно будет найти на сайте <http://www.uknscn.org/>, этот сайт заработает в ближайшие месяцы, и уже сейчас, когда пишется эта статья, там вывешены контактные адреса.

Наконец, О.А.Хазова (Институт государства и права РАН, Москва) обрисовала правовую ситуацию в России и подчеркнула, что намерения создать законодательную базу ни к чему не приведут, пока нет ответов на самый трудный вопрос: допустимы ли манипуляции с эмбрионами или же их следует считать убийством? В Совете Европы с 2000 по 2003 годы предпринималась попытка выработать в рамках Конвенции о правах человека и биомедицины протокол о защите человеческого эмбриона и плода, но работа зашла в тупик — именно потому, что не удалось достичь единства мнения. (Упомянутая конвенция запрещает создание эмбриона человека в исследовательских целях, но не для лечения бесплодия — тут каждая страна принимает решение сама.) Сейчас в Совете Европы работают над документом о проведении исследований на изъятых или человека биоматериалах. В России, к сожалению, законодательство практически отсутствует, по крайней мере, на федеральном уровне. А значит, и возможно все, что угодно. Единственное, что у нас есть, — инструкции Минздрава, в частности о развитии клеточных технологий в РФ, и положение о банке стволовых клеток. Кроме того, была законодательно закреплена возможность донации ооцитов и эмбрионов (в связи с лечением бесплодия).

Наука

Джек Прайс из Королевского колледжа в Лондоне начал с общих вопросов, таких, как проблема отбора и стандартизации клеток, обеспечение безопасности. Главное опасение, связанное со стволовыми клетками, — их способность к неограниченному делению напоминает о раковых клетках. Прайс описал один изящный ход для предотвращения опасности: ввести в клетку генетическую конструкцию, которая не препятствует делению при температуре 33°C (поэтому клетки можно разводить в культуре), но при температуре тела останавливает деление и заставляет клетку дифференцироваться, превратиться в нервную или мышечную. Он рассказал также про область, в которой работает он сам: лечение нейральных стволовыми клетками повреждений мозга и нейродегенеративных заболеваний. Вылечить генетическое заболевание негенетическими мето-

дами (а, к примеру, хорей Гентингтона имеет генетическую природу) вряд ли возможно, однако и небольшое облегчение для больного — благо.

Использование клеток самого пациента было бы идеальным во многих отношениях: это снимает и проблему эмбрионубийства, и не менее сложную проблему иммунной реакции. Но как добыть в достаточном количестве соматические стволовые клетки из организма взрослого человека? Оригинальное решение предлагает И.В.Викторов (Государственный научный центр социальной и судебной психиатрии им. В.П.Сербского). Стволовые клетки и клетки — предшественники нейронов можно извлечь у пациента из носа — точнее, из обонятельного эпителия и обонятельной луковицы. Физиологам давно известно, что рецепторные нейроны, ответственные за наше обоняние, постоянно обновляются. Викторов с соавторами научились выделять и культивировать стволовые клетки обонятельного эпителия и подтвердили, что их пересадка при травмах спинного мозга у крыс активирует регенерацию и приводит к частичному восстановлению чувствительности и подвижности.

Стюарт Форбс из Эдинбургского университета начал свой доклад об использовании стволовых клеток для лечения заболеваний печени так: «Первым в этой области был орел, клевавший печень Прометея. Как все мы помним, по воле Зевса печень героя обрела неограниченную способность к регенерации...» К сожалению, британские медики пока не сумели превзойти Зевса. Стволовые клетки из самой печени выделить не удастся: в отличие от других органов, она поддерживает свою массу за счет деления зрелых гепатоцитов, поэтому в опытах используют клетки костного мозга. Опыты на мышах показали, что регенерация идет не слишком хорошо. Результаты в клинике с клетками из костного мозга самих пациентов докладчик назвал умеренно обнадеживающими. Возможно, болезни печени — тот самый случай, когда эмбриональным стволовым клеткам найти замену не удастся.

Г.П.Пинаев, руководитель отдела клеточных культур Института цитологии РАН, напомнил, что до того, как попасть в организм, стволовые клетки иногда подолгу живут в плоском блюде с питательной средой, и этот период их биографии определяет многое. Свойства клеток млекопитающих могут сильно изменяться в зависимости от микроокружения. В Институте цитологии разрабатывают методы заместительной клеточной терапии: например, выращивают заменитель кожных покровов — многослойный клеточный пласт, который переносят в рану на полилактидной биodeградируемой пленке, покрытой коллагеном. Испытания в московских клиниках показывают, что так можно лечить не только раны, но и ожоги, трофические язвы, пролежни. На очереди трехмерные структуры: хорошо бы научиться выращивать целый орган на замену, создавая клеткам трехмерный матрикс из биodeградируемых полимеров и белков.

В тех работах, о которых говорилось выше, а также во многих других используются стволовые клетки и клетки-предшественники, полученные у взрослого человека. А чтобы получать клетки для лечения у самого больного, необходимы эффективные и безотказные методы тестирования. Легко сказать «выделим стволовые клетки», а как их найти и отличить среди тысяч других? И как убедиться, что выделенные клетки не растеряли нужных свойств в культуре? Об этом рассказывал К.Н.Ярыгин из Российского государственного медицинского университета. Вместе с коллегами из НИИ биомедицинской химии им. В.Н.Ореховича они получили и исследовали культуры фибробластов кожи, фибробластоподобных клеток пуповины и стромальных клеток костного мозга. О жизнедеятельности клетки и ее пред-



назначении многое можно узнать по белкам, которые синтезируются в ней. Стволовые клетки опознаются также по особым поверхностным белкам-маркерам. Изучение «белковых паспортов» клеток в культуре — сложная, но необходимая задача.

Выступление Н.П.Бочкова, руководителя лаборатории мутагенеза Медико-генетического научного центра РАМН, было посвящено одной из самых животрепещущих тем: безопасности стволовых клеток. Простое цитогенетическое исследование, то есть изучение под микроскопом внешнего вида хромосом, дало неутешительные результаты. При размножении в культуре клеток (как полученных у взрослых людей, так и фетальных) число хромосомных аномалий увеличивается с каждым пересеванием — и это только заметные, бросающиеся в глаза аномалии! Отсюда ясно, что все манипуляции с клетками должны быть как можно более щадящими, и даже это не дает полной гарантии. Кто знает, какие проблемы создаст пациенту одна-единственная клетка с недостатком хромосомы или с одной лишней?

Медицина

В начале следующей сессии доктор Брендон Нобл рассказал о создании в 2003 году центра регенеративной медицины (<http://sscn.co.uk>) — Шотландской сети стволовых клеток, который будет заниматься, помимо всего прочего, и тем, что более всего интересует самого доктора Нобла, — клеточной терапией повреждений кости и хряща. «Химия и жизнь» не раз писала о том, как непросто создать искусственный сустав. Хорошим решением были бы натуральные костные и хрящевые ткани на замену, и здесь могут помочь стволовые клетки. Возможно, с их помощью удастся лечить не только травмы или врожденные дефекты, но и такую опасную «возрастную» болезнь, как остеопороз.

Болезни сердца были и остаются одной из самых страшных угроз для современного человечества. С.В.Гуреев (ФГУ НИИ трансплантации и искусственных органов) рассказал об инъекциях моноклеарных клеток костного мозга пациентам с хронической сердечной недостаточностью. С 2003 года было сделано 215 таких процедур. Клетки вводят в коронарную артерию, после чего они сами находят себе место в миокарде. У пациентов реже бывают приступы, улучшается качество жизни. Но проблема иммунного дисбаланса остается и здесь. О лечении хронической сердечной недостаточности инъекциями аутологических стволовых клеток рассказал и Р.С.Акчурин (Институт клиничес-



Брендон Нобл

Берегитесь СТВОЛОВЫХ клеток



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

кой кардиологии им. А.Л.Мясникова): эта процедура вместе с коронарным шунтированием в клинике дает неплохой эффект.

Возможно, самые впечатляющие результаты представил А.А.Новик, руководитель Клиники гематологии и клеточной терапии в Национальном медико-хирургическом центре им. Н.И.Пирогова. А лечат там страшную болезнь — рассеянный склероз, традиционные методы терапии которой чаще всего дают замедление инвалидизации. «Это заболевание может быть полностью излечено с помощью аутологичной трансплантации кроветворных стволовых клеток», — сказал А.А.Новик. (Об этом методе «Химия и жизнь» постарается рассказать подробнее в одном из ближайших номеров.) Из 46 больных не было ни одного, у кого отсутствовал бы положительный ответ на лечение. Только у 13,8% пациентов болезнь продолжала прогрессировать, хотя и медленнее, а у 55% наступило заметное улучшение. В частности, одной женщине 35 лет была сделана трансплантация в 1999 году. До того она передвигалась в инвалидной коляске и владела лишь одной рукой. После лечения женщина вернулась к нормальной жизни: теперь, через семь лет, она работает в медицинском учреждении, замужем и ждет ребенка.

Конечно, не во всех областях дело обстоит так замечательно. Г.Л.Менткевич (Онкоцентр, Москва) представил результаты применения стволовых клеток в детской онкологии. Именно тут хотелось бы услышать о чудесах — но увы... Реакция «трансплантат против хозяина» у детей, иммунная система которых и без того ослаблена, протекает особенно страшно: «Можно вылечить больного от саркомы и потерять его через несколько лет от иммунологического конфликта». Тем не менее, к примеру, лимфобластный лейкоз в Онкоцентре излечивается в 92% случаев. Вводя больному стволовые клетки от донора, можно вызвать реакцию «трансплантат против опухоли»: при лейкозах он хорошо изучен.

Так что же, оправдают ли стволовые клетки надежды человечества? Чтобы сформулировать главный итог совещания, снова процитирую ректора РГМУ В.Н.Ярыгина: «По крайней мере, ясно следующее: у нас есть стволовые клетки, с ними можно работать, и они приносят пользу».

Автор благодарит за приглашение и помощь в работе над статьей М.И.Соколову, руководителя отдела науки Британского совета



Название статьи подсказано плакатом «Берегись поезда!». На самом деле он не призывает к отказу от железнодорожного транспорта, лишь напоминает об опасности, которая, строго говоря, исходит не от поезда, а от людской беспечности. Это ведь люди устраивают аварийные ситуации или не соблюдают технику безопасности. Как и почему надо беречься поезда (автомобиля, высокого напряжения), знают почти все. Попробуем выяснить, какие опасности таит использование стволовых клеток.

Наверное, главная опасность — это ажиотаж, поднятый вокруг клеточных технологий. Кажется, сбываются вековые мечты человечества починить все, что раньше ремонту не подлежало. Тщетно напоминают медики, что уже несколько десятилетий делают пересадку костного мозга, то есть стволовых кроветворных клеток. Нет, это уже не считается; людей интересуют новейшие технологии, несущие исцеление от сердечно-сосудистых, онкологических и аутоиммунных заболеваний, инфекционных болезней и бесплодия, диабета, остеопороза, болезней Альцгеймера и Паркинсона, хореи Гентингтона (ее все чаще называют на западный манер болезнью Хантингтона), а также различных травм и пороков развития. По оценкам некоторых энтузиастов, к 2010 году клеточная терапия потребует сотням миллионов человек. Но хотя в развитых странах вкладывают в развитие биотехнологических институтов и компаний более 30 млрд. долларов в год, медицина еще не скоро сможет помочь всем страждущим. Между тем огромный платежеспособный спрос превращает клеточную медицину из научной проблемы в товар. Это порождает нездоровую конкуренцию и почву для мошенничества, а серьезных ученых нервнует и мешает им спокойно работать.

Так над чем же они работают, какие проблемы до сих пор не решены? И вообще, когда мы говорим о стволовых клетках, мы о каких клетках говорим?

Стволовая клетка — любая недифференцированная или малодифференцированная клетка, которая способна и собственную популяцию поддерживать, и давать начало более специализированным клеткам-предшественникам: крови, кости, хряща, нервной или еще какой-нибудь ткани. Как следует из этого определения, существует несколько типов стволовых клеток. В организме они специализируются под влиянием клеточного окружения, а в лабораторной культуре — благодаря действию особых факторов, добавлен-

ных в питательную среду. Поэтому теоретически в лаборатории можно и культивировать стволовые клетки, и получать из них специализированные. Опять-таки теоретически стволовые клетки, введенные в больной организм, должны дифференцироваться либо повлиять на собственные клетки пациента — и восстановить повреждение. Но на практике, конечно, не все так просто.

Самые стволовые клетки — эмбриональные (ЭСК). Их добывают из эмбриона на ранней стадии развития, когда он представляет собой бластоцисту — шарик, внутри которого находится клеточная масса (100—200 клеток). Из этой массы и берут клетки для культивирования. Но заставить стволовую клетку превратиться в нужный исследователю клеточный тип непросто, а неправильно дифференцированная клетка, пусть даже одна на миллион, в организме образует тератомы — злокачественные опухоли. (И вообще, нельзя предсказать, куда именно попадет и как поведет себя стволовая клетка в организме.) Пересаженные ЭСК, как и всякий трансплантат, вызывают у реципиента реакцию отторжения. Кроме того, линии ЭСК нельзя долго культивировать — это приводит к многочисленным мутациям.

Чтобы избежать этих проблем, специалисты пытаются освоить терапевтическое клонирование, которое при необходимости позволит получить свеженькую линию ЭСК самого пациента. Именно так, эмбриональных клеток взрослого человека. В упрощенном виде процедура выглядит следующим образом: ядро из культуры соматических клеток пациента пересаживают в лишенную собственного ядра яйцеклетку, а та образует бластоцисту, из которой берут клетки для культивирования. Но проблемы подстерегают и здесь: клоны получаются крайне редко, к тому же у подавляющего большинства нарушена работа многих сотен генов, а отличить на глазок «нормальную» бластоцисту от мутантной нельзя.

Из тканей 9—12-недельных эмбрионов выделяют фетальные стволовые клетки. Они менее универсальные, чем эмбриональные, но их поведение более предсказуемо. С помощью фетальных клеток исследователи пробуют создавать «искусственные органы» — носители, заселенные, например, клетками эмбриональной печени. При использовании ФСК, к сожалению, тоже не исключен иммунный конфликт.

Большие надежды ученые возлагают на стволовые клетки, взятые из эмбрионального мозга (нейральные стволовые клетки): они могут образовать все типы клеток центральной нервной системы человека. Пересаживая эти клетки в поврежденные участки, медики пробуют лечить травмы головного и спинного мозга, повреждения сетчатки и нейродегенеративные заболевания (болезни Альцгеймера и Паркинсона). Но панацеей этот метод не станет. К примеру, при лечении хореей Гентингтона, наследственном заболевании, которое проявляется двигательными нарушениями, изменением поведения и прогрессирующим слабоумием, специалисты отмечали улучшение и стабилизацию у трех пациентов из пяти в течение шести лет. К сожалению, остановить нейродегенерацию с помощью клеточной терапии невозможно именно потому, что болезнь вызвана генетическим дефектом. Вдобавок оказалось, что метод облегчает жизнь не всем, и пока неясно, по каким критериям отбирать пациентов.

Но пожалуй, самая сложная проблема — где брать клетки для подобной терапии. Ведь чтобы метод применялся не в лаборатории, а в клинике, придется поставить получение здоровых абортусов на конвейер, и здесь уже начинаются юридические и этические проблемы. Получить клетки один раз, а потом вечно куль-

тивировать — как уже говорилось, рискованно из-за возможного накопления мутаций. Сейчас фетальные стволовые клетки используют только в некоторых частных клиниках. В России их применение не запрещено, хотя и не разрешено.

И есть, наконец, соматические стволовые клетки (ССК), которые таятся в тканях взрослого организма: костном мозге, мышечной, жировой и нервной ткани, крови, коже. Их дифференцировочный потенциал еще меньше, чем у фетальных, но для клинических целей вполне достаточен: они образуют все клеточные типы той ткани, из которой выделены, а добиться их дифференцировки гораздо проще, чем в случае ЭСК. К тому же пациенту, которому с помощью стволовых клеток подлечили сердце, совершенно не нужно, чтобы эти клетки могли становиться гепатоцитами. ССК можно выделить прямо из ткани пациента, размножить и ему же ввести — тогда не будет проблем с иммуносовместимостью. На них-то и проведена большая часть лабораторных исследований и клинических испытаний.

Их успешно используют для клеточно-тканевой терапии таких заболеваний, как ожоги и сложные переломы. В НИИ трансплантологии и искусственных органов МЗ РФ вылечили женщину, у которой были тяжело ожожены 40% поверхности тела. Раны тщательно очистили и в тот же день на ожог прямо из пипетки нанесли суспензию фибробластов, полученных из стволовых клеток костного мозга. На 1 см² вылили 20—30 тысяч клеток. Через 28 дней пациентку выписали из больницы, а еще через три недели она смогла вернуться к работе — случай впечатляющий, но единичный, и пока нет гарантии, что метод станет массовым. С помощью ССК пробуют также лечить ишемическую болезнь сердца и предынфарктные состояния, печеночную недостаточность и повреждения сетчатки.

Пересадка сперматогенных клеток могла бы помочь многим пациентам онкологических клиник, которые после химио- и радиотерапии теряют способность иметь детей если не навсегда, то очень надолго. Перед курсом химиотерапии можно брать у таких больных образец сперматогенных клеток, а после лечения вновь трансплантировать в семенники. А в одной американской компании планируют с помощью клеточной терапии восстанавливать форму молочной железы у женщин после мастэктомии. Из образца жировой ткани пациентки выделяют смесь стволовых и прогениторных клеток, после чего клеточную суспензию вводят под кожу в область удаленной железы вместе с фрагментами жировой ткани. По замыслу ученых, стволовые клетки будут стимулировать образование сосудов в трансплантате и тем самым помогут восстановлению формы.

Восприимчивость к инфекциям зависит от состояния иммунной системы организма, клетки которой возникают из стволовых клеток костного мозга. Поэтому, пересаживая хроническим больным клетки устойчивых к данной инфекции доноров, медики рассчитывают побороть даже такие тягостные недуги, как туберкулез. На том же принципе основана борьба с аутоиммунными заболеваниями.

Соматические стволовые клетки сейчас получают главным образом из костного мозга пациента, из подвздошной кости. (Это так называемые стромальные, или мезенхимные, стволовые клетки.) Процедура небезопасная и неприятная, и медики пытаются ее избежать. Они либо ищут другие источники мезенхимных стволовых клеток (например, жировую ткань, пуповинную кровь, в которой стволовых клеток очень много, и даже амниотическую жидкость), либо заставляют организм стиму-

ливать выработку стволовых клеток прямо в костном мозге. Пациенту делают инъекции ростовым гранулоцитарным колониестимулирующим фактором, после чего стволовые клетки бурно размножаются, покидают костный мозг и по кровеносным сосудам устремляются к поврежденному месту. Это еще одно замечательное свойство мезенхимных клеток — тянуться к очагу поражения. Если надо, они прибьются к постинфарктному сердцу и превратятся в кардиомиоциты. Коль скоро от травмы пострадали мышечные ткани, стволовые клетки попадут туда, дифференцируются и залатают пробоину. (Однако о лечении миодистрофии, которая поражает всю скелетную, дыхательную и сердечную мускулатуру, пока нечего и мечтать.) ССК могут и подавлять рост некоторых видов злокачественных опухолей. Но по другим данным, терапия мезенхимными клетками, напротив, вызывает рак. И это противоречие — не единственное.

При пересадке красного костного мозга — обычной процедуре при лечении раков крови — у многих пациентов возникает реакция «трансплантат против хозяина». Подавить ее удается далеко не всегда, она может даже убить пациента. Недавно специалисты обнаружили, что, если трансплантат обогащен стволовыми мезенхимными клетками, реакция «трансплантат против хозяина» не развивается. Мезенхимные стволовые клетки стали специально добавлять к трансплантату, чтобы подавить реакцию, а потом появились сообщения о том, что эта добавка вызывает у донора яростный иммунный ответ.

Как разобраться с этими и многими другими неувязками? Критерий истины — практика, на которую нужно время. Поэтому большие надежды и связанная с ними спешка могут быть очень опасными. Не следует думать, что победное шествие нового метода сдерживает только нехватка квалифицированных кадров и самих клеток. Проблема гораздо серьезнее: лечение невозможно сделать безопасным быстро. Для каждого случая надо выбрать оптимальный тип стволовых клеток — например, для лечения инфаркта мезенхимные стволовые клетки подходят лучше эмбриональных, потому что ЭСК не способствуют росту новых сосудов. Затем надо подобрать методы культивирования и отработать всю процедуру на грызунах. Но мышь или крыса не во всем похожи на человека, и лабораторные испытания не заменят клинических. А в клинических испытаниях важны количество пациентов и время наблюдения за ними — как иначе оценить отдаленные последствия? И когда технология будет отработана до автоматизма и станут известны границы ее применимости, останутся пустяки — наладить производство сертифицированных клеток и других необходимых препаратов в нужном масштабе.

Серьезные исследования требуют больших денег. Например, закладка одного образца в банк стволовых клеток стоит около полутора тысяч долларов, инъекция, стимулирующая выброс стволовых клеток в кровь, — две тысячи. Клинические испытания — тоже огромный расход, потому что их участники не платят за лечение, а получают от экспериментаторов страховку. Новые клеточные технологии начнут приносить доход через пять — десять лет. Но многие желают получать прибыль прямо сейчас.

Мир наводнен рекламой, от чтения которой специалисты приходят в ужас. Особенно отличаются косметологи, предлагая препараты на основе якобы стволовых клеток и сопровождая их заведомо ложными заверениями в полной безопасности. По мнению некоторых российских ученых, большинство чудо-косметики вообще никаких клеток не содержит, а что там есть — неизвестно, никто ведь экспертизу не заказывал. Впрочем, рак



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

и другие неприятности могут вызвать не только сами клетки, но и вытяжки из них, и среда, в которой они росли.

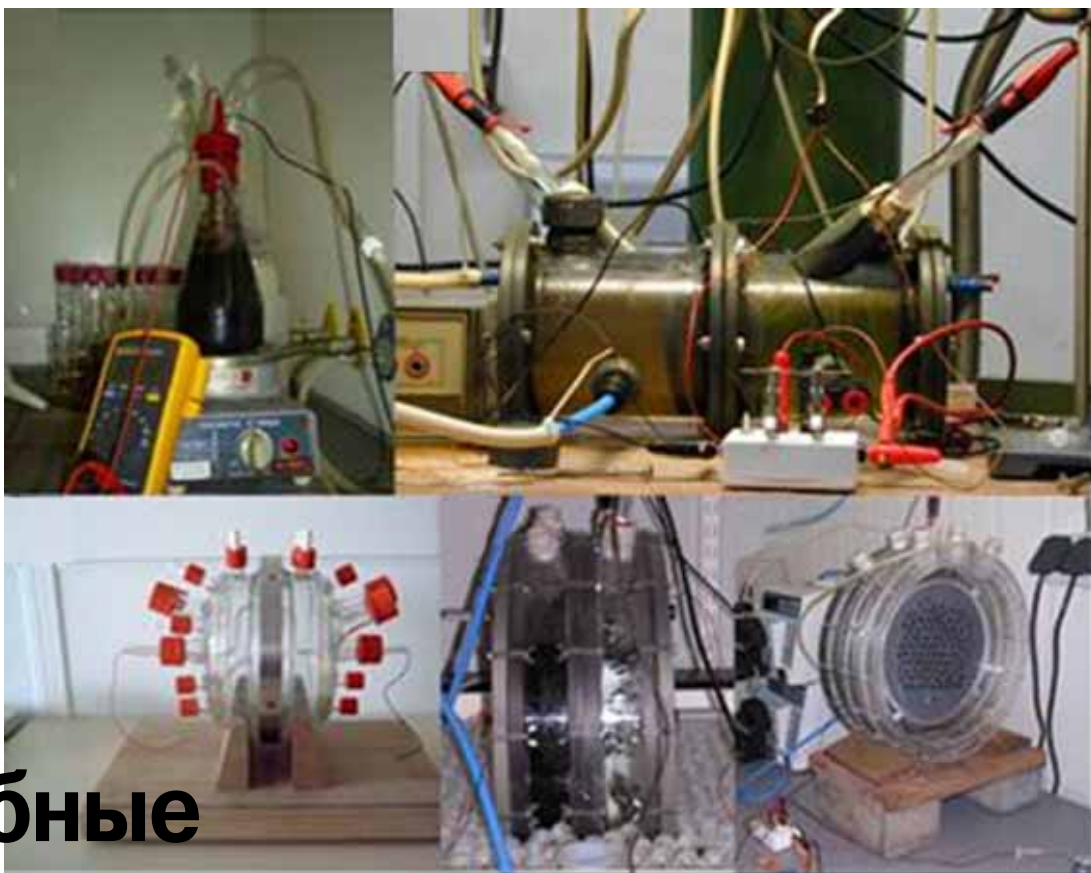
Года полтора назад вся научная общественность славилась сеульского профессора Ву Сук Хванга. Профессор нашел способ с небывалой эффективностью клонировать эмбриональные стволовые клетки, открыл Всемирный центр по созданию индивидуальных линий ЭСК и объявил, что приглашает первых пациентов. Все оказалось обыкновенной фальсификацией. Недавно западные ученые обсуждали результаты работы китайского нейрохирурга Хонгъюна Хуанга. Его сотрудники провели более 400 трансплантаций фетальных нервных клеток больным с травмами спинного мозга. Метод широко рекламировался как эффективный и безопасный, и в очередь на операцию записалось более 3 тысяч человек, готовых заплатить за лечение по 20 тысяч долларов, причем многие собирались приехать из США и других стран, где работы с фетальными клетками запрещены. Естественно, западные коллеги такого не стерпели, тем более что никого из них китаец в свою лабораторию не пустил. Ученые США, Швейцарии и Канады могли только наблюдать за семьей прооперированными пациентами и уверяют, что никому из них легче не стало. К тому же пять человек после трансплантации страдают менингитом и головными болями. По некоторым данным, от осложнений метода умерло уже 13 человек. Эксперты считают, что китайский нейрохирург использует неизвестно какие клетки, обвиняют его в несоблюдении международных стандартов, мошенничестве и дискредитации серьезной науки.

К сожалению, в области дискредитации науки наша страна имеет богатые традиции. Имя Т.Д. Лысенко и его вклад в развитие отечественной биологии известны каждому. При всем своем невежестве Лысенко пришелся ко двору тогдашней власти, потому что пообещал быстрый результат. Быстрой отдачи ожидает от науки и власть нынешняя. Она, например, выделяет деньги на то, чтобы через три года получить готовую ко внедрению технологию лечения стволовыми клетками. Серьезные ученые понимают, что это нереально, но уже находятся коммерсанты от науки, которые, не имея порой даже медицинского или биологического образования, берутся убажить чиновников любым заказанным результатом. При этом конъюнктурщики неизбежно отеснят от источников финансирования серьезных исследователей, и тогда нашу науку ждет новая лысенковщина.

Кандидат биологических наук
Н.Л.Резник

По материалам журнала «Клеточная трансплантология и тканевая инженерия» и научного кафе, которое фонд «Династия» и агентство «Информнаука» провели 12 марта 2007 года в Москве

Доктор
химических наук
С.В.Калюжный,
кандидат
технических наук
В.В.Федорович



Микробные ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

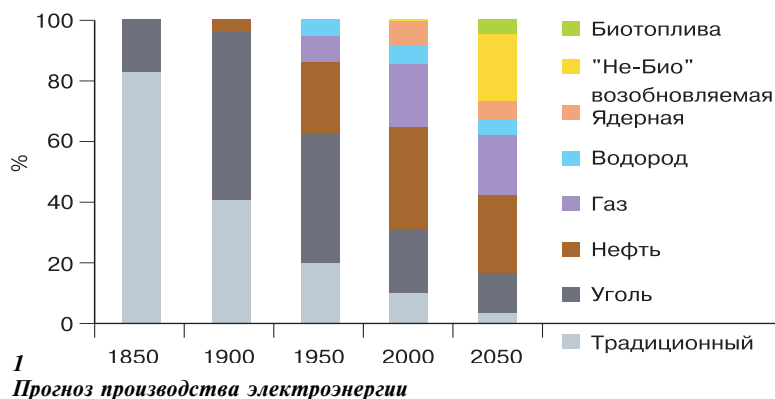
Все специалисты согласны между собой в том, что в ближайшие 50 лет важную роль будут играть возобновляемые источники энергии, которые пока представляют собой лишь незначительную деталь общей картины. В частности, по прогнозам компании «Шелл», в 2050 году биотоплива будут составлять 5% от общего количества потребляемых энергоносителей (рис. 1).

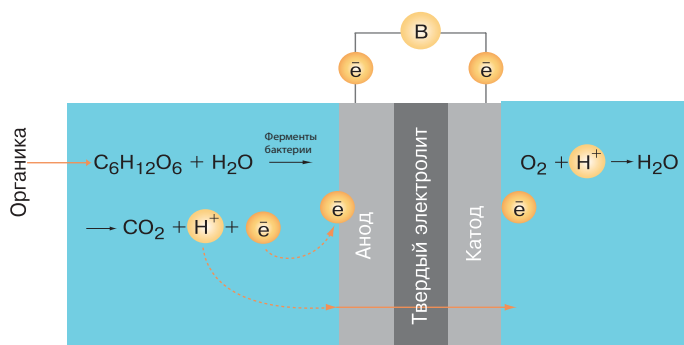
Как можно сделать топливо из биомассы? Наиболее известный способ – получение биогаза (смесь метана и углекислого газа) с помощью анаэробного брожения (см. «Химию и жизнь», 2007, № 1). Эта технология широко применяется в мире (к сожалению, в нашей стране – очень ограниченно), но в целом биогаз – энергоноситель не слишком высокого качества. Биодизель уже появился на рынке, но пока делает только первые шаги. С биоэтиловым спиртом ситуация такая: технология отработана, но производство идет только при мощных государственных или налоговых субсидиях. Что касается биоводорода, то он еще не вышел за рамки лабораторных исследований, к тому же из-за низкой эффективности процесса не очень понятны перспективы его промышленного применения. Но есть еще один путь: получать энергию в биотопливных элементах, причем сразу в виде электроэнергии. Этот путь со временем может оказаться весьма и весьма перспективным, поскольку по мере развития общества в структуре потребляемой энергии все больше места занимает электрическая, как наиболее универсальная и удобная для массового потребителя.

Если сравнить различные биотоплива и как стандарт взять сахар, то из одного килограмма (переводя его предварительно в разные топлива) можно получить примерно 1 кВт·ч электроэнергии вне зависимости от вида биотоплива. А стоимость производства электроэнергии тра-

диционными способами в Европе сейчас почти в два раза меньше, чем себестоимость производства 1 кг сахара! При таком соотношении цен специально выращивать биомассу, чтобы трансформировать ее в электричество, можно только при очень больших субсидиях. Гораздо перспективнее в качестве сырья для производства электроэнергии использовать органические отходы, которые либо вообще ничего не стоят, либо имеют отрицательную стоимость (то есть их еще надо очищать и перерабатывать, вкладывая в это деньги). Вот здесь и пригодится микробный топливный элемент.

Как добыть электричество из отходов, в которых есть органические загрязнения? Можно, например, по традиционной технологии получить из них биогаз, содержащий метан, который потом, очистив, с помощью газогенератора превратить в электричество. Эффективность всей этой трехстадийной цепочки – 30%. Конечно, хоте-





2 Микробный топливный элемент (МТЭ)



ТЕХНОЛОГИИ

лось бы иметь менее сложную и более эффективную технологию. Эту задачу решает микробный топливный элемент (МТЭ) (рис. 2).

Органические вещества – это, образно говоря, «резервуар с электронами», которые можно направить в нужное для человека русло. Такое по силам микробам, поскольку у них есть все необходимые для этого инструменты. Дело в том, что клетка пронизана множеством электрон-транспортных цепей и представляет собой «микроэлектростанцию». Только электроны у клетки крутятся внутри, а нам надо вытащить их наружу, чтобы они делали полезную работу. Поместив клетку в анаэробные условия и добавив стандартный набор из анода, проникаемой для протонов мембраны и катода, можно организовать процесс таким образом, чтобы электроны из органических отходов экстрагировались клеткой и попадали на анод, а оттуда уже во внешнюю цепь. Таким образом, МТЭ – это система, в которой бактерии направляют электроны не на свои традиционные акцепторы, а отдают их вовне. Фактически человек обманывает бактерии, заставляя их работать на себя.

Микробные топливные элементы могут быть медиаторными (за счет внешних или внутренних переносчиков электронов, проникающих через клеточную мембрану) или безмедиаторными (например, на основе бактерий *Geobacter sulfurreducens* – у них есть выступающие внешние цитохромы, которые могут работать как нанопровода, транспортирующие электроны на любые внешние поверхности).

Химические реакции, проходящие в МТЭ, довольно просты. Если мы возьмем глюкозу как типичное органическое топливо, то в анодной части МТЭ у нее в идеале можно отобрать все электроны (у глюкозы их 24), которые пройдут через внешнюю цепь, сделав полезную работу, и на катоде встретятся с протонами, прошедшими через полупроницаемую мембрану, и кислородом. Таким образом, в МТЭ мы сжигаем топливо с помощью бактерий, но та химическая энергия, которая выделяется при его окислении и в обычной ситуации излучается в виде тепла, в данной конструкции преобразуется в полезную электрическую энергию:

анод: $C_6H_{12}O_6 + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 24H^+ + 24e^-$;
катод: $6O_2 + 24H^+ + 24e^- \rightarrow 12H_2O$;
общая реакция: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{электричество}$.

Конечно, глюкозы в сточных водах или отходах практически нет (к тому же для таких отходов можно найти лучшее применение), а вот ацетат – типичный компонент сточных вод. Химия его превращения в МТЭ такая же, только доступных электронов у ацетата в три раза меньше:

анод: $CH_3COOH + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 8H^+ + 8e^-$;
катод: $2O_2 + 8H^+ + 8e^- \rightarrow 4H_2O$;
общая реакция: $CH_3COOH + 2O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + \text{электричество}$.

Технология МТЭ пока в целом находится на лабораторном уровне (фотографии различных лабораторных установок см. в начале статьи). Чтобы понять, чего вообще можно ожидать от такой системы, надо посмотреть ее электрохимические потенциалы. Стандартный окислительно-восстановительный потенциал пары «глюкоза/ CO_2 » равен $-0,41$ В (для пары «ацетат/ CO_2 » $-0,27$ В). Но так как бактериям тоже требуется энергия для поддержания их жизнедеятельности, то в анодной части МТЭ обычно устанавливается несколько более высокий потенциал – около $-0,2$ В. Переходя теперь к катодной части, отмечаем, что стандартный окислительно-восстановительный потенциал пары « O_2/H_2O » равен $+0,82$ В. Таким образом, максимальная разность потенциалов, которую можно получить между анодом и катодом в МТЭ, равна $1,02$ В. Собственно говоря, это тот рубеж, к которому надо стремиться, оптимизируя конструкции МТЭ.

Возможны разные типы и конструкции топливных элементов (табл. 1). Например, у нас в МГУ мы сейчас работаем с мультieleктродными топливными элементами, используя стандартные сочетания анаэробных микроорганизмов. А до этого мы долго исследовали так называемые сульфат-восстанавливающие МТЭ, которые дают вполне приличную удельную мощность с квадратного метра анода. Сульфат-восстанавливающие бактерии (СВБ) переносят электроны с органического субстрата на сульфат, восстанавливая его до сульфида. Сульфид,

Таблица 1

Тип микробного топливного элемента / материал электрода	Микроб / топливо, которое перерабатывает микроб	Мощность Вт/м ²	Кулоновская эффективность, %
Осадочный / Pt или графит	Смешанная колония / разложившиеся органические отходы	0,01	Не определялась
Безмедиаторные / графит	<i>Geobacter sulfur-reducens</i> / ацетат	0,016	96,8
Медиаторные, фотобактерии / углеродная ткань	<i>Synechococcus</i> sp. / свет	0,3–0,4	2,5–4,0
Безмедиаторные / графит + MeO	Смешанная колония / сточные воды производства сахара	0,1–0,4	15–30
Безмедиаторные / графит	Смешанная колония / глюкоза	3,6	89
Сульфат-восстанавливающие / графит+Co(OH) ₂	Смешанная колония / сточные воды производства сахара	1,5 (короткое время)	35

будучи электрохимически активным веществом, самопроизвольно окисляется на аноде и отдает ему электроны, превращаясь обратно в сульфат:

биологическая реакция: $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{S}^{2-} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;

анодная реакция: $\text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-$;

катодная реакция: $2\text{O}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}$.

К сожалению, у такого элемента есть важные недостатки. Во-первых, мы не можем существенно увеличить его емкость по сульфиду, поскольку последний весьма токсичен для микроорганизмов, в том числе для сульфат-восстанавливающих. Кроме того, электрохимическое окисление сульфида часто проходит не полностью, из-за чего получаются побочные продукты (сера и тиосульфат) и соответственно концентрация переносчика электронов в системе понемногу снижается. И это лишь две проблемы из многих, поэтому мы сегодня не связываем с сульфат-восстанавливающими МТЭ больших надежд.

Основной поток исследований в лабораториях всего мира ориентирован на использование обычных (не сульфат-восстанавливающих) ассоциаций анаэробных микроорганизмов. Типичные характеристики МТЭ, полученные к настоящему времени, таковы: удельная мощность — 40–250 Вт/м³, вольтаж — 0,2–0,6 В (при теоретическом максимуме в 1 В — см. выше), кулоновская эффективность (то есть сколько электронов потребленного топлива превращаются в электрический ток) — 15–30%. Таким образом, МТЭ могут работать лучше: до теоретического максимума еще далеко.

Кроме технических проблем, о которых чуть ниже, есть и другое узкое место — их стоимость. В прошлом году один кубический метр МТЭ стоил 4000 евро, причем основной вклад, как и в химическом топливном элементе, сюда вносит стоимость протон-проницаемых мембран. Если пересчитать на 1 кВт·ч производимой электроэнергии, то выходит, что, полученный в МТЭ, он стоит 1,6 евро — то есть в десять раз больше, чем 1 кВт·ч, полученный традиционными способами.

Тем не менее МТЭ уже кое-где применяют на практике. Только один пример — так называемый осадочный топливный элемент (рис. 3) для погодных буйев. Его анод находится на дне водоема в анаэробных условиях, а катод — в аэрируемом приповерхностном слое, что и создает разность потенциалов. Такими МТЭ много занимается научно-исследовательская лаборатория Военно-морского флота США, поскольку погодный буй в автономном режиме может мерить значения pH, температуру, скорость ветра и т. д., а также хранить и передавать эту информацию на базу. Важное его достоинство в том, что он практически не требует обслуживания.

Есть у микробных топливных элементов и технические проблемы, которые предстоит решить. Первая — эффективность анода, поскольку до сих пор не удается достичь приемлемой гармонизации между биологическими и электрохимическими реакциями. Кроме того, у подобных элементов может происходить постепенное угнетение биологической активности из-за образующихся продуктов. Вдобавок на электродах появляется биопленка, часто создающая ограничения для массопереноса. Есть проблемы и с внешними медиаторами (переносчиками электронов между клетками и анодом): хорошие медиаторы, как правило, токсичны для клеток, а нетоксичные работают не очень эффективно. Здесь просматривается обширное поле работы для химиков-синтетиков.

Не все просто и с катодом (эти проблемы общие и для химических топливных элементов) — возникают перенапряжение и образование перекиси водорода. В этом пла-



3

Погодный буй

не биоанод, не генерирующий перекиси, — весьма перспективная альтернатива. Наконец, по-прежнему очень дороги протонпроводящие мембраны, которые в настоящее время используют во всех топливных элементах.

По всем этим причинам внедрение МТЭ пока тормозится, но у них есть огромный плюс — топливом может служить любая органика, то есть практически любые отходы. Поэтому МТЭ могли бы решать не только энергетическую проблему, но и экологическую. Реальный их конкурент в настоящее время — анаэробное брожение и получение биогаза (табл. 2).

Если вернуться к сточным водам, то современный технологический стандарт для их экономической очистки — это анаэробный реактор с восходящим потоком через слой гранулированного ила (UASB-реактор). Средняя проектируемая нагрузка такого реактора 10 кг ХПК/м³/сут, при этом около 85% органических загрязнений переходит в биогаз. Учитывая стандартную эффективность газогенераторов (38%) и электроэнергетическую эффективность связки UASB-реактор — газогенератор (32%), можно оценить, что удельная мощность UASB-реактора равна примерно 0,5 кВт/м³. Между тем даже наилучший из лабораторных МТЭ (табл. 1) пока не дотягивает до этой величины.

Чего можно ожидать от микробных топливных элементов, если удастся гармонизировать микробиологические и электрохимические реакции в анодном пространстве? Если мы сумеем организовать монослойное заполнение поверхности пористого анода биомассой, то удельная мощность МТЭ возрастет до 1,5 кВт/м³. Если к тому же найдется эффективный медиатор, то удельная мощность такого МТЭ будет почти на порядок больше, чем у связки UASB-реактор — газогенератор. Все эти пути совершенствования вполне реальны, так что, вполне возможно, МТЭ, работающие на отходах, ждет большое будущее.

Следует отметить, что все-таки анаэробное брожение нельзя считать прямым конкурентом МТЭ, так как у них разные «экологические» ниши. Дело в том, что первый процесс можно применять только для концентрированных сточных вод с умеренной температурой (30°C), а МТЭ работают и с разбавленными растворами при низких температурах — для нашей страны это немаловажно. МТЭ довольно легко интегрировать в систему сточных вод. Как теоретически улучшать мощность микробных элементов, понятно, главное — воплотить это на практике. Тогда у этой технологии был бы шанс на массовое внедрение.

У нас производится 56 км³ сточных вод в год, содер-

Таблица 2

Метод	Нагрузка, кг ХПК/м ³ в сутки	Кулон. эффект. %	Удельная мощн., кВт/м ³
UASB-реактор + газогенератор	10	32	0,5
Наилучший из лабораторных МТЭ	3	65	0,36
МТЭ с монослоем биомассы на пористом электроде(теоретически)	10	70	1,5
Медиаторный МТЭ	32	70	4,7

ХПК — то количество кислорода, которое необходимо, чтобы окислить 1 г вещества

жащих 11,2 миллиарда тонн органики, которую как-то надо удалять. Для этого на каждый ее килограмм приходится тратить (по традиционным технологиям с активным илом) примерно 1 кВт-ч электроэнергии. Если взять МТЭ даже с их сегодняшней эффективностью 30%, то с их помощью можно было бы получить из сточных вод 14,8 миллиарда кВт-ч электроэнергии, что вполне покрывает расходы на их очистку плюс даст экономию 3,4 миллиарда кВт-ч (эти воды не надо будет аэрировать). Таким образом, общее производство и сбережение электроэнергии составит 18,2 миллиарда кВт-ч, что равно 2% от производства электроэнергии в России в 2006 году.

Другое неожиданное применение МТЭ — в так называемых гастророботах (буквально: робот с желудком, то есть биоэлектрохимическая машина, обеспечивающая все свои энергетические нужды сбраживанием реальной пищи с помощью микроорганизмов). В отличие от

обычных роботов, нуждающихся в периодической подзарядке батарей от стационарных источников электроэнергии или Солнца, гастророботы незаменимы для автономных (без присутствия человека) миссий, например в безлюдных, диких или опасных уголках Земли. В зарубежной литературе такие миссии называют «запустить и забыть».

Конечно, создание подобных роботов сопряжено с решением весьма и весьма нетривиальных задач робототехники (идентификация и сбор пищи в природе, ее пережевывание и заглатывание, а также удаление отходов), но сердцевина проекта — создание надежного МТЭ, способного получать энергию из реальной пищи. Первый прототип гастроробота под названием «Гастроном», создали в университете Южной Флориды. «Гастроном» кормят вручную кубиками сахара, и он пока не делает ничего полезного, но может «переваривать» сахар и превращать его в электричество, с помощью которого питается электромотор, приводящий «Гастронома» в движение.



ТЕХНОЛОГИИ



АНАЛИЗАТОРЫ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ



630090 Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, 5, ЗАО «КАТАКОН»
телефон +7(383) 3397265, 3331084;
факс (383) 3308766,
e-mail: catacon@ngs.ru
www.catacon.ru

ЗАО «КАТАКОН» предлагает

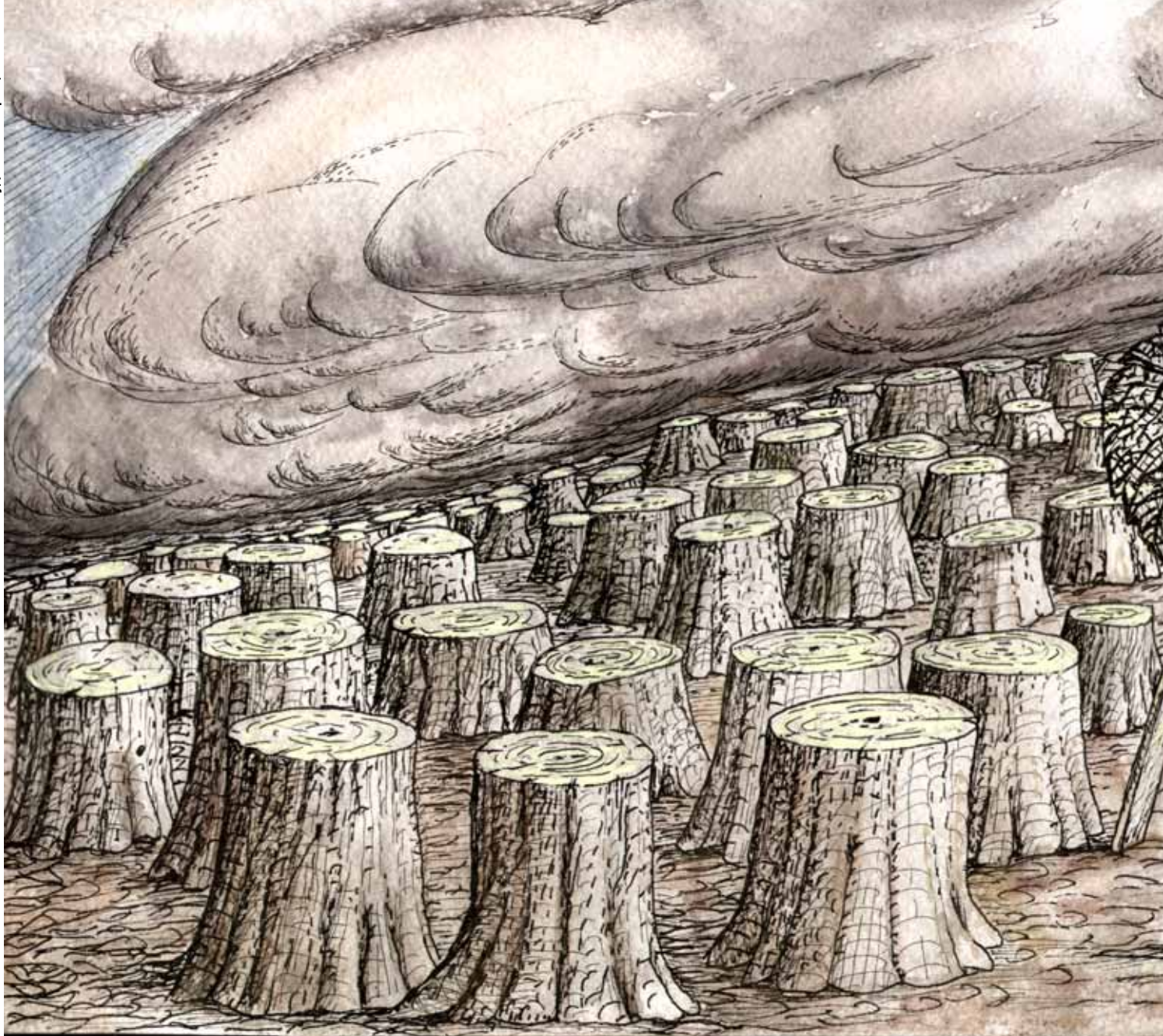
совместную разработку ЗАО «КАТАКОН»,
Института катализа им. Г.К.Борескова СО РАН,
Института физики полупроводников СО РАН

Измерение удельной поверхности приборами серии **СОРБОМЕТР** базируется на тепловой десорбции аргона или азота методами БЭТ и STSA. Приборы эффективны для определения текстурных характеристик дисперсных и пористых веществ и материалов в научных исследованиях, в промышленности (контроль качества сырья и готовой продукции), а также в учебных целях. Измерения прибора **СОРБОМЕТР** основаны на однотоочечном методе БЭТ, **СОРБОМЕТР-М** — на многотоочечных методах БЭТ и STSA. Метод STSA позволяет определить объем микропор образца.

Технические характеристики приборов

Диапазон измеряемой удельной поверхности 0,1–2000 м²/г
Диапазон относительных парциальных давлений газа-адсорбата 0,03–0,95
Полная автоматизация цикла адсорбция-десорбция.
Встроенная в прибор станция подготовки исследуемых образцов к измерениям.
Управление процессом измерения и обработка результатов с использованием ЭВМ.

Мы обучаем персонал потребителя работе на приборе, обеспечиваем техническое и методическое сопровождение прибора во время эксплуатации.



Мое открытие экологии

Доктор химических наук
Л.И. Богуславский

Первое знакомство и... первое разочарование

Посвятив большую часть своей жизни сугубо конкретным вещам в такой специфической и достаточно узкой области знаний, как электрохимия, я неожиданно для себя (но не случайно!) предстал перед Экологией, чтобы приобщиться к тому взгляду на мир, который она дарит новообращенному. Первым впечатлением от чтения экологической литературы было ощущение какой-то вторичности текстов. Где-то уже было сказано о тех явлениях и процессах, которые отнесены к экологическим. Много можно обнаружить в биологии и разных ее разделах, кое-что в химии и химической технологии, что-то в физике и медицине. Я чувствовал, что заключение ложно, но где цепочка рассуждений дает сбой, понять не мог.

А дальше было вот что. Я виню во всем свое упрямство. Это было упрямство, замешанное на завещанной нам когда-то уверенности (А. Эйнштейн), что, не опасаясь обмана, до истины всегда можно докопаться, пока мы имеем дело с Природой. Подобные соображения, а точнее сказать, ощущения побудили меня обратиться к доступным мне справочным изданиям, учебникам, всяким там руководствам и энциклопедиям. Этот рейд хотя и пополнил запас моих знаний об эколо-



ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

гии, все же при первом подходе не дал ответа на главный вопрос: существует ли некая общая философия в том множестве «экологий», которые присутствуют сегодня в публикациях? Вполне возможно, что я не нашел «правильной» книги или невнимательно читал, но желание разобраться не было удовлетворено в полной мере. Поэтому я решился на второй подход. И хотя здесь не идет речь о соревнованиях по поднятию тяжестей, элемент азарта в моих поступках все же был.

Теперь я поделюсь тем, как я пытался накопать что-то новое, для себя разумеется. Первое, что я выяснил: ни в коем случае не следовать совету радио «Эхо Москвы». Там есть передача, кажется про огород, которая сопровождается рефреном «копай глубже!». Так вот, этот рефрен я заменил для себя на другой: «Копай в другом месте!»

Я решил обратиться к истории становления экологии, чтобы понять, как определенная сумма знаний консолидировалась в ту экологию, с которой мы имеем дело сейчас. Меня интересовала не хронология открытий, не история приоритетов той или иной группы исследователей. Меня интересовало движение идей, даже точнее, направление их движения, приведшее к тому видению мира, что теперь называют системным экологическим мышлением. К тому же было желательно уточнить взаимоотношения экологии с другими на-

уками. В конечном счете мне предстояло узнать, чем экология отличается от других наук и что общего есть у разных частей, ее составляющих. Забегая вперед, могу сказать, что кое-чего я добился. Большинство моих достижений состоит в приобретении таких взглядов на мир, о которых я ранее даже и не помышлял.

Эволюция понятия «окружающая среда – организм»

Самое слово «экология» было впервые употреблено немецким зоологом Эрнстом Геккелем в 1866 году. Он использовал этот термин в приложении к экологии человека. Однако восемью годами ранее Генри Дэвид Торо в своей знаменитой книге «Жизнь в лесу» был, по-видимому, первым, кто предложил это слово для обозначения жизни человека в гармонии с природой.

Александр фон Гумбольдт, рассматривая отношения между организмами, ввел понятие «окружающая среда». Этим было положено начало детализации в исследовании экологических процессов. Сам термин предполагает выделение определенного субъекта, который как-то соотносится (взаимодействует) с остальной частью, названной «окружающей сре-

дой». Раз появилась окружающая среда, значит, появился и тот, кого эта среда окружает. Кто он? Человек, организм, взаимодействующий с окружающей средой. Так появилась структура объекта исследования.

Это понятие получило дальнейшее развитие. В 1935 году английский эколог Артур Тансли ввел термин «квазиорганизм», когда рассматривал целую группу растений. В двадцатых годах экологии, исследующие популяции животных, пришли к концепции экологической ниши, которую занимает организм, квазиорганизм или целое сообщество. Впервые, по-видимому, это заявил Чарльз Элтон в 1927 году. До Элтона понятие «ниша» было чисто абстрактным: ниша имеет только два состояния, может быть заполненной или пустой. В 1960 году Гаррет Хардин сформулировал принцип соревновательного исключения, который сводится к тому, что два различных вида не могут занимать одну и ту же нишу. Этот принцип стали обсуждать во многих университетах как свежую экологическую идею, когда появилась работа молодого в то время русского эколога Георгия Ф. Гаузе (1910–1986). В своей докторской диссертации он анализировал соревновательные соотношения в животном мире, а затем изложил основные результаты в маленькой книжечке, которая называлась «Борьба за существование» и была издана в 1935 году. В том же году Тансли ввел понятие «экосистема», которое сейчас широко используется в разных аспектах.

Что такое «взаимодействие»?

Постепенно стало ясно, что понимается под термином «взаимодействие». Чарльз Дарвин показал, что борьба за существование — движущая сила изменений, которые наблюдаются в живой природе. «Выживают приспособленные» — эта крылатая фраза принадлежит Герберту Спенсеру, философу, эволюционисту и во многом последователю учения Дарвина. Впрочем, Спенсер все же не был эволюционистом дарвиновского типа, он скорее верил в то, что наиболее важный механизм изменений — это прямое приспособление к окружающей среде.

Борьба за существование, по Дарвину, включает все формы соревнования между организмами, прямые и косвенные. Заметим к тому же, что различные типы кооперации организмов (симбиозы) также должны быть вовлечены в рассмотрение процессов эволюции. Я выбрал для сравнения максимально различные типы организмов, находящиеся на разных ступенях развития, в надежде обнаружить некоторые общие черты даже для таких несхожих систем. Соревнование между различными организмами подразумевалось прежде всего как межвидовая борьба. Однако, как обнаружил Дарвин, соревнование внутри популяции тоже может порождать изменения.

Утверждение Дарвина в бывшем Советском Союзе оспаривалось многими, в том числе и дарвинистами. «Человек человеку — волк» или «Человек человеку — друг и товарищ»? Всяко бывает. С одной стороны — Архипелаг ГУЛАГ, Холокост, Косово, гражданские войны... Список, увы, может быть продолжен. С другой стороны — альтруизм и взаимовыручка. Можно ли рассматривать происходящее в контексте борьбы за выживание на уровне сообществ, когда, чтобы выжить, приходится пожертвовать отдельным индивидом? Опять-таки вопрос не новый — прямо скажем, изрядно заезженная тема политбесед о том, что интересы общества должны доминировать в умах и делах его членов. Даже есть лирическая песня времен Второй мировой войны: «Первым делом, первым делом самолеты, ну а девушки, а девушки потом». Но то была война, Отечественная война, и в тот период эта доминанта, положенная на талантливую музыку, действительно не имела альтернативы. Ведь основной целью общества того периода было выживание. Но представьте себе на минуту, что вы будете продолжать петь ту же песню и впредь. Может так случиться, что и летать-то на этих самолетах в таком обществе будет некому.

Примеров доминирования интересов популяции над интересами ее отдельных членов много. Вспоминается существовавший некогда обычай «примитивных» народов Крайнего Севера избавляться от стариков и старух или обычай спартанцев уничтожать слабых детей. Как тут не вспомнить и бытующий у нас в медицинской практике отказ в госпитализации или в польовании «скорой» лицам старше 80 лет. При этом мы не найдем специального закона, ограничивающего оказание помощи по причине преклонного возраста. Но в практической жизни этот феномен возникает стихийно. А ведь стихийность — это признак глубины процесса. Итак, мы приходим к мысли, что интересы сообщества могут войти в противоречие с интересами особи, частицы этого сообщества.

Вернемся, однако, к «слепой» природе. Могут ли в природе существовать несовпадения интересов отдельной особи и коллективного организма? Здесь я приведу один факт из анатомии рабочей пчелы, который неизменно ввергает меня в величайшее изумление. Известно каждому, что пчелы жалят, защищая свой дом. Осы делают то же самое. Разница лишь в строении жала. У ос это гладкая игла, и они могут использовать свое оружие многократно. У пчелы жало с зубринами, она не может вытащить его, не повредив внутренностей. Пчела, ужалив, должна погибнуть. Меня всегда поражала нелогичность природы в этом случае, а поскольку я пчеловод, природа напоминала мне о своей загадке каждый раз, когда приходилось вытаскивать жало.

Прошло немало времени, прежде чем я разглядел в наблюдаемом феномене логичность природы. Просто не хватало фактов, чтобы понять внутреннюю логику взаимоотношений внутри сообщества пчел. Нужно было знать и принять во внимание, что внутри сообщества существует иерархия, в основе которой лежит возраст особи. Молодые пчелы строят соты, у них направленно работают восковыделительные железы. В старшем возрасте пчелы летают за взятком. А внутриульевые работы и охрана жилища — удел пчел на последнем этапе их жизни. Они дежурят у летка и отгоняют и жалят тех, кто имеет «чужой» запах. Такие старые пчелы уже не могут быть добычками, и их гибель сокращает число потребителей меда, что хорошо для колонии в целом.

Здесь мы обнаруживаем условие, которое необходимо соблюдать в экологии: «Для адекватного понимания необходимо преодолеть неполноту знаний об изучаемой системе». Оно справедливо в любой другой науке и, казалось бы, тривиально. Однако экология оперирует огромным числом параметров, многие из которых могут быть недооценены по значимости или просто неизвестны, и установление максимально полной системы параметров представляет собой непростую задачу. В дополнение к факторам, осложняющим усилия тех, кто пытается докопаться до истины, выясняется, что сама исследуемая система может изменяться во времени.

Механизм принесения в жертву части для того, чтобы спасти целое, можно обнаружить, даже обратившись к еще более простым системам. Интенсивно изучаемый в последнее время механизм апоптоза (самоубийства клетки) — прекрасная иллюстрация подчинения части интересам целого: клетка прибегает к самоуничтожению, когда это идет на пользу более высокой по иерархии структуре.

Теперь мы убедились, что интересующий нас феномен существует на уровнях разной сложности. Самым неожиданным для меня обстоятельством оказалось то, что совершенно разные явления, с разными механизмами имеют тем не менее некую общую черту: уничтожение части, чтобы повысить вероятность выживания. Причем если я готов усмотреть участие разума и логики в поступках людей, то как быть с зазубренными жалами пчел, как быть с оставлением ящерицами своих хвостов в случае опасности, как понять апоптоз клеток? Ведь в последнем случае проблема решена не на поведенческом уровне, а на анатомическом уровне или даже на уровне четвертичных химических структур. Что это? Высшая муд-

рость Творца или торжество термодинамики неравновесных систем, иначе говоря, слепая природа? Задать вопросов можно много, особенно если привлечь на помощь малую толику воображения. Представим себе одновершинную пирамиду иерархий. В чьих интересах работает механизм принесения в жертву части себя? В пользу следующей сверху структуры? Или природа устроена так, что дает возможность перескочить ближайший иерархический уровень? Вряд ли сегодня имеются исчерпывающие ответы на эти и многие другие вопросы, а частичные ответы не обязательно верны.

Но вернемся к термину «взаимодействие». С именем Чарльза Дарвина связана эволюционная модель в экологии. Фактически Дарвин, опираясь на работы своих предшественников, ввел понятие о стреле времени в экологическую науку. Это означает, что взаимодействие с окружающей средой приводит к изменению во времени как самих организмов, так и окружающей среды.

Экология приобретает космические масштабы

Существовала и другая линия развития в экологии, которая началась с работ Альфреда Лотки, а потом и В.И.Вернадского. В 1925 году Лотка опубликовал необычные математические расчеты, где он предложил, по сути, математическую модель превращения энергии внутри биосферы. Это нововведение открыло новую главу в физической биологии, а затем и экологии. В 20-х годах прошлого столетия В.И.Вернадский ввел понятия «биогеохимические циклы» и понятие «ноосфера».

Мы уже упоминали о многокомпонентности экологии. Она обречена иметь дело с большим числом переменных и строить гипотезы по неполному набору данных. Это означает, что математическое моделирование по мере роста мощи компьютерной техники будет занимать все больший сектор в наборе экологических методов. Технику математического моделирования впервые ввел Гаузе, затем ее подхватили в американской и европейской экологической науке двадцатых годов. Математическая экология как таковая началась с анализа роста популяции. Здесь нужно обратиться к работе Ральмонда Перла и Эндрю Рида в 1920 году: они исследовали рост человеческой популяции и показали, что она имеет S-образную форму, которая получила название логистической кривой. В 1939 году Гаузе предложил принцип соревновательного исключения как центральный в структуре экологического сообщества.

Значительный вклад сделали Юджин Одан и Ховард Одан, которые развили математическое моделирование экосистем в пятидесятых годах. Примечательная особенность математического моделирования состоит в том, что оно кажется сверхупрощенным и, кроме того, дает заключения, многие из которых не всегда возможно проверить практически. На это, в целом справедливое, замечание можно еще раз напомнить, что экология необыкновенно многокомпонентная (лучше сказать, всеохватывающая) наука, и тут невозможно избежать различных многочисленных предположений. Поэтому прогресс в этой области, скорее всего, зависит от мощности вычислительной техники, с одной стороны, и от прогресса в автоматизированном сборе входных параметров, которые положены в основу той или иной модели, с другой стороны. Если прибегнуть к аналогии, то можно сравнить моделирование экосистемы с прогнозом погоды: чем больше плотность метеостанций и чем больше параметров они выдают, тем прогноз точнее.

Таково очень краткое и далеко не полное описание основных этапов экологической науки. Нетрудно заметить, что первые шаги в той области знаний, которая стала позже называться экологией, были сделаны биологами в процессе решения проблем, возникших именно в рамках биологии. Неудивительно поэтому, что «биологическое видение» до сих пор преобладает в экологическом подходе к явлениям, которыми



ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

занимается экология. Однако постепенно выяснилось, что развитие представлений о разного рода взаимодействиях на разных уровнях организации живых систем часто выходит за рамки традиционной биологии и логика событий требует или расширить традиционные рамки самой дисциплины, или рассматривать возникшую систему взглядов как отдельную дисциплину. На практике оба эти процесса шли параллельно.

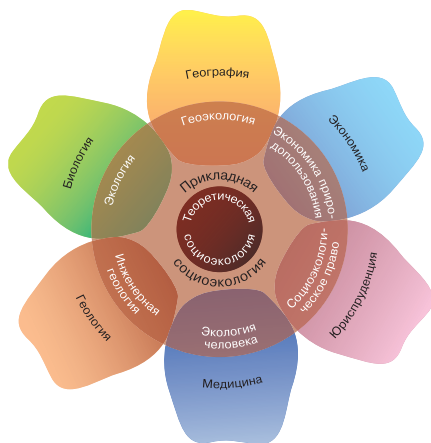
Экологическая доктрина в движении

Словарь Андре Протеуса «Наука об окружающей среде и технология» (Dictionary of Environmental Science and Technology, J. Wiley & Sons, 2000), выдержавший уже четыре издания, так определяет предмет экологии: «Это учение о взаимоотношениях между живущими организмами, а также между организмами и средой их обитания. В особенности это взаимоотношения между сообществами животных и растений, взаимодействие их энергетических потоков и их собственное взаимодействие с окружающей средой».

Вряд ли такое определение сегодня можно признать всеобъемлющим. Почему — это станет понятным из соображений, приведенных ниже. Интуитивно оно воспринимается как относящееся прежде всего к миру биологии. Отметим здесь, что человек и человечество тоже могут быть включены в это определение как «живущий организм».

Возникает резонный вопрос, насколько целесообразно втискивать многомиллиардное человечество в термин «живущий организм»? Признать человеческое сообщество в этом качестве означает, что биологическая сторона человеческой сущности ставится на главное место. Когда Торо проповедовал радости жизни в лесу, он имел в виду переживания и ощущения отдельного человека. Когда Вернадский пишет о ноосфере, он имеет в виду человечество. Ясно, что жить в гармонии с природой не одиночке, а миллионам людей, задача не просто другого масштаба — это качественно иная задача, которая не может быть решена без новых и новейших технологий. Однако новые технологии — не достижение отдельного индивидуума, а результат усилий человеческого общества. Таким образом, понятие «новые и новейшие технологии» включает в себя не только продвижение в технике наших отношений с природой — всякие там нанотехнологии или водородную энергетику, но и в технике межчеловеческих отношений.

Теперь, добавив изрядную долю скепсиса к компактному и изящному определению Протеуса, остановимся на взаимоотношениях экологии со смежными дисциплинами. В книге Георгия Бачинского «Социоэкология. Теоретические и прикладные аспекты» сделана попытка определить соотношения между экологией и конкретными, уже давно сложившимися науками, такими, как биология, география, экономика, юриспруденция, медицина, геология. На схеме, известной под названием «цветок Бачинского» (рис. 1), экология занимает центральное место. Кружки (лепестки), изображающие конкретные науки, пересекаются с центральным ядром — экологией, представляя области взаимного интереса. Этот рисунок иллюстрирует сложности в определении дисциплин, присутствующих в реальной жизни.



1
Цветок Бачинского, немного оживленный нашим художником

Отмечу некоторые особенности цветка Бачинского, о которых необходимо упомянуть. Первая особенность состоит в том, что нарисованы не все реально существующие лепестки. Нет, например, лепестка «химия», с которой связаны как загрязнение окружающей среды, так и ее очистка. Однако нельзя поставить в упрек автору двумерной модели, что реальный объект много сложнее. Забегая вперед, можно сказать: это родовый признак многих экологических моделей.

Вторая особенность заключается в том, что границы между лепестками не такие четкие, как нарисованы. Чтобы убедиться в этом, достаточно взять два соседних лепестка, например экономику и юриспруденцию.

Третья особенность цветка состоит в том, что соседство лепестков друг с другом не абсолютно и не окончательно. Например, биология соприкасается также с медициной и экономикой. Отсюда, если продолжать придерживаться графической модели, появляется необходимость перейти даже не к трехмерному, а n -мерному пространству. Возможно, со временем и математика у экологии своя появится — экоматематика, а пока о ней еще не заявлено во всеуслышание, отметим про себя явную фрактальность экологии. Если прибегнуть к аналогии из области химии, она ближе всего к классу дендримеров, если вам ближе сравнение с живой природой, то уместно вспомнить о перекати-поле.

Наконец, четвертая особенностью модели — изменение во времени ее параметров. То, что еще вчера еле угадывалось, сегодня становится жизненно необходимым. За примерами далеко ходить не надо: вспомним хотя бы глобальное потепление или новую проблему — куда девать углекислоту. Даже если согласиться с теми, кто утверждает, что такие отклонения параметров бывали и раньше, все равно обозначенные сложности уже появились на горизонте. Подводя итог описанию цветка Бачинского, хочется воскликнуть: «Да он — живой!» Да, живой.

Кстати, этот рисунок может объяснить, почему возникает то ощущение вторичности, о котором я писал в начале статьи. Оно возникает при первом, поверхностном столкновении с экологической наукой. Глядя на цветок Бачинского, следует помнить, что лепестки цветка возникли раньше, чем экологическая середина. Отсюда и кажущаяся вторичность многих утверждений. Они были высказаны раньше на лепестках, а не на серединке, которой еще не существовало. Используя известные уже факты, экология помогает их переосмыслению с более общей точки зрения. Мне остается повторить вслед за Новеллой Матвеевой: «Все сказано на свете, несказанного нет, но вечно людям светит несказанного свет».

Вовсе не обязательно ставить вопрос — как должна называться та или иная наука. Важно понять, чем эти области взаимного интереса отличаются от коренных проблем тех дисциплин, которые изображены в периферийных кружках, другими словами, за что их «полюбила» экологическая наука, включив в область своих интересов. Есть, например,

химики, которые занимаются очисткой окружающей среды. Таких химиков традиционно готовят в химико-технологических учебных заведениях. Понятно почему: чтобы построить очистное сооружение, надо знать механику, знать процессы и аппараты, а также химию. Чтобы строить заводы, которые, например, сжигают отходы и т. д., нужны строители, химики-технологи, специалисты в проектировании и эксплуатации печей.

Однако существует и другая сторона — химическая наука, которая использует язык экологии, рассматривает, какой вклад вносит новая химическая промышленность или процесс в загрязнение окружающей среды, как это влияет на биосферу, атмосферу, гидросферу, здоровье людей и продолжительность их жизни, общественное сознание, на бизнес, наконец. И установление этих связей или обнаружение новых связей между существующими явлениями — это уже экологические задачи. Суть их — не только выявление связей, но и попытка предсказать и обратить внимание всех людей на то, как меняется обстановка на нашей планете.

Выбрав цветок Бачинского как ключевую структуру, я попал в ловушку. Дело в том, что анализ действительности предполагает определенную позицию исследователя и автоматически следующую за этим детализацию объекта исследования. Процесс этот — неизбежная плата за углубленные знания. Помните высказывание Козьмы Пруткова: «Специалист подобен флюсу»? Как избежать односторонности? Обсуждать сразу все лепестки цветка Бачинского? Непродуктивно. Вот что придумано: сосредоточить внимание на краях лепестков, там, где они граничат с соседними. Итак, за дело, вперед!

Язык термодинамики в экологии

Отличительная черта экологии сегодня — выдвижение на первый план того, что можно было бы назвать проблемой взаимоотношений между различными живыми системами, то есть между животными и растениями, между группами животных, а также, если это общество, отношения между социальными группами и окружающей средой. Эта специфика задач, конечно, сказалась на языке или, точнее, на языках, которые использует экологическая наука. Один из самых общих подходов к тем явлениям, которые должны быть подвергнуты экологическому анализу, — это, безусловно, язык термодинамики. Однако задолго до того, как термодинамический подход вошел в практику, в экологической науке появились факты, указывающие на изменение во времени параметров изучаемого объекта: в эволюционной модели Дар-



2
Так выглядят волновые структуры в жидкокристаллической системе типа Белоусова — Жаботинского

вина была показана именно изменчивость видов во времени. Причину изменчивости Дарвин усматривал в борьбе за существование, и мы уже об этом говорили. Между тем неравновесная термодинамика указывает на некий более общий подход, в рамках которого этот очень важный для экологии вопрос может быть рассмотрен наряду с иными по своей природе, но также неравновесными процессами.

Отметим, что использование термодинамики в науке, и в первую очередь в физике, всегда вызывало сильнейшие, полные эмоций споры среди величайших умов человечества. Работы Ильи Пригожина по неравновесной термодинамике (Нобелевская премия 1977 года) дали возможность взглянуть на экологическую систему с единой точки зрения термодинамики необратимых процессов. Для этого необходимо признать, что все происходящее на Земле — это неравновесные процессы, которые могут быть адекватно описаны неравновесной термодинамикой.

Комплекс работ в этой области привел к прогрессу в представлениях не только о природе, но и об окружающем мире в самом широком смысле этого слова. Что же дало приложение термодинамики необратимых процессов к экологическим проблемам?

1. Земной шар в потоке солнечной энергии — это типичная открытая система. На планете Земля в результате диссипативных процессов происходят явления самоорганизации, возникновение и самосборка структур. «Биологические структуры могут возникать и существуют только в диссипативной среде и поддерживаются непрерывным потоком энергии» (И.Пригожин. Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes).

2. Окружающая среда не хаотична, она структурирована и состоит из взаимодействующих взаимозависимых составляющих.

3. Поэтому воздействие человека на природу — многоуровневый процесс, который никогда не бывает однокомпонентным. Например, вырубка леса. Помните Н.А.Некрасова: «Откуда дровишки? — Из лесу, вестимо...» Это действие, изначально чисто механическое — изведение леса на дрова, — приводит, как мы уже знаем, к многочисленным вторичным (но от этого не менее важным) последствиям. Это изменение структуры почв, изменение химии почв, изменение микробных сообществ, изменение сообществ растений, а затем и животных, изменение ландшафта — список можно было бы продолжить. Теперь наше знание и наше понимание важности таких взаимозависимостей — прямая иллюстрация прогресса в понимании связей, ранее не замечаемых или не принимаемых всерьез. Одна из задач экологии — показать, какую дисгармонию может внести человек, нарушая сложившиеся связи, как опасны эти нарушения и какие усилия предпринимаются, чтобы устранить возникшие диспропорции.

4. Чтобы проследить пути воздействия человека на окружающую среду, экологу придется уделить внимание скрытым от обычного глаза процессам — сложным на уровне биоценозов и элементарным (но не простым!) на уровне молекул, ионов, и даже радикалов — например, когда нужно выяснить, как возникают озоновые дыры.

Моделирование экологических процессов

Язык термодинамики позволил использовать другие неравновесные по своей природе процессы в качестве моделей процессов экологических. Здесь стоит упомянуть прежде всего теорию химической эволюции, за которую Манфред Эйген получил Нобелевскую премию, а также модельные химические системы типа реакций Белоусова — Жаботинского, когда в простых неравновесных системах в прямом эксперименте можно наблюдать возникновение диссипативных структур. Модель Белоусова — Жаботинского наиболее известный пример теперь уже широкого класса осциллирующих химических



реакций, генерирующих цветные волны и изображения различных двумерных структур, которые могут быть воспроизведены на разных объектах, таких, как гели, синтетические мембраны, средней пористости стекла, ионообменные полимеры, лангмюровские монослои и, совсем недавно, микроэмульсии. На рис. 2 показана одна из таких картин.

Осцилляции в таких моделях очень напоминают, например, колебания численности особей во времени. Напомним здесь одну хорошо исследованную цепочку связей, обнаруженную в Прикаспии. Наблюдения за грызунами в засушливых полупустынных прикаспийских землях показало, что их численность контролируется урожаем диких злаковых. Урожай последних регулируется количеством осадков. Количество осадков зависит от активности Солнца и, в частности, связано с одиннадцатилетним солнечным циклом. Однако зависимость «Солнечная активность → урожай злаков → численность грызунов» — не единственная связь, определяющая их численность. Известно, что в Прикаспийском регионе гнездится чумная инфекция. Ее носители — дикие грызуны. Усиленное размножение грызунов приводит к их скученности, а это, в свою очередь, способствует вспышке эпизоотии чумы. В силу этой связи численность чумных бактерий периодически меняется вслед за изменением плотности заселения грызунами данного региона и тем самым за изменением солнечной активности.

Более пристальное рассмотрение проблемы позволяет заметить и другие процессы, которые могут оказывать влияние на численность популяции грызунов. Излишняя скученность животных вызывает сдвиг в гормональном балансе зверьков, которые становятся агрессивными по отношению друг к другу. Плодовитость пар падает. Вот и еще одна обратная связь, теперь уже на гормональном уровне. Таким образом, чем глубже рассматривается та или иная взаимозависимость, тем больше факторов взаимного влияния может быть обнаружено в выделенной цепочке событий.

Обратим внимание на разнородность явлений, которые оказались связанными в одной цепочке, на различие масштабов явлений, сплетенных воедино. Солнечная активность — явление космического масштаба; урожай злаков — событие локального масштаба, эпизод из жизни растений в одном из регионов на Земле; сюда же можно отнести вариации численности грызунов — млекопитающих животного мира. Чумные бактерии — это мир микробов, а вот сдвиг в гормональном балансе грызунов происходит индивидуально в организме каждой особи и может быть отнесен к разряду сложных психофизиологических процессов. Воистину поговорка «В огороде бузина, а в Киеве дядька» не звучит осуждающе.

Можно задаться вопросом, зачем здесь сведены столь разнородные явления: цветные волны реакции Белоусова — Жаботинского и осцилляции поголовья грызунов в Прикаспийских полупустынях? Причины этого просты: мы хотим продемонстрировать инвариантность выводов термодинамики необратимых процессов при любых механизмах процесса. Эта особенность позволяет воспроизводить основные черты очень медленных процессов на «быстрых» моделях, хотя последние имеют совсем другую физическую природу. В математике этот прием был рассмотрен в рамках теории подобию.

Модели стационарных процессов в экологии

Открытая неравновесная система и стационарные процессы, например биогеохимические циклы Вернадского. Нет ли тут противоречия? Противоречия тут нет, а есть степень приближения модели к реальному объекту. Все дело в разных шкалах времени для структурообразования в живой природе и круговорота воды и элементов. Эволюционные процессы идут гораздо медленнее, чем биогеохимические. Использование моделей, подобных реакции Белоусова — Жаботинского, как бы изменяет масштаб событий, позволяет в считанные часы наблюдать процессы, математически подобные тем, которые в природе развиваются на протяжении многих миллионов лет.

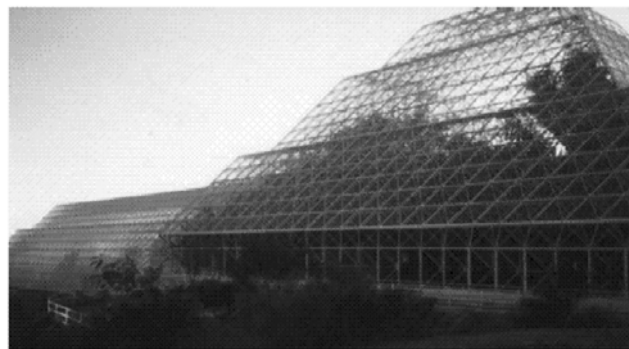
Отметим, что дискуссия по этому вопросу имеет долгую историю. Упомянем только, что у двух гениев, Ньютона и Лейбница, были разные взгляды на природу движения в мироздании: Ньютон считал, что движение в природе не сохраняется само собой, оно непрерывно растрачивается и Бог должен его пополнять. По Лейбницу же, силы природы сохраняются. Земля как вертелась, так и вертится, и будет вечно вертеться. Теперь мы знаем, что оба были правы, но каждый в своей временной шкале.

Не задаваясь вопросом, как будут развиваться процессы во времени, можно выработать подход, согласно которому рассматривается мгновенный срез каких-либо процессов на Земле. Пусть поток солнечной энергии, падающий на единицу земной поверхности, будет постоянной в данный момент величиной. Такое упрощение вводится преднамеренно — для облегчения расчетов. Следует помнить, что полученные результаты справедливы только в рамках принятой для расчета модели. Нас интересует, как эта энергия будет диссипироваться по разным каналам. В этом случае можно попытаться составить мгновенный радиационный баланс земли. Но в любом случае все пути перераспределения солнечной энергии по разным каналам вводятся эмпирически, хотя и на основании наблюдений и экспериментов. Этот подход исключает рассмотрение самоорганизации как результата диссипативных процессов. Отметим еще, что при попытках составить и учесть все больше подробностей мы сталкиваемся с фрактальностью системы.

Сказанное здесь об энергетических потоках в не меньшей степени относится и к схемам материального баланса по кислороду, воде, сере, азоту и т. д. Все это, вместе взятое, имеет большое практическое значение для расчетов миграции элементов в культивируемых почвах, на которых интенсивно выращиваются определенные культуры.

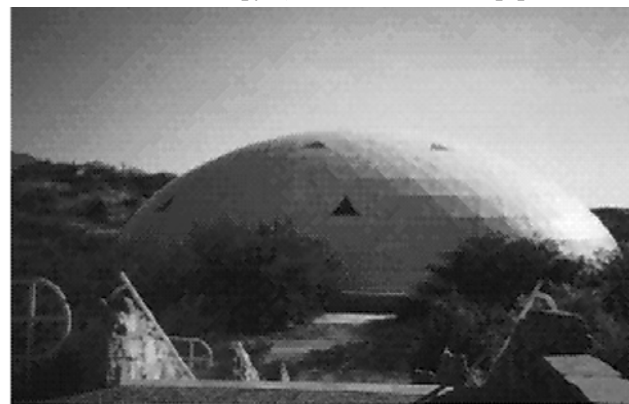
Самый впечатляющий пример важности таких расчетов был продемонстрирован в грандиозном проекте «Биосфера-2». (Биосфера-1 — это биосфера Земли.) Проект был начат под эгидой Колумбийского университета в 1989 году на деньги частного инвестора и обошелся в кругленькую сумму — 200 миллионов долларов. «Биосфера-2» была выстроена около города Тусона в штате Аризона в 1990 году. В 1991 году восемь исследователей в темно-синих формах, подобных формам героев из фильма «Стар Трек», вошли в эту биосферу — огромный террариум в пустыне Аризоны к северу от Тусона. Они надеялись провести два года внутри без доставки еды, воды или даже воздуха. Цель — увидеть, может ли замкнутая окружающая среда, рассматриваемая как микрокосмос на Земле, стать самоподдерживающейся.

Инженерная система «Биосферы-2» впечатляет. Огромные теплообменники охлаждают влажный воздух до 10°C, чтобы получить водный конденсат. Затем осушенный таким образом воздух снова нагревается до 20°C другими теплообменниками. Конденсированная вода по каналам стекает вниз, собираясь в небольшом пресноводном озере, вода которого используется для создания дождя, орошающего зону тропического леса (так называемый rain forest), расположенного в



3

Стеклянная панель конструкции комплекса «Биосфера-2»



4

Легкие «Биосферы-2» в инженерном исполнении

верхней части комплекса «Биосферы-2». Впечатляет также конструкция плавающего потолка, который поддерживает давление внутри комплекса постоянным, двигаясь вверх при нагревании воздуха и вниз при его охлаждении. Как выглядели «легкие» «Биосферы-2» в инженерном исполнении, видно на фотографии (рис. 4).

Эти два рисунка в достаточной мере иллюстрируют размах проекта «Биосфера-2». Однако начиная с 1991 года «Биосферу-2» стали одолевает одна проблема за другой: содержание кислорода в воздухе внутри комплекса уменьшилось, а море стало кислотным. Урожай упал, и это привело к быстрой потере веса исследователей, в то время как муравьи и насекомые были вполне благополучны. Чтобы как-то спасти ситуацию, администрации «Биосферы-2» пришлось секретно закачать 600 000 000 кубических футов воздуха снаружи, а участники эксперимента, «бионавты», не желая испытывать голод, вскрыли неприкосновенный запас продуктов. Короче говоря, эксперимент окончился неудачей, несмотря на солидную техническую базу.

Но отрицательный результат — это тоже результат в науке. Экологи получили неоценимый урок. Стало ясно, что человек знает слишком мало, чтобы грамотно планировать полностью сбалансированную замкнутую экосистему. Пусть не были достигнуты цели, поставленные авторами «Биосферы-2», но по большому счету эксперимент закончился счастливо.

Пока еще ученым не удалось создать замкнутый изолированный мир, который был бы стабильным годами. Эксперимент с «Биосферой-2» показал, что это очень непростое дело. Тем более мы должны ценить потрясающий дар, доставшийся нашим предкам, — прекрасную планету Земля с ее реками, горами, лесами, морями и озерами. Нужно разобраться в отношениях между человеческим обществом и природой, человеком и обществом, отдельным человеком и природой. Усовершенствование отношений требует системного осмысления с учетом максимального количества параметров, включая также и отношения внутри самого человеческого общества. Это не только отношения отдельных людей и групп внутри страны, но и межгосударственные отношения. Вспомним конфликты в борьбе за газ, за нефть. Становится очевидным, что человечеству грозит медленное вымирание из-за ухудше-

ния качества жизненной среды, которое вызвано разрушением биосферы нерациональной хозяйственной деятельностью.

Приведу только один пример, взятый из Интернет-источника и еще свежий в момент написания этого текста. О предварительных итогах экспедиции вокруг Москвы и проблемах изучения атмосферы над Россией обозревателю «Известий» рассказал руководитель экспедиции, заведующий отделом исследований состава атмосферы Института физики атмосферы РАН профессор Николай Еланский. «Изучая состав атмосферы, мы имеем в виду две важные проблемы. Первая — это глобальное изменение фонового состояния атмосферы, радиационного баланса и климата. Вторая — изменение качества воздуха в наших городах и населенных пунктах, от которого во многом зависит здоровье населения... Традиционно в Москве шлейф выбросов уходит на восток. Но при летних антициклонах, в жару, все наоборот: накопленная в атмосфере грязь медленно смещается на запад, на Рублевку. Транспорт использует сейчас новые горюче-смазочные материалы (бензины, масла, присадки). Их пары и продукты горения очень реактивны, быстро окисляются, часто образуют токсичные соединения, в том числе и озон... Шлейф загрязненного воздуха от Москвы тянется на восток, полосой между Воскресенском и Александровом. Относительно фона, очень низкого, в шлейфе концентрация основных загрязняющих компонентов в среднем в 6–8 раз выше. Города, которые находятся в этом шлейфе, дают еще примерно столько же. В Орехово-Зуеве, к примеру, загрязнения в 10–15 раз больше фоновых».

Этот пример выбран не случайно. Он предназначен для обитателей сосенок и рублевки и для всех, кто уверен, что от проблем можно отгородиться высоким забором в лесу. Основной вывод здесь прост: и отдельного человека, и разные социальные группы на самом деле окружает не дикая природа, как писал мечтатель Торо и как хотелось бы думать тем, кто сейчас гуляет по лесу. Мы все постоянные обитатели нососферы Вернадского, и, чтобы не задохнуться в пыли, поднятой энергичной и плохо пока управляемой деятельностью *Homo sapiens*, Человека Разумного, придется срочно искать пути решения множасьих проблем.

Мое послание Человеку Разумному: «Ты не один! Нас много, и все, кто тебя окружают, не хуже тебя. Веди себя так, чтобы не утеснять других», — вряд ли будет услышано и принято на вооружение российским обществом в нынешнем его состоянии...

Эволюция модели

На протяжении всей истории рода человеческого взаимоотношения человека с природой менялись от прямого обоже-ствления до полного пренебрежения. Двести лет назад взаимоотношения человека с природой складывались стихийно. Никому и в голову не приходило, что может быть иначе. Большинство сегодняшних проблем рождено противостоянием человеческого общества и природы, усиливающимся давлением человеческого присутствия, возросшей человеческой активностью на земном шаре. То, что пятьдесят или семьдесят лет назад было вполне приемлемым, теперь оказывается нерациональным, и возникает угроза для существования и комфортной жизни людей.

Социально-экологический аспект этих проблем не является постоянной составляющей, его удельный вес постоянно растет. Основная сложность, которую придется преодолеть экологии в ближайшем будущем (нет, сегодня!), — это сложность нового типа, не встречавшаяся человечеству до сих пор. Абсолютно недостаточно, чтобы во взаимоотношениях человека с природой разобралась только кучка ученых (и даже ученых-иш!) мужей. Все их призывы так и останутся нереализованными, если не будет учтено самое главное условие, необходимое для успешного претворения в жизнь идей экологии. А именно — внимание и активность общества. Тут я



ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

вижу огромную разницу между экологией и многими другими науками. Возьмем, к примеру, физику. Манхэттенский проект был осуществлен в условиях строжайшей секретности. Многие экологические задачи (например, уменьшение загрязнения окружающей среды) в принципе не могут быть решены без участия всех живущих на земле.

Современные экологические проблемы имеют тенденцию накапливаться и проявляют себя как на местном и региональном, так и на национальном и, наконец, на глобальном уровнях. Взаимоотношения с окружающей средой, с природой придется пересматривать постоянно, все более ужесточая контроль над все большим числом параметров среды обитания.

Что же делать? Необходимо преобразование хозяйственной деятельности на новых принципах, предусматривающих достижение разумного компромисса между социальными и экономическими потребностями общества, с одной стороны, и возможностями природы удовлетворить их, с другой. Технологические и социальные процессы, протекающие в нашей цивилизации, все еще несовершенны и не всегда хорошо контролируются. Это опасно, это — источник нестабильности и серьезные риски, угрожающие устойчивому развитию.

Существуют ли готовые решения или хотя бы заготовки таковых? Приняты международные экологические документы, такие, как Концепция устойчивого развития, Киотский протокол, или политика P2 (Pollution Prevention), но при этом в развитых странах на фоне всеобщей глобализации индустриального производства и всеобщего процветания все ускоряется разрушение естественной среды обитания и снижается качество жизни человека. Проект P2 встречает на своем пути немало препятствий. Одно из них — это барьер в сознании. Люди не любят новых идей. Проект P2 — долговременный, но люди хотят, чтобы им обещали немедленный успех. А между тем, как уже говорилось, человеческий фактор весьма существен, поэтому одна из основных задач подвижников P2 — это популяризация и пропаганда проекта, а роль правительства в его продвижении в жизнь трудно переоценить.

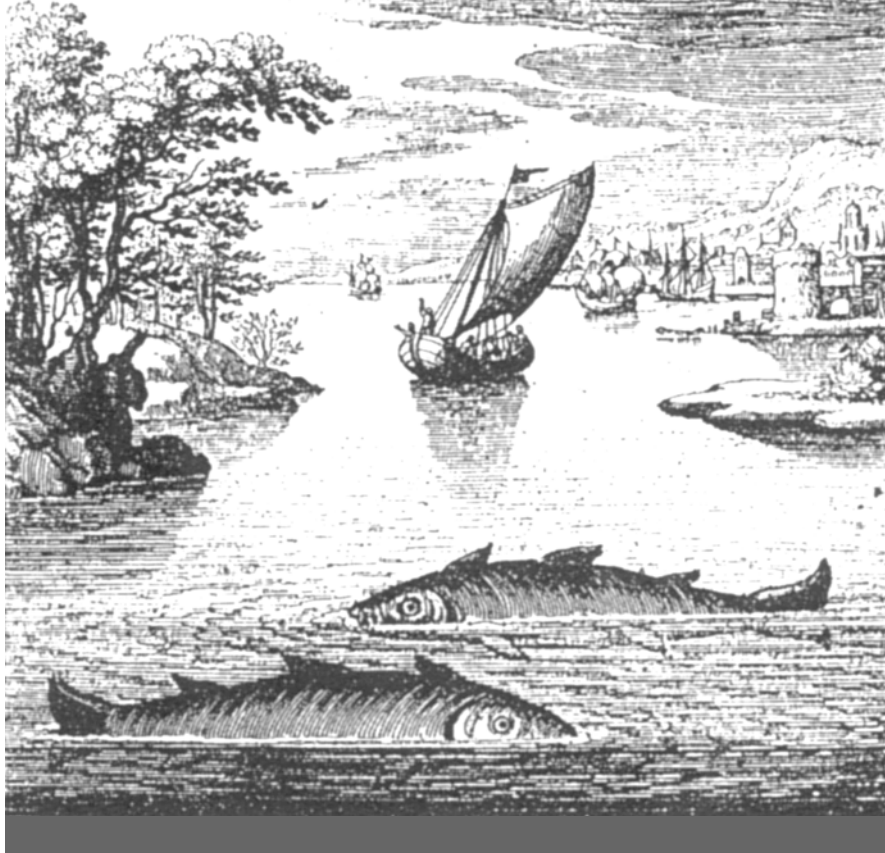
В России пусть и медленно, но начинает формироваться понимание, что пути выхода из экологического кризиса находятся не только в сфере технических решений защиты окружающей среды и естественно-научных исследований, но и в социальной сфере, в областях морали, культуры, экономики, права, психологии и образования. Фактически это тот же процесс, что и на Западе, только осложненный хронической пассивностью большинства народа, вызванной многовековым рабством и чудовищной несправедливостью в распределении национального продукта. Справиться с экологическими проблемами по плечу только независимо мыслящим свободным людям, которые к тому же достаточно зарабатывают себе на жизнь. Успех, однако, гарантирован только в случае, если российское общество преодолеет анабиоз и почувствует себя свободным от рабства. Где же найти таких людей? Их не надо искать, их надо начать выращивать прямо с детского сада, затем в школе и так далее. Такое вот непрерывное обучение гражданскому поведению, длиною в жизнь. Не откладывать на завтра или до лучших времен. Дорога долгая, не в один год.



Сок жизни на Земле

*Воде была дана волшебная
власть стать соком жизни
на Земле.*

Леонардо да Винчи



Божественное творение

Прежде чем рассуждать о воде на Земле, обратимся к легенде о сотворении мироздания, которую поэты Древнего Египта сочинили пять тысяч лет назад. Согласно нее, задолго до появления неба и земли Вселенная, погруженная в густой мрак, была наполнена первичной водой. Этот океан назывался Нун, и он был холоден, мрачен и неподвижен, пока в один прекрасный день из его пучины не вышел могущественный бог Атун, сумевший создать сам себя из воды. Убедившись, что вокруг в буквальном смысле слова некуда ступить, а бездна тянет назад, новоиспеченное божество быстренько воспарило над океанской поверхностью и соорудило первый в будущем сухопутном мире холм Бен-Бен. Сидя в одиночестве на его вершине, Атун принял мудрое решение создать себе парочку детей. Так появились на свет бог ветра Шу, чтобы океан больше не замирал, и богиня дождя Тефнут, чтобы океан не иссякал и был управляем.

Новорожденные боги, как любые дети, оказались непоседами и мгновенно куда-то запропастились. Расстроенный родитель в отчаянии вырвал себе глаз и отправил его в океан Нун искать сорванцов. Поиск длился долгие столетия. За это время Атун создал себе новый орган зрения, но тут неожиданно появился старый в сопровождении найденных Шу и Тефнут. Убедившись, что его место

занято, обиженный глаз обвинил Атуну в неблагодарности и потребовал сатисфакции. Счастливый папаша был готов на все и предложил бездомному глазу место на лбу, но тот отказался и превратился в кобру, чтобы отомстить Атуну. Однако такой маневр не испугал творца Мира, он спокойно взял разгневанную рептилию в руки и посадил себе на лоб. С тех пор глаз-змея украшает короны богов и фараонов Египта.

Далее дела на планете пошли как по маслу. Из вод океана Нун вырос прекрасный лотос, из его бутона вылетел бог солнца Ра с золотым диском над головой. Мир наконец-то наполнился живительным светом. Увидев Атуну и его очаровательных детишек, сентиментальный Ра заплакал от радости, и из его слез, долетевших до земли, возникли люди.

В скором времени Шу и Тефнут поженились, и у них родились детки: бог земли Геб и богиня неба Нут, безумно любившие друг друга. Они даже появились на свет крепко обнявшись, поэтому в начале творения небо и земля были одним целым. Но богиня неба Нут оказалась очень прожорливой, предпочитая при этом закусывать своими детьми — звездами, что возмутило Геба. Между супругами пошли нелады. Этим воспользовался папаша Шу: он вмешался в скандал в виде урагана, поднятого во всей Вселенной, и разрушил семью. После отделения неба от земли в океане Нун возникли острова и материи

с горными хребтами, с которых потекли реки, а люди разбежались по сторонам с холма Бен-Бен и расселились по всему миру. Вот так-то! И как любил отмечать Аристотель в конце каждого своего произведения: «Kai para tauta uden» — «А за этим больше ничего».

Кругом вода

Вода Земли имеет внутрипланетарную природу. По оценкам отечественных и американских ученых, сделанных в 1950—1970-х годах, основная масса нынешней гидросферы сформировалась к началу палеозоя (570 млн. лет назад), но постоянный приток мантийных вод продолжается и ныне со скоростью 1 мм в 1000 лет. Сегодня общее количество воды в воздухе, на поверхности планеты и в ее коре составляет, по оценкам разных авторов, от 2420 до 2720 млн. км³. Верхняя граница гидросферы располагается на высоте около 300 км и практически совпадает с верхней границей атмосферы. Вода здесь находится в виде пара, капельно-жидкой влаги (то есть облаков) и кристаллов льда. Запас влаги в атмосфере (0,013 млн. км³) составляет всего 0,0005% от ее общего количества в гидросфере. Впрочем, легко плывущие по небу пушистые белые облака нельзя назвать невесомыми: один кубический километр этого «пуха» содержит 2000 тонн чистой природной водицы!

Поверхностные воды Земли, общим объемом 1,45 млрд. км³, располага-

ются от максимальных глубин океана (Тихий океан, Марианский желоб, 11 022 м) до максимальных высот высокогорных снегов (Большие Гималаи, Эверест, 8848 м).

Немалая часть гидросферы находится в земле — это грунтовые (до глубины 0,1 км) и поровые (до 1,5–2 км) воды земной коры (66–100 млн. км³), которые пополняются за счет поверхностных вод и вод атмосферы. На глубинах более 5–10 км начинается загадочное царство сверхкритической воды (подробный рассказ о которой будет в одном из следующих материалов этой рубрики. — *Примеч. ред.*), имеющей эндогенное происхождение.

Еще в 1942 году В.И.Вернадский совершенно справедливо полагал, что общий объем вод в земной коре (в том числе, и в связанном состоянии — в минералах) сопоставим с объемом вод всего Мирового океана. Земные недра до глубин 20–25 км по разным оценкам содержат 1–1,3 млрд. км³ влаги, а в слое 25–70 км ее не менее 0,6 млрд. км³. Кроме того, в мантии Земли до глубин 2700 км может быть сосредоточено еще 28 млрд. км³ воды.

Полагают, что на больших глубинах (до 60 км, а под зонами разломов в океане — до 100 км) вода из мантии поступает в астеносферу в виде летучих гидридов щелочных металлов и легкоплавких силикатов, которые затем дегидратируются в пары воды и задерживаются в зонах океанических разломов. Так в природе формируется подстилающая «дренажная оболочка» — нижняя граница гидросферы, которая располагается глубоко в недрах нашей планеты. Мощностъ ее под материками достигает 12–15 км, а под океанами — 3–5 км. По расчетам, под каждым квадратным метром суши содержится от 300 до 700 тонн водных растворов и пара, а под квадратным метром океана — в два-три раза меньше.

Как искали правду о воде

Над нашей планетой влага оказывается в результате глобального круговорота, который происходит под влиянием солнечной радиации и силы тяжести. Но для того чтобы в конце XIX века прийти к такому заключению, человеку понадобились многие тысячелетия. Путь этот был нелегок. Гений античной мысли Аристотель, понимая несовершенство многих своих теорий, замечал: «Искать истину — и легко, и трудно, ибо

очевидно, что никто не может ни целиком ее постигнуть, ни полностью ее не заметить, но каждый добавляет понемногу к нашему познанию природы, и из совокупности всех этих фактов складывается величественная картина».

Так или иначе, но историки считают, что первый греческий астроном и математик, мудрец Фалес Милетский, основатель Ионийской школы философов, наслушавшись египетских жрецов и начитавшись Гомера, пришел к выводу о том, что «Земля плавает на воде» и «вода есть вещество изначальное, а следовательно, составляет материальную основу всех вещей». Ему вторит Гераклит Эфесский — «Первое начало и сущность всего — вода. Нельзя дважды войти в одну и ту же реку, потому что тебя будут омыwać все новые и новые воды».

Древние греки догадывались о существовании гидрологического цикла — именно им принадлежит концепция круговорота воды в природе, причем по мере накопления знаний она постоянно развивалась. Как утверждал Анаксимандр из Милета, осадки выпадают потому, что солнце вытягивает влагу из земли. Анаксимен полагал, что град возникает, когда дождь замерзает на лету, а снег — когда воздух попадает внутрь дождевой капли. Кроме того, этот ученый муж впервые высказал совершенно справедливую гипотезу о том, что чем вода горячее, тем она разреженнее, и наоборот — более холодная вода более плотная.

Аристотель в трактате «Метеорология» пошел значительно дальше: «Мы всегда ясно видим, что вода, поднявшаяся в воздух, опускается снова. Даже если то же самое количество не возвратится в течение года и именно в этой стране, то через определенный срок все, что было унесено вверх, будет возвращено». Ученик Аристотеля Теофраст, развивая идеи учителя, ближе всех подошел к тайнам гидрологического цикла. Он полагал, что когда облака попадают в холод, то мельчайшие капельки воды, из которых они состоят вперемешку с воздухом, замерзают, и вместо дождя идет снег. Пар отделяется от поверхности воды под действием ветра (!). И при этом — очередная наивность: «Есть только одна причина дождя, а именно — давление облаков на гору».

В отличие от греческих ученых-теоретиков, увлекавшихся объяснениями явлений природы, связанных с водой, представители римской цивилизации были в большей степени



ЦИКЛ ВОДЫ

«инженерами-практиками» и предпочитали изящным теориям строительство не менее изящных, но реальных гидротехнических сооружений — акведуков, трубопроводов, портов. В плане же научных концепций римляне по сравнению с греками были явно не на высоте.

Тем не менее между 27 и 17 гг. до н.э. в Риме вышла работа архитектора-неудачника Марка Витрувия Поллио «Десять книг об архитектуре», посвященная императору Цезарю. В восьмой книге речь идет о воде — архитектура тогда считалась всеобъемлющей наукой, требующей широкого кругозора. Кроме рекомендаций, как найти воду в обычных условиях, как строить акведуки и канализационные системы, автор изложил теорию круговорота воды в природе, очень близкую к современной. Следуя Гиппократу и Аристотелю, он полагал, что испаряются только самые легкие, разреженные частицы воды, а также утверждал, что горные долины получают больше осадков и снег задерживается там благодаря густым лесам, а при его таянии воды «просачиваются глубоко сквозь жилы земли и достигают самого подножия гор, откуда, изливаясь, выбиваются струи родников». Природа горячих источников, по мнению Витрувия, состояла в том, что в недрах земли огонь, воспламеняя квасцы, горную смолу или серу, «разгорячает землю над ними» и нагревает протекающую поблизости подземную воду. Наконец, когда облака наталкиваются на горы, то вследствие удара и «по причине полноты и тяжести» облаков выпадают осадки, питающие реки. При этом в горах осадков бывает больше, чем на равнинах.

Древнеримского поэта Тита Лукреция Кара музы вдохновляли не только на прекрасные строки — он был и талантливым естествоиспытателем. В поэме «О природе вещей» («De rerum natura») он в стихотворной форме тонко заметил, что влага под влиянием солнечного жара особенно интенсивно поднимается с поверхности моря. Облака накапливают ее подобно шерстяному руно, впитывающему росу.

Тучи, собравшись «большою толпою», изливаются на землю дождем, «словно бы топится воск над огнем и стекает по каплям». На втором этапе гидрологического цикла, по мнению поэта:

Морская вода проникает сквозь почву, и жидкость
В землю сочится назад,
стекая к источникам водным,
После чего по земле возвращается
пресным потоком
Там, где дорогу для волн
она влажной пятою пробила.

Таким образом, причина образования рек, по Кару, состоит не в атмосферных осадках, а в инфильтрации морской воды. Они не могут переполнить море, поскольку их объем по сравнению с размерами морей — «не более как капля».

Воспитатель императора-изверга Нерона философ Луций Анней Сенека в работе «Вопросы природы» (*Quaestiones naturales*) делает вывод о том, что град — это лед, находящийся в воздухе во взвешенном состоянии, а снег — иней в таком же состоянии. Кроме того, философ категорически отверг дождевое происхождение рек и источников. По этому вопросу он придерживался взглядов Аристотеля (превращение под землей воздуха и самой земли в воду), а происхождение воды даже не считает нужным обсуждать, так как «она сама является одной из четырех составных частей природы».

Наконец, римский писатель, ученый Гай Секунд Плиний Старший, заплативший жизнью за свое любопытство во время извержения Везувия, в монументальном труде «Естественная история» о происхождении рек и источников писал следующее: «Земля открывает свои

недра, и вода пропитывает всю землю изнутри, снаружи, сверху; ее жилы расходятся во всех направлениях, как связующие звенья, и достигают самых возвышенных гор; там, подгоняемая воздухом и выталкиваемая тяжестью земли, вода с силой выплескивается как из трубы».

В мрачную эпоху Средневековья немногие пытались высказывать свое мнение о природе вод. Только благодаря Леонардо да Винчи учение о круговороте воды в природе получило существенное развитие. По сути дела, он сформулировал основные положения современной концепции гидрологического цикла, но неверно представлял путь воды из океана на вершины гор — не в процессе испарения и переноса с облаками, а по «земным жилам».

Используя множество высказанных, но нереализованных идей Леонардо да Винчи, в XVI веке в науке о воде отличился Джироламо Кардано: исключив огонь, он упростил структуру Вселенной до трех элементов. По его мнению, причина образования подземных вод — их просачивание с поверхности и конденсация подземного пара, который получается из-за нагрева просочившихся вод жаром горящего в недрах земли асфальта. Но в это же время работали и сторонники идей Аристотеля — Георг Агрикола, а также Бернар Палисси, не веривший, что в недрах земли воздух превращается в воду. Он был уверен, что «ручьи, спускающиеся с гор, не очень велики, они постепенно увеличиваются в размерах и умножаются в числе благодаря помощи со всех сторон...». Наконец, в 1569 году профессор из Орлеана Жак Бессон практически верно сформулировал суть гидрологического цикла, заключив

при этом, что «морская вода соленая с самого момента своего сотворения, а значит, никакое объяснение здесь не нужно!»

В следующем веке монах-иезуит Атанасиус Кирхер в книге «Подземный мир» (1656) изложил теорию вулканизма и циркуляции подземных вод, а также предложил очередную модель круговорота воды в природе. Согласно ей, в недра земли (пустоты, рассеянные в коре) вода поступает со дна океанов через воронки, образуя при этом на морской поверхности огромные круговороты. Далее из пустот она под давлением земли выносится реками обратно в море.

Сущность и значение большого круговорота воды в природе впервые понял знаменитый английский астроном Эдмунд Галлей, дав ему название «Великое явление природы». Но только в конце XIX века австрийский геолог Эдуард Фридрих Зюсс верно объяснил происхождение подземных вод выделением их из расплавленной магмы.

Наконец, в работе выдающегося русского климатолога и географа А.И.Воейкова «Климаты земного шара» было сформулировано основное положение о природе речных вод: «При прочих равных условиях, страна будет тем богаче текучими водами, чем обильнее осадки и чем менее испарение как с поверхности почвы и вод, так и растений. Таким образом, реки можно рассматривать как продукт климата».

Великое явление природы

Трудно не заметить, что в ходе развития представлений о природе воды на Земле исследователи были единодушны в одном: эта жидкость об-



Вода: в небе, на земле, под землей

По данным различных авторов, ежегодно во влагообмене на нашей планете участвует от 517 до 577 тыс. км³ воды — всего 0,04% от ее общих запасов. При этом с поверхности морей и океанов испаряется 456—505, а с поверхности суши — 62—72 тыс. км³ воды.

ладает удивительным даром настоящего географа, постоянно путешествует или совершает глобальный круговорот. Согласно современным представлениям, вода путешествует по четырем основным направлениям: испарение с поверхности суши и океана, влагоперенос в атмосфере, атмосферные осадки и влагоперенос на суше — сток речных, поверхностных, подземных вод.

Продолжительность полного цикла в системе «океан—атмосфера», если его рассматривать как отношение объема воды в Мировом океане к скорости испарения с его поверхности, составляет 4000 лет. Если бы вдруг в течение года Мировой океан не получал пресную воду в виде осадков и континентального стока, то за это время в результате испарения его уровень мог бы снизиться более чем на один метр. С поверхности океанов влаги испаряется в семь раз больше, нежели с поверхности суши, а осадков над океаническими акваториями выпадает в четыре раза больше, чем над материками.

Как мы уже упоминали, запасы воды в мантии и коре Земли, по современным оценкам, в 25 раз превышают ее количество в гидросфере планеты. В базальтовых породах мантии, например, содержится 5—7% воды. После ее дегазации при вулканической деятельности, выветривании пород, выходе ювенильных вод из рассолов на дне океана в гидросферу может попасть до 7% воды из недр планеты (эти воды так и называют — эндогенные воды). При этом предполагают, что столько же воды должно пропадать в результате фотоллиза — разложения в высоких слоях атмосферы молекул воды под действием солнечного излучения на более тяжелые молекулы кислорода, возвра-

щающиеся в атмосферу, и легкие молекулы водорода, уходящие в космос. Таким образом, еще в середине XX века были высказаны предположения о том, что наша планета представляет собой не замкнутую, а открытую термодинамическую систему.

С позиций альтернативной гипотезы замкнутого гидрологического цикла, причина наблюдаемого сегодня роста уровня Мирового океана со скоростью 1,5 мм/год, или ежегодного увеличения объема его вод на 540 км³ (более двух годовых стоков Дуная), состоит в сокращении водных запасов континентов: 67% — вследствие уменьшения массы ледников, 22% — за счет падения уровня подземных вод и 10% — за счет сокращения объема вод бессточных озер.

Однако уже в конце 1980-х годов были обработаны новые результаты многолетнего морского глубоководного бурения (1968—1989 гг.) американского судна «Гломар Челенджер» (600 скважин): в осадках и базальтах дна Атлантического, Индийского и Тихого океанов найдены разновозрастные (от 140 до 5 млн. лет) образования на глубинах 300—1000 м ниже дна, или на 1800—5000 м ниже уровня моря (186 скважин), характерные только для мелководных районов океана. Некоторые исследователи считают это открытие бесспорным свидетельством грандиозного опускания дна океанов за прошедшие 70—140 млн. лет. Его рассчитанная скорость составила 0,605 мм/год, а так как катастрофического осушения континентов за это время не произошло, то есть основания полагать, что в рассмотренный период такой же была и скорость поступления эндогенных вод. Таким образом, полу-



ЦИКЛ ВОДЫ

чается, что за последние 60 млн. лет на поверхность планеты из ее недр поступило 2,2 млрд. км³ воды. Из них 0,1 млрд. км³ ушел на увлажнение морских осадков и биосферы, а 0,5 млрд. км³ — разница с современным объемом гидросферы — утрачена при фотоллизе, скорость которого, как полагает автор гипотезы океанизации Земли В.В.Орленок, составляет 7,2 км³/год.

В рамках гипотезы открытого гидрологического цикла, современный рост уровня вод Мирового океана связан не только с таянием снегов и ледников из-за потепления климата — оно дает прирост уровня лишь 0,7 мм/год, но и с эндогенным поступлением воды в виде продуктов вулканизма и в других формах (0,78 мм/год, или 370 км³). Этот фактор, будучи по величине годового вклада в круговорот воды весьма незначительным, в геологическом масштабе времени все же определяет направление эволюции земной гидросферы. Таким образом, есть надежда, что гипотетический новый «Всемирный потоп» на Земле в результате глобального потепления в ближайшее время нереален.



В виде осадков в океан возвращается 412—458, на сушу — 106—119 тыс. км³ влаги. Подземным путем (2,4 тыс. км³), из ледников (0,3 тыс. км³) и по рекам океан получает еще 44—47 тыс. км³ воды в год.

Континентальный и морской круговороты обеспечивают довольно быстрое возобновление запаса пресных вод: в атмосфере — за 8 дней, в реках — за 10—20 дней, озерах — за 7—10 лет, в почве — за год. В океанах вода обновляется за 3000 лет, а для воды, законсервированной в ледниках, цикл занимает 8—16 тысяч лет. Подземные воды в зоне активного водообмена (на глубине 0,3—0,5 км) обновляются за тысячи лет, в зоне замедленного водообмена (до 1,5—2 км) — за десятки

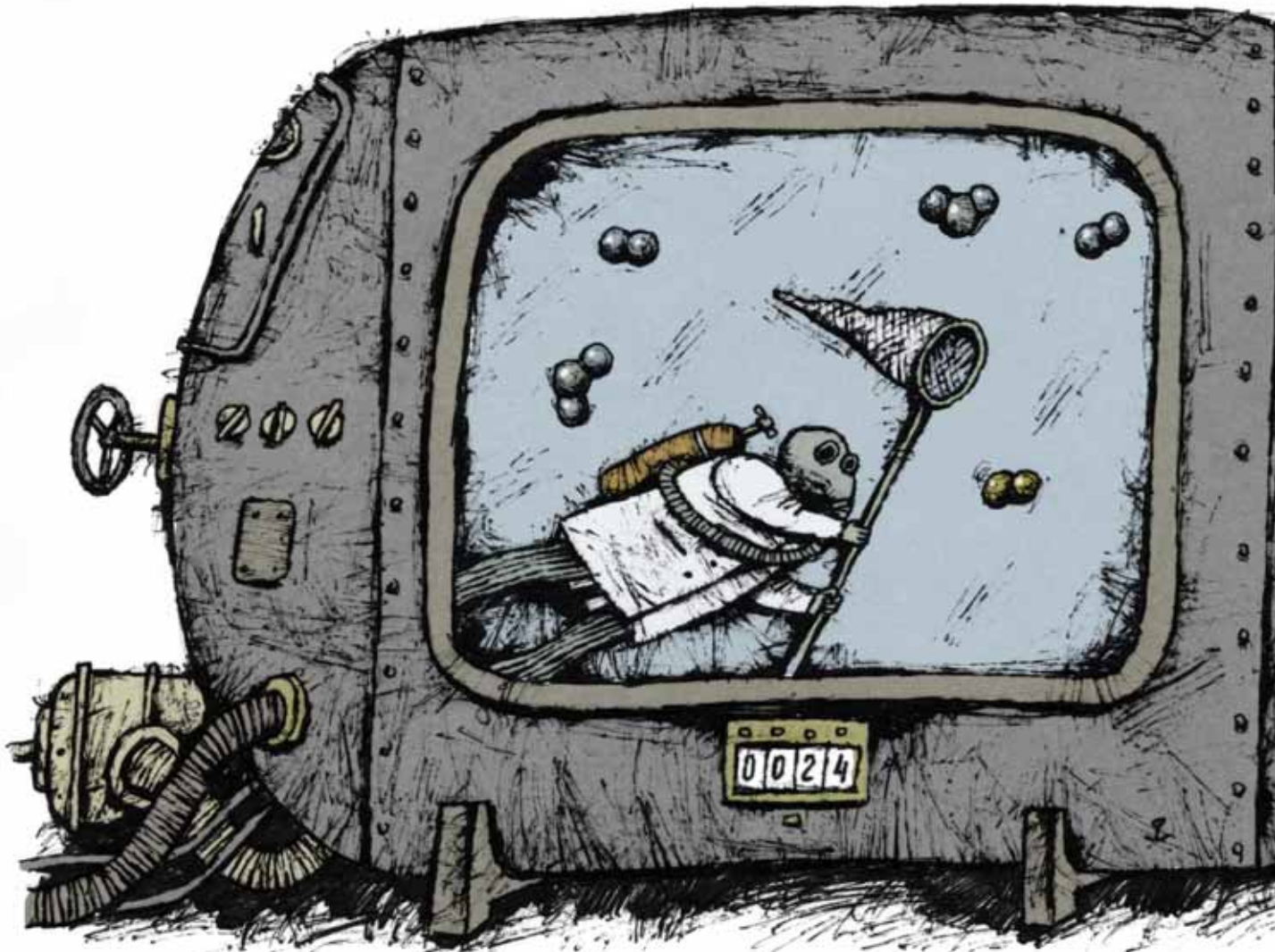
и сотни тысяч лет, а глубже 2—5 км, в зоне пассивного водообмена, — за миллионы лет.

В Мировом океане содержится 1370 млн. км³, а в реках 50 тыс. км³, озерах 176—275 тыс. км³, болотах 12 тыс. км³, водохранилищах 6 тыс. км³ — всего около 0,5 млн. км³ воды.

В морских льдах, материковых ледниках и снеге запасено 35,3 млн. км³. Суммарный ледниковый сток в океан составляет 3850 км³ в год, из них 76% дают отколовшиеся айсберги, а остальное — поверхностное и донное таяние. Суммарная площадь ледников и ледниковых покровов Земли — 16 млн. км², или 11% поверхности всей суши (149 млн. км²). Из них 87%

— площадь ледников Антарктиды (около 14 млн. км²), чуть менее 13% занимают ледники Северной Америки и Гренландии (2 млн. км²) и доли процентов достаются ледникам, покрывающим Исландию, Землю Франца-Иосифа, Новую Землю, острова Канадского Арктического архипелага, Скандинавию.

Общий объем современного обледенения континентов составляет 25,8 млн. км³, из которых 23,3 сосредоточено в Антарктиде, 2,4 млн. км³ — в Северной Америке и Гренландии. Около 1% объема приходится на долю ледников Арктики и горно-долинных ледников остальных континентов. Меньше всего ледников в Океании (550 км³) и Африке (6 км³).



Создание торричеллиевой пустоты

Вакуум в разных видах

Вакуум вакууму рознь. Одно дело — низшее энергетическое состояние квантового поля, в котором среднее число квантов равно нулю, и совсем другое — состояние газа при низком давлении. Именно такой вакуум, связанный с разрежением, нашел многочисленные применения в технике и породил значительную отрасль промышленности — вакуумную технику. А в истории физики вакуум оказался навсегда связан с именем Эванджелиста Торричелли, ученика Галилео Галилея. Именно он первым догадался перевернуть длинную стеклянную пробирку, заполненную ртутью, и поставить ее в миску, где был налит тот же металл. Ртуть из трубки вытекла, но не вся, а столько, что высота оставшегося столбика составила 760 мм над уровнем миски. Выше же располагалась так называемая торричеллиева пустота, она же область высокого разреже-

ния, или вакуум. Именно тот факт, что над столбиком в пробирке нет ничего, а над ртутью, налитой в миску, находится многокилометровый слой воздуха, который на нее давит, и позволил этому столбику возникнуть: при высоте примерно 760 мм вес ртутного столбика уравновесил атмосферное давление. А в том, что сила этого давления огромна, наглядно показал другой вошедший в школьные учебники опыт фон Герике: две лошади не могли растащить половинки сферы, внутри которой был создан вакуум.

Для ученых, занятых в разных отраслях науки, главное свойство вакуума, а именно отсутствие заметных количеств вещества в какой-то области пространства, означает нечто новое, особенное, что и породило многочисленные способы использования торричеллиевой пустоты. Например, для физикохимика вакуум — это такая область пространства, где химический потенциал вещества

чрезвычайно низок. Стало быть, молекулы любого вещества с большой охотой в эту область стремятся, если, конечно, им удастся преодолеть сопротивление своих соседей. Использование этого качества привело к созданию метода вакуумной сушки, которая основана на диффузии паров воды из внутренних слоев материала через поры и капилляры с одновременным их удалением из камеры сушки с помощью вакуумного насоса. Традиционные объекты вакуумной сушки — древесина для музыкальных инструментов и специальных изделий, а также электроизоляционная бумага, которую используют для высоковольтных кабелей, трансформаторов и силовых конденсаторов. Когда бумага, пропитанная после вакуумной сушки трансформаторным маслом, уже не может противостоять высокому электрическому напряжению, в качестве изоляционного материала используют так называемый элегаз — шестифтористую серу.



Художник В. Камаев

Кандидат
технических наук
А.А.Биршерт



ТЕХНОЛОГИИ

проволочка окислится, то есть сгорит. Использование этого свойства вакуума привело не только к появлению электрических лампочек накаливания, но и многочисленных радиоламп и прочих электроламповых приборов. Само же создание лампочки накаливания, по словам великого физика Дж.Дж.Томсона, привело к тому, что совершенствование вакуумного оборудования стало делом коммерческой выгоды.

Особняком в применении вакуумных технологий стоит металлургия, как черная, так и цветная. Плавка металлов в вакууме позволила получить такие металлы и их сплавы, которые не добыть при плавке на открытом воздухе. Один из них — титан. Технология его переработки сложна: в результате химической обработки руда превращается в полупродукт, так называемую титановую губку, непригодную для использования в качестве конструкционного материала. И только после электродугового переплава титановой губки в вакууме можно получить титан в виде слитков, листов и других полуфабрикатов. А при плавке на воздухе титан легко соединяется с кислородом и азотом воздуха. Кроме того, внепечное (в ковше) вакууммирование расплавленных металлов удаляет из них растворенные газы, что резко повышает качество специальных сталей и других сплавов.

Вакуум как основа цивилизации

Во второй половине XX века традиционные электровакуумные приборы почти полностью были заменены полупроводниковыми пленочными устройствами, которые выращивают на кристаллах кремния. Казалось, при их производстве приоритет будет отдан «мокрым» химическим процессам. Однако такие традиционные химические технологии осаждения покрытий из растворов не смогли обеспечить достаточную точность для того, чтобы соединить десятки тысяч р-п переходов проводящими дорожками шириной менее 10 мкм.

Оказалось, что все технологические операции при производстве микросхем, а именно очистка кремниевого кристалла-подложки ионами аргона, осаждение тонкопленочных покрытий, создание р-п переходов введением в кристалл кремния соответствующих примесей методом ионной имплантации, ионное травление по заданному рисунку с использованием фотошаблонов и многое другое возможно только в вакууме. Даже финишные операции в производстве микросхем — распайка контактных площадок кристалла с выводами корпуса и герметизация прибора — необходимо вести в вакуумной среде, чтобы на проводящие дорожки не попадали пылинки. Отметим, что производство микросхем нового поколения потребовало существенно изменить характеристики вакуумного откачного оборудования, прежде всего в части «безмасленного» вакуума. В результате вакуумная техника достигла чрезвычайно высокой степени совершенства. Во всяком случае, ныне состояние сверхвысокого вакуума с давлением остаточного газа ниже 10^{-8} Па не представляет технической проблемы. Как же этого можно добиться?

Вакуумное сердце

Основой каждой вакуумной установки (кроме размещенных в космосе, где даровой вакуум — естественное состояние окружающей среды, которое можно и нужно использовать для производства тех же микросхем, см. «Химию и жизнь», 1999, №5. — *Примеч. ред.*) служит вакуумный насос, действие которого основано на одном из двух принципов. Откачивание газа осуществляется либо механическим перемещением молекул газа, либо их связыванием в результате химической реакции или конденсации. Рассмотрим сначала эволюцию вакуумных насосов, которые используют первый принцип.

Известно, что первые исследователи, начиная с эпохи Возрождения, откачивали воздух ручными поршне-

Но и в этом случае изделие перед наполнением элегазом нужно освободить от воздуха, то есть вакуумировать. В пищевой и фармацевтической промышленности продукты и лекарственные полуфабрикаты сначала замораживают, а потом сушат в вакууме, благодаря чему удается сохранить все полезные вещества, которые при сушке с нагревом могут распасться.

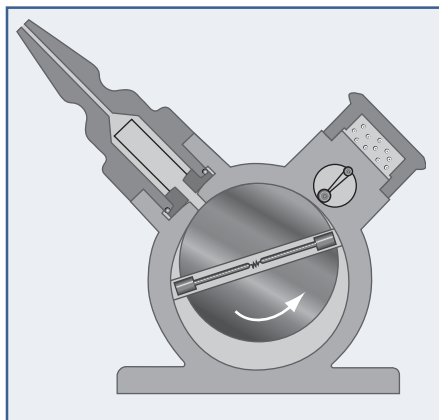
Для теплотехника или акустика вакуум — это пространство, где нет молекул, которые способны переносить нагрев или распространять звук. Термос или стеклопакет — результат использования такого свойства вакуума.

Для химика вакуум — это среда, где нет химически активных молекул. В вакуум можно поместить, как это сделали в конце 1870-х годов А.Н.Лодыгин и Т.А.Эдисон, проволочку из угля и, пропустив через нее электрический ток, нагреть до белого каления, не опасаясь, что при таком нагреве

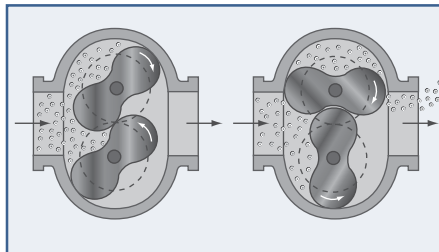
выми насосами с кожаными манжетами; на них похожи современные велосипедные насосы. Интерес к таким насосам не потерян и в наши дни. Оснащенные электроприводом и усовершенствованные конструкции этих насосов выпускают для перекачки сухих и влажных газов с быстрой откачки от 60 до 2000 л/с при предельном давлении 40 Па, или 0,3 мм рт.ст.

В дополнение к поршневым насосам с ручным приводом во второй половине XIX века было предложено несколько конструкций механических насосов, в которых роль поршня играла жидкая ртуть. Именно из числа этих насосов Т.А.Эдисон выбрал для откачки ламп накаливания ртутно-капельный насос Шпренгеля. В таком насосе есть два сосуда, соединенных трубкой: по ней капли ртути падают из верхнего сосуда в нижний. Каждая капля играет роль маленького поршня; она захватывает из откачиваемого пространства порцию воздуха и выталкивает ее в атмосферу. Быстрота откачки насоса Шпренгеля — всего несколько кубических сантиметров в секунду, а предельное остаточное давление 10^{-3} Па, или 10^{-5} мм рт.ст. Каждую лампу Эдисону приходилось откачивать по пять часов, но благодаря высокому значению вакуума и возможности продолжительной работы без присмотра оператора, которому только требовалось периодически переливать ртуть из нижнего сосуда в верхний, эти насосы два десятилетия исправно несли свою службу на электроламповых заводах.

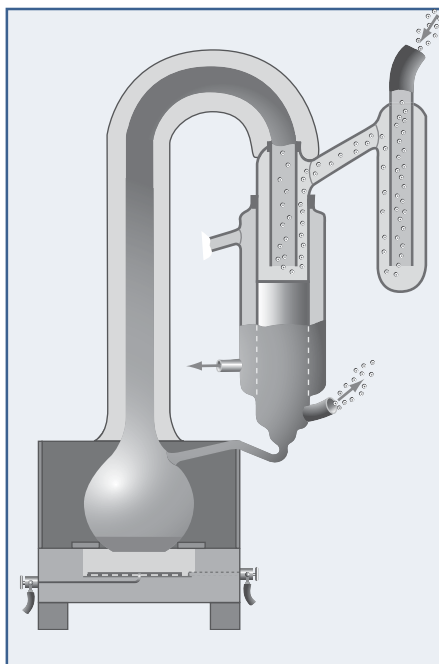
В 1908 году в Германии молодой инженер В.Геде (будущий классик вакуумной техники), желая исключить ручную работу по обслуживанию насоса, а также повысить его скорость, сконструировал пластинчато-роторный насос с масляным уплотнением. Этот насос с небольшими усовершенствованиями используют в лабораториях и промышленности до настоящего времени. Устроен он так. Внутри цилиндрической полости корпуса электромотор вращает эксцентрично расположенный ротор. В его пазах находятся пластины, а специальные пружины распирают их к поверхности полости корпуса. При вращении ротора воздух из откачиваемого устройства засасывается в левую камеру насоса. Когда весь объем камеры заполнится, воздух через клапан устремляется в атмосферу. Небольшое количество масла внутри полости служит смазкой и одновременно, образуя пленку между вращающимися



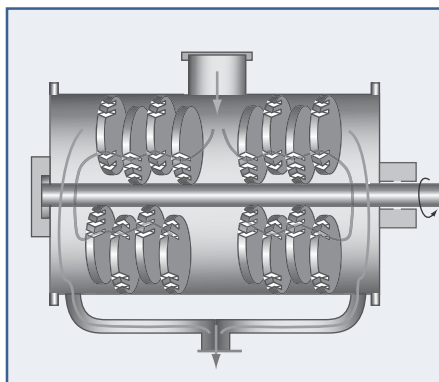
Роторный насос



Двухроторный насос



Диффузионный насос



Турбомолекулярный насос

ся и неподвижными частями насоса, препятствует обратному перетеканию воздуха. Предельное остаточное давление пластинчато-роторных насосов по сравнению с ртутным насосом довольно велико — 1 Па, или 10^{-2} мм рт.ст., зато скорость откачки гораздо выше: 1—500 л/с. Использование масла, с одной стороны, позволило отказаться от применения ядовитой ртути, а с другой — породило новую проблему: масло, как и любая жидкость, неизбежно испаряется в вакууме и загрязняет его своими длинными молекулами. Порой такое загрязнение оказывается столь неприятным, что против него приходится прилагать дополнительные меры. Сейчас подобные насосы служат для предварительной откачки при создании глубокого вакуума уровня 10^{-5} Па (10^{-7} мм рт.ст.), который необходим для радиоламп, рентгеновских трубок и электронных микроскопов. Такая система состоит из двух насосов, где в качестве второго стоит диффузионный насос.

Первым конструкцию диффузионника предложил тот же В.Геде в 1913 году. Его действие основано на перемещении молекул воздуха струей ртутного пара. Чтобы этот насос заработал, его сначала надо откачать до неглубокого вакуума механическим насосом. Затем включается кипятильник, который нагревает ртуть, и она начинает испаряться. Когда эти пары встречаются с потоком воздуха, выходящим из насоса предварительной откачки, то его молекулы диффундируют (отсюда и название) в пары и вместе с ними попадают в холодную ловушку. Из нее сконденсировавшаяся ртуть возвращается к нагревателю, а освобожденные от ртутного окружения молекулы воздуха откачиваются непрерывно работающим механическим насосом.

Диффузионные насосы Геде, несмотря на свою столетнюю историю, исправно служат и в наше время, привлекая конструкторов вакуумного оборудования надежностью и простотой. Следует отметить, что ядовитую ртуть в них достаточно быстро заменили на органические жидкости. В настоящее время диффузионные насосы выпускаются с различной скоростью откачки — от 100 до 100 тысяч л/с.

Другой насос, который со второй половины XX века успешно используют для получения глубокого вакуума, представляет собой модернизированную конструкцию известной еще с 1857 года воздухоудвки Рутса. В ней два ротора, имеющие форму

восьмерок, синхронно вращаются в разные стороны без соприкосновения друг с другом и с внутренними стенками корпуса. При соблюдении минимальных, измеряемых долями миллиметра, зазоров между роторами и стенками насоса, а также между самими роторами, можно получить предельное остаточное давление вплоть до 10^{-2} Па (10^{-5} мм рт.ст.), быстрота же откачки (от 250 л/с до 1500 л/с) зависит от геометрических размеров и скорости вращения роторов. Как правило, двухроторные насосы для своей оптимальной работы нуждаются в постоянной откачке со стороны выхода — это делают все те же механические насосы с масляным уплотнением.

Чтобы снизить предельное остаточное давление до 10^{-8} Па (10^{-10} мм рт.ст.), Дж.А.Беккер в 1957 году предложил так называемый турбомолекулярный насос. В его корпусе находится система неподвижных статорных дисков, а между ними вращается вал, на котором укреплены роторные диски. Как на статорных, так и на роторных дисках есть система радиальных пазов с косыми боковыми гранями, при этом грани пазов статорных колес расположены зеркально по отношению к граням пазов роторных колес. При вращении вала с достаточно высокой скоростью молекулы откачиваемого газа отскакивают от косых граней пазов роторных и статорных дисков таким образом, что направляются преимущественно в правую и левую стороны насоса, откуда через трубопровод попадают в атмосферу. Турбомолекулярный насос работает последовательно с насосом предварительного разрежения, создающего предельное остаточное давление не выше 1 Па. У серийно выпускаемых турбомолекулярных насосов номинальная частота вращения ротора составляет от 250 до 600 об/с, быстрота откачки от 160 до 2700 л/с, предельное остаточное давление от 10^{-5} до 10^{-7} Па.

Кроме того, сверхвысокий вакуум могут создавать водокольцевые насосы, в которых газ перед его выпуском в атмосферу сжимается в специфических ячейках. Эти ячейки заключены между лопастями рабочего колеса, эксцентрично расположенного в цилиндрическом корпусе, залитого до оси колеса водой; при вращении рабочего колеса центробежная сила отбрасывает ее к стенке корпуса. При каждом обороте объем ячеек между лопастями колеса и внутренней поверхностью вращаю-

щейся жидкости сначала увеличивается (этой фазе вращения соответствует всасывание откачиваемого газа), а потом уменьшается (этой фазе соответствует сжатие засосанного в ячейку газа с выпуском его в атмосферу на последнем этапе фазы сжатия).

Химический вакуум

При химическом способе создания вакуума удастся обойтись без многочисленных вращающихся устройств, зато придется использовать химикаты. Впервые химический способ уменьшения давления в 1894 году применил Малиньяни. Он наносил на внутреннюю поверхность колб ламп накаливания суспензию красного фосфора, который легко окисляется и извлекает весь кислород из содержащегося в лампе воздуха. Вскоре для уменьшения давления стали использовать пленки и из других материалов; их называли геттерами. Наиболее широкое распространение геттеры нашли в радиолампах: там они обеспечивали требуемый вакуум в течение всего срока службы. Аналогичную функцию геттеры выполняют и в колбах термосов.

В середине XX века процессы хемосорбции, лежащие в основе работы геттеров электровакуумных приборов, стали использовать и в вакуумных насосах. Например, в сорбционных насосах геттером служит титан, который непрерывно распыляют на поверхность, охлаждаемую до температуры жидкого азота (-196°C). Было установлено, что предварительная ионизация откачиваемого газа усиливает химическую активность геттера. Для лучшей ионизации в некоторых сорбционных насосах используют магнитное поле, и это позволяет довести остаточное давление до 10^{-7} Па и ниже.

Вот один из примеров насоса с геттером. В нем между двумя катодными пластинами из титана расположен ячеистый анод, на который подается положительный потенциал в несколько киловольт. Снаружи корпуса размещен постоянный магнит. Между катодом и анодом возбуждается газовый разряд, который устойчиво горит в широком диапазоне давлений. Образующиеся в разряде положительные ионы бомбардируют катодные пластины, вызывая распыление титана, который осаждается на поверхности анода. Почти пропорциональная зависимость тока разряда от давления автоматически регули-



ТЕХНОЛОГИИ

рует скорость распыления катодов, что в свою очередь обеспечивает постоянную быстроту откачки. Для устойчивой работы магнитных электроразрядных насосов в диапазоне 10^{-1} — 10^{-7} Па анод должен охлаждаться водой, а до 10^{-9} Па — жидким азотом. Быстрота откачки этих насосов — от 20 до 100 л/с. Чтобы не загрязнять парами масел камеру, в которой создается вакуум, предварительную откачку проводят адсорбционными насосами. В них газ поглощают сильнопористые твердые сорбенты, охлажденные к тому же до -196°C . В качестве сорбентов используют синтетические и природные цеолиты, активные угли и силикагели. Эти насосы обеспечивают безмасляную предварительную откачку. У адсорбционных насосов есть серьезные недостатки — время от времени нужно регенерировать сорбент, а время запуска у них весьма велико.

Как видно, получение сверхглубокого вакуума — дело непростое, требующее от инженера немалой способности к фантазии и поиску нетривиальных решений.

Итак, сегодня выпускаются вакуумные насосы разного принципа действия и с широким выбором характеристик. Подчеркнем, что каждый новый тип откачивающих устройств разрабатывался под новые требования потребителей вакуумной техники. А значит, в будущем мы станем свидетелями появления новых типов вакуумных насосов.

Что еще можно почитать о вакуумных насосах:

Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М.: Мир, 1964.

Борисов В.П. Вакуум: от натурфилософии до диффузионного насоса. М.: НПК «Интелвак», 2001.



Почему гитлеровцы не создали атомное оружие

В последнее время было опубликовано много литературы, посвященной попыткам гитлеровской Германии создать атомное оружие. И в ней часто утверждают, что Германия к 1945 году была на пороге его создания.

При знакомстве с этими публикациями создается впечатление, что многие из авторов забывают, насколько сложна научно-техническая задача, о которой идет речь. Необходимо было, во-первых, выполнить теоретические разработки, во-вторых, решить сложные инженерные задачи и, в-третьих, организовать соответствующие производства.

В те годы плутоний в Германии не производился вообще, а уран-235 — в количествах, достаточных лишь для лабораторных исследований. Иногда предполагают, что «в конце 1944 года и в марте 1945 года в Германии проводились испытания ядерного оружия малой мощности». Мол, на обычную атомную бомбу расщепляющихся материалов не хватало, но хватило на маломощную. Действительно, в 60–70-е годы XX века были созданы ядерные боеприпасы малой мощности. Однако и для них расщепляющегося материала нужно гораздо больше, чем имелось в Германии, вдобавок для создания таких боеприпасов пришлось решать еще более сложные задачи.

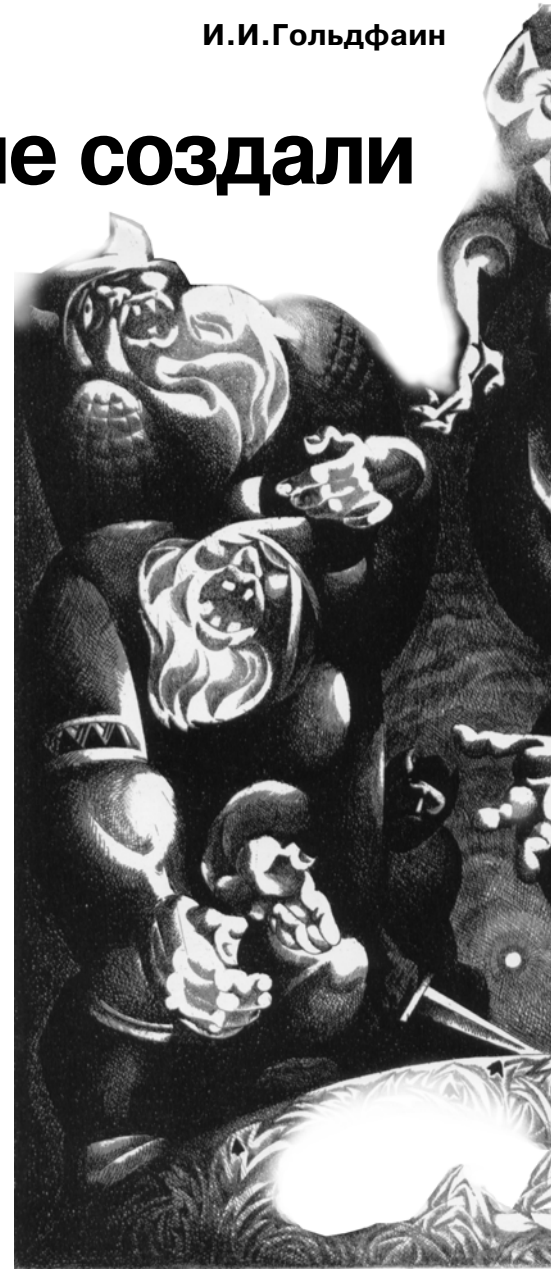
При этом нельзя забывать, что начиная с весны 1942 года Германия подвергалась постоянно усиливавшимся воздушным бомбардировкам. Самолеты-разведчики заметили бы предприятие по обогащению урана еще на стадии строительства, и за ними последовали бы бомбардировщики. Следовательно, помимо решения проблем производства, потребовались бы дополнительные усилия, связанные с маскировкой, защитой от бомбардировок, возмозным размещением производства под землей и т. д. Кроме того, история с тяжелой водой, которая использовалась в качестве замедлителя нейтронов в ядерных реакторах, напоминает о том, что для атомной бомбы требуется многое и помимо расщепляющихся материалов.

Отсюда ясно, что для создания атомной бомбы было необходимо выделить значительные ресурсы. Нужно

учитывать также сроки. США испытали свою бомбу в июле 1945 года. Чтобы создать бомбу до конца апреля 1945-го, немцы должны были работать с опережением американского графика. Но если бы Германия в 1942, 1943 и 1944 годах расходовала на атомную бомбу хотя бы половину тех ресурсов, которые расходовали в то время США, то война, скорее всего, закончилась бы не в мае 1945 года, а на несколько месяцев раньше — ведь Германии пришлось бы значительно уменьшить военное производство со всеми вытекающими последствиями. Так что если серьезно обсуждать вопрос о германской атомной бомбе, то вопрос надо ставить так: могла ли гитлеровская Германия создать такое оружие до конца января 1945 года? А это — опережение американского графика уже на полугодие. Отметим, что завод, где производился металлический уран, в середине сентября 1944 года сгорел в результате бомбардировки (Д.Ирвинг. Вирусный флигель. М.: Атомиздат, 1969). Одно это должно было значительно увеличить срок создания германской атомной бомбы, даже если бы все остальные проблемы были бы решены!

При этом мы исходим из предположения, что немцам было необходимо расходовать вдвое меньше ресурсов, чем США, поскольку в США одновременно разрабатывали два типа бомб — урановую и плутониевую. Такое решение было принято потому, что на первых этапах работы не было уверенности в технической реализуемости. Отсюда естественный вопрос: могло ли германское руководство в 1942 году выделить значительные ресурсы на проект, реализуемость которого была в то время очень сомнительна? Более того, если бы даже решение о работе над бомбой было принято, неужели в конце 1942 — начале 1943 года, после Сталинграда и других тяжелейших поражений, гитлеровское командование не отказалось бы от столь рискованного проекта?

Есть мнение, что Германия могла расходовать ресурсы более экономно, чем США, — например, не защищая персонал от радиации. Но американцы работали вдали от фронтов,



поэтому они могли более рационально организовать производство и строительство, у них было меньше проблем с квалифицированной рабочей силой. Массовое использование немцами принудительного труда имело следствием дополнительные трудности: необходимость охраны, опасность саботажа. Опасаясь авиации противника, немцы не могли сосредоточить все работы в одном месте, что опять же влечет дополнительные проблемы.

Итак, с германской атомной бомбой вопрос вроде бы ясен: гитлеровцы не могли обеспечить производство необходимого количества расщепляющихся материалов. И потому, что для этого пришлось бы отнять у военного производства значительные трудовые ресурсы, электроэнергию и т. д. И потому, что для получения подобных материалов было необходимо предварительно сконструировать и произвести



Художник В. Волович



РАССЛЕДОВАНИЕ

Не будем забывать про множество «второстепенных» проблем. Например, американцы в качестве самолета-носителя атомной бомбы использовали тяжелый бомбардировщик Б-29, который пришлось переоборудовать из-за больших габаритов бомбы. И тот, кто считает, что Германия могла создать атомную бомбу, должен рассказать и о средствах его доставки, а следовательно, и о ее предполагаемом весе — а он вряд ли мог быть существенно меньше американского. Германия тяжелых бомбардировщиков не имела. Такая бомба была бы слишком тяжела и для ракет ФАУ. Так что германскую атомную бомбу пришлось бы доставлять до цели на тихоходном тяжелом транспортном самолете — легкой мишени для истребителей противника.

Те, кто доказывают, что немцы могли создать ядерную бомбу, фактически подменяют понятия: они доказывают, что немцы могли провести соответствующие теоретические разработки. Однако и здесь заметна путаница. Известно, что немцы достаточно интенсивно работали над разделением изотопов урана. Это было необходимо для создания бомбы на уране-235. Обычно при этом добавляют, что в 1941 году Карл Фридрих фон Вайцеккер намеревался получить патенты на ядерный реактор и плутониевую бомбу. Действительно, вполне возможно, что фон Вайцеккер уже летом 1941 года понимал, что с помощью ядерного реактора можно получить плутоний и плутониевую бомбу. Но эта информация не помогает ответить на вопрос, могла ли Германия создать атомную бомбу, поскольку основным направлением работ была бомба на уране-235.

Еще более странно звучит сообщение о том, что Курт Дибнер готовился в 1944 году к термоядерному синтезу с помощью взрывчатых веществ. Чтобы сблизить ядра настолько, что станет возможным их слияние, необходимо преодолеть кулоновскую силу, чрезвычайно значительную при малых расстояниях. С помощью обычной взрывчатки это невозможно. Тема для отдельного исследования — делал ли Дибнер заведомо безнадежные опыты по невежеству, или на том этапе

развития науки было неизвестно, можно ли преодолеть кулоновские силы с помощью обычного взрыва или нет. Но о том, что при слиянии ядер выделяется энергия, в то время уже было известно. Поэтому сам факт, что в других странах не пытались вызвать слияние ядер с помощью обычной взрывчатки, заставляет со скепсисом относиться к сообщениям об опытах Дибнера. Не исключено также, что кое-кто из немецких ученых сознательно обманывал руководство страны и создавал у него иллюзию возможности создания сверхоружия. Об этом тоже необходимо помнить, когда мы читаем об опережающих время проектах, над которыми якобы работали немецкие ученые. Гитлеровское руководство не страдало избытком общенаучной культуры и вполне могло стать жертвой научного шарлатанства.

Книги, где сильно преувеличивают успехи германских ученых, работавших над атомной бомбой, соответствуют модной в наши дни тенденции — романтизации Третьего рейха. Военные и прочие успехи гитлеровской Германии всячески преувеличиваются. Поражения объясняются самыми разными случайными и субъективными обстоятельствами — вплоть до хитроумия Штирлица, который направил германский атомный проект в бесперспективном направлении. Чем вызвана такая тенденция и чем она опасна — тема отдельного серьезного разговора. Так или иначе, писатели-конъюнктуристы старательно следуют ей.

В связи с этим поучительно вспомнить еще об одном факте: в Америке какое-то время опасались, что в Германии ведутся работы над ториевой бомбой. Как известно, торий — это радиоактивный элемент, на базе которого в принципе может быть создано ядерное оружие. Основанием для таких опасений послужила информация о том, что одна германская организация вывезла в Германию много тонн тория. При этом выяснилось, что германская промышленность хотя и использует торий, но в гораздо меньших количествах (Д.Ирвинг). Никакого разумного объяснения подобного интереса к тории, кроме ториевой бомбы, американцы не видели. Однако позже

сложнейшее технологическое оборудование. Если же для кого-то этих аргументов мало, то им следует обратить внимание на еще один факт: США и Великобритания в годы войны опасались, что немцы смогут создать бомбу, и вели интенсивную разведывательную работу. И если бы крупномасштабные работы действительно имели место, то их было бы невозможно скрыть.

Генерал Лесли Гровс, руководитель американской программы по созданию атомной бомбы, рассказал, что единственное на контролируемой Германией территории месторождение урановых руд в Чехии было объектом пристального внимания разведывательных самолетов (Л.Гровс. Теперь об этом можно рассказать. М.: Атомиздат, 1964). Никакой интенсификации горнорудных работ в этом районе замечено не было.



РАССЛЕДОВАНИЕ

выяснилось, что германская фирма постаралась прибрать к рукам все запасы тория, имевшиеся в оккупированных Германией странах, рассчитывая на его коммерческое применение после войны. Если бы документы о вывозе в Германию тория были бы впервые обнаружены в наши дни, то вполне возможно, что кто-нибудь написал бы книгу о германских работах над ториевой бомбой. Причем о работах, близких к завершению, поскольку в наши дни тоже трудно представить, зачем еще немцам мог понадобиться торий в то тяжелое для них время.

Тем не менее изучение работ над атомной бомбой, которые велись в гитлеровской Германии, заставляет задуматься над некоторыми вопросами. Действительно, в Германии проводились серьезные исследовательские работы в области атомной энергии, и, похоже, что поначалу планы были весьма амбициозными. В начале 1942 года было начато строительство завода по производству металлического урана под Берлином, несмотря на то что такое производство было уже налажено на заводе во Франкфурте. Этот второй завод заработал только в 1944 году. История этого завода представляется загадкой. По-видимому, его начали строить, когда у немцев была надежда использовать уран в военных целях, но почему его строительство не было прекращено? Если бы германское руководство сразу осознало отсутствие в таких работах военной перспективы, то не привело ли бы это к передаче ресурсов в другие области? Представляют интерес данные о производстве в Германии металлического урана: 1940 год – 280,6 кг, 1941 год – 259,8 кг, 1942 год – 2459,8 кг, 1943 год – 5601,7 кг, 1944 год – 710,8 кг. Последнее число нуждается в уточнении: неясно, входят ли в него данные по второму заводу, где в декабре 1944 года было произведено 224 кг, в январе 1945 года – 376 кг, в феврале 1945 года – 286 кг.

В мемуарах руководителя военной промышленности Германии А.Шпеера (Воспоминания. Смоленск, «Русич», 1997), говорится: «Осенью 1942 года я еще раз спросил физиков-ядерщиков

о возможных сроках создания атомной бомбы и, узнав, что потребуется 3–4 года, приказал прекратить все работы в этом направлении. Ведь тогда война или закончится, или исход ее будет окончательно предрешен». Конечно, воспоминания не следует считать абсолютно надежным источником, но это соответствует общей картине. В начале 1942 года, после поражения под Москвой, гитлеровское руководство должно было понять, что скорой победы не будет, но какие-то надежды у них могли оставаться. Одной из таких надежд могло быть создание атомной бомбы. И действительно, в это время начинается строительство второго завода по производству металлического урана. А осенью того же года, после Сталинграда и других поражений вермахта, гитлеровскому руководству стало понятно, что у Германии нет шансов создать ядерное оружие до окончания войны. Поэтому они стали воспринимать работу, которую вели немецкие физики в этом направлении, как чисто исследовательскую, без реальных перспектив применения, и более не выделяли значительных ресурсов на эти цели.

Однако обнаруженные данные о производстве металлического урана в гитлеровской Германии вызывают интерес, хотя, конечно, они нуждаются в проверке. Не вполне понятно, зачем в Германии в 1940 году могли понадобиться сотни килограммов, а в 1942-м – тонны металлического урана. Вот что пишет А.Шпеер: «Летом 1943 года прекращение импорта вольфрама из Португалии поставило под угрозу производство одного вида боеприпасов, и я распорядился использовать для этого урановое сырье. Мы передали на военные заводы 1200 т урана». Можно предположить, что здесь речь идет о подкалиберных противотанковых снарядах. Однако в любом случае серьезное изучение данных о производстве и использовании урана в Германии в годы войны было бы интересным. Конец 1944 года, поражение Германии близко и неминуемо, и в это время вводят в эксплуатацию завод по производству металлического урана (Д.Ирвинг). Причем этот завод проработал до 15 апреля 1945 года. Кроме того, примерно в то же время делались попытки наладить производство урана на другом предприятии, куда было эвакуировано оборудование с уничтоженного бомбардировочного завода того же профиля. Работы велись «по инерции» или этот уран предназначался для производства боеприпасов?

Но так или иначе, в Германии в годы Второй мировой войны велись серьезные работы с ураном, а также с его химическими соединениями и с рудой,

что-то делалось и с торием. Естественный вопрос: не пострадало ли какое-то количество немцев в годы войны также и от радиации? Не остались ли где-то в Европе и после войны какие-то источники радиации? Например, боеприпасы, для изготовления которых использовался уран? Или потерянный в суматохе отступления вагон с радиоактивной рудой?

И в заключение – самое главное. Гитлеровское общество было аморальным. А в таком обществе крайне трудно наладить совместную работу больших разнородных коллективов. При создании новой техники военные порядки неприменимы. Уместно вспомнить, как немецкие физики, интернированные в Англии, отреагировали на известие о Хиросиме. Один из них, понимая, как много ученых и инженеров самых разных специальностей работало над бомбой, сказал: «Такое сотрудничество было бы невозможно в Германии. Каждый из нас старался бы доказать, что работа другого не имеет никакого значения». В аморальном обществе крупный творческий коллектив неизбежно будет страдать от склок, явного или скрытого соперничества, показухи, очковтирательства. Когда Гитлер пришел к власти, в Германии существовали мощные научные и инженерные коллективы в авиации и ракетном деле, и они продолжали достаточно успешно работать при национал-социалистах. Но в области танкостроения, которым в Германии стали заниматься только при Гитлере, Германия отставала и от СССР, и от США. Отметим, что К.Дибнера, занимавшего значительные административные посты, считали невеждой – и похоже, что обоснованно. Для тоталитарного государства характерно наличие ученых-невежд, пользующихся покровительством властей. Кроме того, не исключено, что кто-то из ученых из моральных соображений не желал способствовать военным успехам гитлеровской империи.

Тоталитарное государство очень замкнуто. Над американской атомной бомбой работало большое число ученых и инженеров из Великобритании и других стран. Вспомним, какую роль сыграл в этой работе итальянец Ферми. А в работе над германской атомной бомбой не видно участия ученых из союзных с Германией стран. В тоталитарном государстве трудно добиться успеха в принципиально новых областях науки и техники (как военной, так и гражданской), где не могут помочь ни опыт давно сложившихся и успешно работавших коллективов, ни научно-техническая разведка.



Торнадо и молния

В.Б.Медведев

*Люблю грозу в начале мая,
Когда весенний, первый гром,
Как бы резвяся и играя,
Грохочет в небе голубом.*

Ф.Тютчев

Древняя молния

Может показаться, что о молнии мы знаем все. Виднейшие ученые, например, Ю.Райзер и Э.Базелян в России, В.Раков и М.А.Юман в США, и многие другие построили десятки моделей, которые должны дать детальное описание явления на уровне современного знания. Однако основа лежащих в этих моделях научных представлений появилась четыре века назад, когда были сделаны электрофорные машины. В них заряд создается в результате трения друг о друга вращающихся дисков, и по мере его накопления в конденсаторах — лейденских банках — между электродами с сильным треском пробивает искра, точь-в-точь похожая на молнию. Тогда-то, за 150—200 лет до Максвелла и Фарадея, Гальвани и Вольты, возникла мысль, что атмосферное электричество появляется как и в электрофорной машине в результате трения друг о друга составляющих облака частиц. И заряд равномерно распределяется по облаку. На самом деле что именно происходит на небе, как образуются заряды электричества и как они распределяются, достоверно неизвестно и донныне. Это обстоятельство, впрочем, не мешает кочевать из монографии в монографию древних умозрительных представлений, выдаваемых за истину. В то же время экспериментальные попытки зарядить искусственно созданные в лабораториях облака до нужного заряда успехом не увенчались.

Молния как плазменный канал

Первые эксперименты для доказательства идентичности лабораторной искры и молнии поставил Б.Франклин в середине XVIII века. В России подобные исследования стоили жизни Г.Рихману, сподвижнику М.В.Ломоносова. Появление фотоаппаратуры позволило Б.Шотланду в 30-е годы прошлого века, а затем и другим исследователям, в том числе И.С.Стекольникову в СССР, измерить скорость распространения молнии в атмосфере. Оказалось, что она варьируется в пределах 100—2000 км/с при движении от облака к земле и достигает 3000 км/с при молниях между облаками на длинных, 10—100 км, промежутках. Получается, что горячий канал молнии пробивает атмосферу со скоростью в десять тысяч раз больше скорости звука!

Естественно возникает вопрос: а не сопровождается ли это какими-либо аэродинамическими явлениями? Ведь когда сверхзвуковой самолет разгоняется выше скорости звука, возникает ударная волна, грохочет гром, а вокруг носа самолета образуется конус обтекания. Пусть в случае с молнией ударная волна прижата к телу разряда и ее не видно, но что происходит на его кончике, пробивающем атмосферу со скоростью, многократно превышающей скорость звука?

Оказывается, специалисты об этом не задумываются. За время, прошедшее с опытов Франклина, молниезащита стала мощной отраслью техники, однако ученые, которые разрабатывают соответствующие устройства, озабочены спо-

собами защиты, а не деталями аэродинамики процесса. Те, кто занимается аэродинамикой (в России это ЦАГИ, МАИ, ИВТАН и МГТУ им. Н.Э.Баумана), не предполагают существования столь быстрого движения в атмосфере. Ведь максимальная скорость, с которой они имели дело, — это 12 км/с, — возвращение космического аппарата с орбиты Луна—Земля. Остальное меньше: 8 км/с — спутник Земли, чуть меньше скорость боеголовки стратегической ракеты, километры в секунду — тактические ракеты и, наконец, самолеты вроде Миг-25 — максимум 3,5 скорости звука. Поэтому, когда общаешься со специалистами по сверхзвуковому движению и говоришь, что существует объективно фиксируемый сверхскоростной процесс движения в атмосфере горячего канала с поперечным сечением в сантиметры и десятки сантиметров, то ничего, кроме недоверия и удивления, это не вызывает. Однако наличие таких процессов — это научно установленный факт.

В экспериментах с ракетами и проволоками, которые они тянут к облаку для получения искусственных молний, было замечено, что сечение канала молнии составляет от нескольких сантиметров до дециметров. На видеозаписях тех же экспериментов зафиксирована стадия угасания молнии, когда по ее длине появляются темные прозрачные зоны — страты. Аналогичный процесс можно наблюдать в лампе дневного света: при пониженном напряжении возникает череда темных и светлых зон. Стратификация канала, либо сразу, либо по мере угасания молнии, воспринимается наблюдателем, инерционным фотопленкой и видеокамерой как черточная молния.



На многих фотографиях, сделанных во время сухих гроз, видно, что у канала молнии трубчатая структура с более яркими стенками, причем эти стенки гофрированы, имеют форму синусоиды. Когда молния угасает, максимумы свечения сохраняются в местах уширения канала, что на отдалении создает эффект, называемый жемчужной молнией: длинная цепь светящихся точек-жемчужин

Так, пристально рассматривая многочисленные фотографии молний, полученные методом высокоскоростной съемки, мы приходим к выводу, что молния — это вовсе не лавина электрических зарядов, а полный плазменный канал, причем ток сосредоточен в его стенках, образуя так называемый скин-слой. Становится ясна и причина огромной, до 60000 км/с, скорости обратного лидера молнии — яркого мерцания, которое возникает после того, как молния достигла земли во время так называемого основного процесса. Такой обратный лидер развивается как колебательный процесс внутри полой плазменной трубы, подобно колебаниям в замкнутом контуре. Это электрические колебания, скорость которых может быть несравнимо выше, чем у колебаний плотности воздуха.

Метеорологи рассказывают, что еще 40 лет назад радары фиксировали очень важную закономерность: в гро-



ГИПОТЕЗЫ

**Этот Г-образный смерч разрушил в 2001 году
мадлерский парк Южные культуры**

ся в несколько зон. Сами зоны, как рассказывает С.М.Гальперин, наблюдаются со стационарной радиолокационной базы длительное время, до 40—45 минут.

Итак, получается, что у молнии есть три особенности. Во-первых, это зона сконденсированного электрического заряда в небе, причем не обязательно в облаке, помните гром среди ясного неба? Во-вторых, полый плазменный канал, стенки которого — скин-слой (зона концентрации тока) этого канала. В-третьих, существует передняя часть, пробивающая атмосферу, которая функционально отличается от канала. Заметив эти черты молнии, попробуем найти их у торнадо.

Тайны торнадо

Суть тысячелетних представлений о торнадо в том, что это воздушный вихрь. Такие представления получаются большей частью на основании сделанных со значительно-го расстояния наблюдений, а также фото- и видеозаписей. Другие источники знания — образовательный процесс в школе и институте, телевидение и энциклопедии. Однако накопилось много данных, которые эту гипотезу не подтверждают. Например, есть сведения, что зона, откуда тянется хобот торнадо, независимо от того, расположена ли она в грозовом фронте или отдельном облачке, представляет собой зону электрической активности. Существуют фото- и видеозаписи хоботов причудливых, в том числе Г-образных, форм, объяснить существование которых теории торнадо-вихрей не в состоянии: вихрь не может образовывать углы. Есть фото, когда солома, попав в торнадо, ускоряется настолько, что пробивает доски. Расчеты показывают, что для этого нужно иметь скорость в несколько скоростей звука, а всей теорией торнадо это не допускается: вихрь не может вращаться со скоростью, превышающей скорость звука, это все равно как если бы свет летел со сверхсветовой скоростью.

При прохождении торнадо зажигаются выключенные лампочки накаливания, что свидетельствует о наличии в нем сильного переменного магнитного поля. В идеаль-

зовых фронтах и облаках, которые служат источниками молний и торнадо, они замечали точки повышенной радиоотражаемости. Она была столь же высока, как у металлических объектов, а размер этих точек составлял от метра до десятков и сотен метров. Обычные облака, даже дождевые, такими свойствами не обладают. Получается, что в грозовых облаках и фронтах есть зоны концентрации электрических зарядов. Этот факт не находил объяснения в теориях грозы и не освещался в научной печати, так как предполагалось, что подобное концентрирование заряда в сравнительно малой области противоречит законам электростатики. Но в 2006 году в январском номере журнала «Метеорология и гидрология» вышла статья начальника отдела активных воздействий Росгидромета В.Н.Стасенко, который обобщил результаты многолетних радиолокационных экспериментов, проходивших в Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова под руководством С.М.Гальперина. В ней признано, что в грозовых фронтах и облаках действительно есть центры электроактивных зон или зарядов. При формировании молний эти центры могут образовывать разрядный ансамбль. То есть объединять-

*Если фотографии
смерчей
(Адлер, 2005 год)
сделать очень
контрастными,
то станут
заметными и полая
структура хобота
(справа), и наличие
конуса в месте
соприкосновения
с поверхностью,
в данном случае,
моря (слева)*



Фото С.В.Прокопенко

Фото В.Артамонова

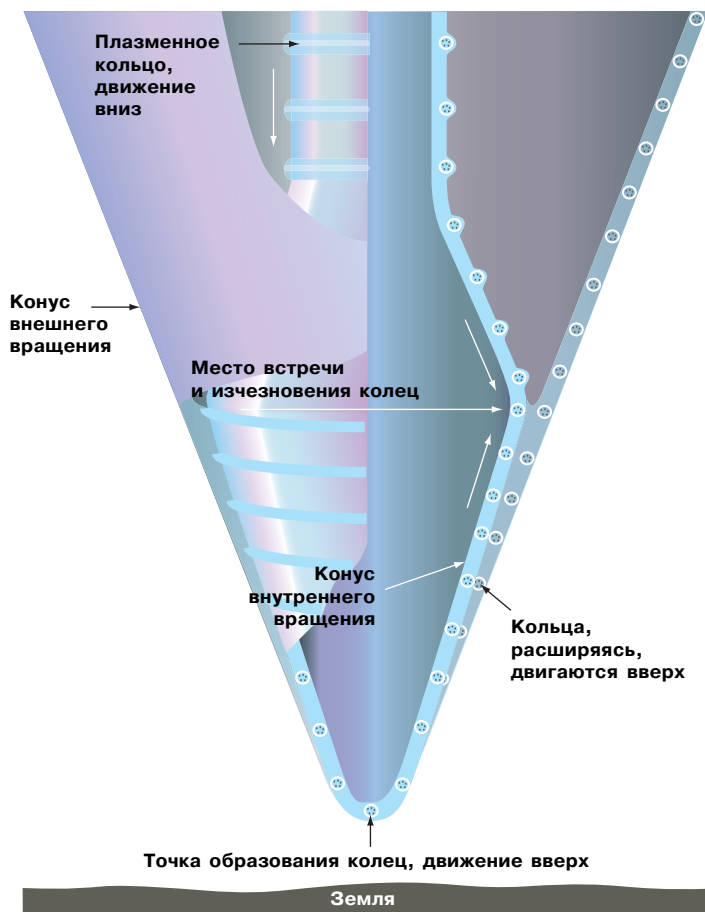


Схема узла вращения смерча

ных условиях, без пыли, грязи, дождя и солнечной засветки, фото- и видеоаппаратура всегда фиксирует идеальный вращающийся тонкий конус, вершина которого находится у земли, а углы слева и справа относительно земли всегда одинаковы. На всех качественных фото- и видеодокументах всегда видно: хобот торнадо имеет трубчатую структуру с тонкими стенками, что сильно напоминает канал молнии. Так мы подошли к следующей гипотезе: торнадо — это одиночный электрический разряд.

Строение конуса

При изучении явлений природы важнейшая роль принадлежит случаю: когда наблюдателю удастся рассмотреть тот или иной не поддающийся воспроизведению природный процесс. К сожалению, сделать правильные выводы из увиденного, да и просто понять, на что следует обратить внимание, может далеко не всякий человек, а прежде всего тот, который читает научно-популярную литературу. Мне повезло увидеть в деталях образование смерча. Дело было так.

Два года назад, 8 мая 2005 года, на возвышенности, расположенной неподалеку от деревни Сутки в Смоленской области, меня застала гроза. Лил дождь, сыпал град размером с грецкий орех, били молнии, причем буквально в 10—15 метрах от меня. В какой-то момент я поднял голову и стал рассматривать тучи над собой. Внезапно я увидел, как на небе образовалось движение в виде сверкающих спиц без колеса. Спицы вращались около секунды. Сразу после этого образовался гигантский голубой конус, с вершиной, направленной к земле. Этот конус стал опускаться, и мне удалось разглядеть, что он обладает сложной структурой и быстро вращается, а вверх тянется полая труба. Обогнув деревья, конус приземлился на дорогу в 8—9 метрах от меня (потом я измерил это

расстояние шагами). Все залило желтым светом, столь сильным, что находящиеся рядом ветки и кусты слились с фоном, однако детали строения прилетевшего объекта были хорошо заметны. В частности, оказалось, что синеголубые стенки и конуса, и трубы отнюдь не гладкие, но обладают рельефом. Вниз по трубе спускались кольца-утолщения, внутри которых можно было разглядеть своеобразную белесую структуру — группы полых замкнутых колец. Аналогичные структуры формировались в обращенной к земле вершине конуса. Поднимаясь вверх, они встречали спускающиеся кольца трубы и исчезали. От нижней части конуса формировался конус внешний, идеально совпадающий с известной по фотографиям картиной чехла торнадо. Конус висел на высоте 5—30 см от земли и медленно описывал окружность, то есть прецессировал. Наблюдение продолжалось более десятка минут. Конец же был таким. Труба расцвела синим цветом и стала непрозрачной. На внешней поверхности появились большие кольца-перетяжки. Поперек них сформировались несимметрично друг к другу маленькие внешние кольца. Затем раздался шипящий звук и хобот стал опускаться. При соприкосновении с землей возник сильнейший разряд с ослепительной вспышкой. Сразу после исчезновения объекта возник шум дождя. То есть конус играл роль зонтика.

Выводы из наблюдения

Замеченное явление можно объяснить, только если предположить, что молния и торнадо обладают одной природой и представляют собой проявления атмосферного электричества. Тогда все встает на свои места. Хоботом торнадо оказывается такой же, как у молнии, канал транспортировки электрических зарядов от заряженной зоны в облаке. Узел вращения соответствует лидеру молнии. В отличие от молнии, у которой лидер достигает земли и происходит разряд, лидер торнадо до земли не доходит. Узел вращения выступает в роли пробки, которая не дает заряду пройти до конца и обеспечивает многочасовую жизнь торнадо. Однако разряд в нем все равно идет — по каналу перемещаются пламенные кольца. Подобренные образования вовсе не представляют загадки для специалистов по физике плазмы — они часто встречаются с плазменными кольцами в своих экспериментах. Фактически группы полых колец представляют собой силовые линии вихревого магнитного поля, сформировавшегося при движении по каналу электрического тока: плазма диамагнитна и в соответствии с законами магнетизма она из магнитного поля выталкивается. Энергия разряда расходуется и на вращение конуса, и на движение этих колец, и на излучение. Сам же конус, в сущности, представляет собой гироскоп, который находится в режиме электромагнитного подвеса. Будучи электромагнитным образованием, он вполне может вращаться со скоростями много большей скорости звука и разгонять до этих скоростей различные материальные объекты — капли дождя или соломинки. Становится понятной и еще одна тайна торнадо — по рас-



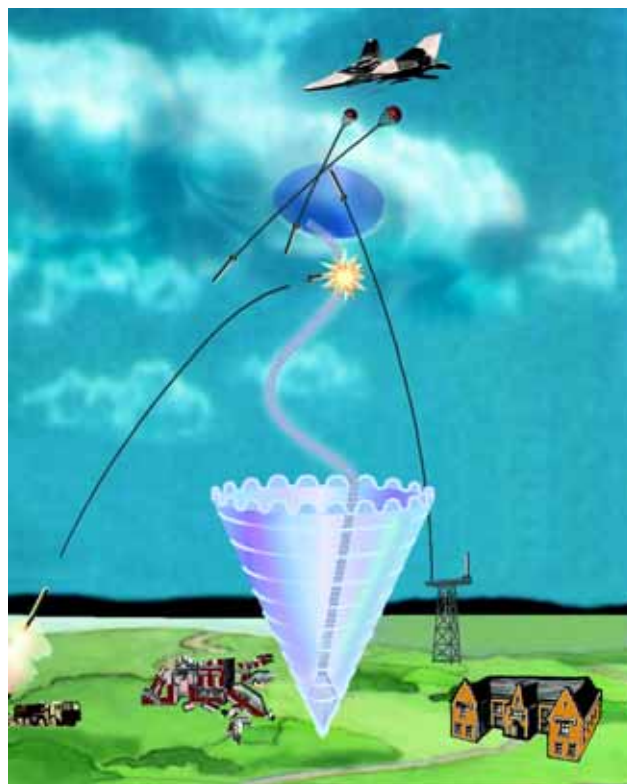
Схема борьбы с торнадо-молнией

ГИПОТЕЗЫ

сказам очевидцев, попав в колодец, оно уже не смогло оттуда выбраться. Для вихря такое поведение странно, а электромагнитный гироскоп действительно не сможет перепрыгнуть стенку колодца.

Предложенную гипотезу сравнительно не сложно проверить. Для этого нужно, во-первых, измерить электромагнитные поля при соприкосновении аппаратуры с хоботом и другими частями торнадо. Во-вторых, сфотографировать торнадо в рентгеновском, ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, причем как можно ближе к объекту — чтобы избежать искажений от воздуха и поднятой грязи. Это позволит доказать существование узла вращения, выявить детали его строения и особенности движения кольцевых образований. В-третьих, провести локацию зарядов, из которых формируются торнадо.

Из гипотезы следуют очень важные и полезные выводы. Прежде всего в случае подтверждения электромагнитной сущности торнадо возникает хороший способ борьбы с этим разрушительным явлением природы: для уничтожения такого торнадо достаточно перебить его хобот либо с помощью длинных проводников разрядить питающую его зону заряда в облаке. Кроме того, если в природе существуют каналы передачи огромных токов, которые живут десятки минут и тянутся на километры,



то, значит, нет никаких фундаментальных ограничений на создание руками человека аналогичных каналов длиной в сотни и тысячи километров. По таким каналам удастся чрезвычайно эффективно транспортировать электроэнергию, причем на них не будут распространяться те ограничения, которые свойственны металлическим проводам.



IX

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ЭКСПОХИМИЯ

5.8
ИЮНЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
СЕВЕРО-ЗАПАДА

Организаторы:



Российское Химическое общество
им. Д.И. Менделеева

Россия, 196105, Санкт-Петербург, а/я 215
Тел./факс: (812) 718 3537
E-mail: chem@orticon.com www.farexpo.ru

При поддержке:

Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
Правительства Ленинградской области

International Symposium on
**Advances in Synthetic
and Medicinal Chemistry**

Organised by



ChemBridge Corporation



EFMC
European Federation
for Medicinal Chemistry

August 27 - 31, 2007
St. Petersburg, Russia

Symposium Chairmen:

Prof. Steven Ley, University of Cambridge, Cambridge, UK
Dr. Magid Abou-Gharbia, Wyeth Research, Princeton, USA

International Scientific Committee

Chairs

M. ABOU-GHARBIA
(WYETH RESEARCH, Princeton, United States)
S. LEY
(UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, Cambridge, United Kingdom)

Members

I. BELETSKAYA
(MOSCOW STATE UNIVERSITY, Moscow, Russia)
W. GREENLEE
(SCHERING-PLOUGH RESEARCH INSTITUTE, Kenilworth, United States)
E. SORENSEN
(PRINCETON UNIVERSITY, Princeton, United States)
N. ZEFIROV
(MOSCOW STATE UNIVERSITY, Moscow, Russia)

International Organizing Committee

Chairs

R. PELLICCIARI
(UNIVERSITY OF PERUGIA, Perugia, Italy)
E. VAISBERG
(CHEMBRIDGE CORPORATION, San Diego, United States)

Members

S. ALTSHTEYN
(CHEMBRIDGE CORPORATION, San Diego, United States)
E. DIFFERDING
(UCB, Braine-L'Alleud, Belgium)

Scientific Committee will select up to 20 best abstracts submitted by young scientists from the former USSR. These scientists will be granted free one day pass to the Symposium including poster session. Please submit your abstracts in English to Scientific Committee: asmc07-abstr@chembridge.ru. See details on www.chembridge.ru

SYMPOSIUM SECRETARIAT:
LD Organisation

Tel: + 32 10 45 47 77
Fax: + 32 10 45 97 19
secretariat@asmc07.org

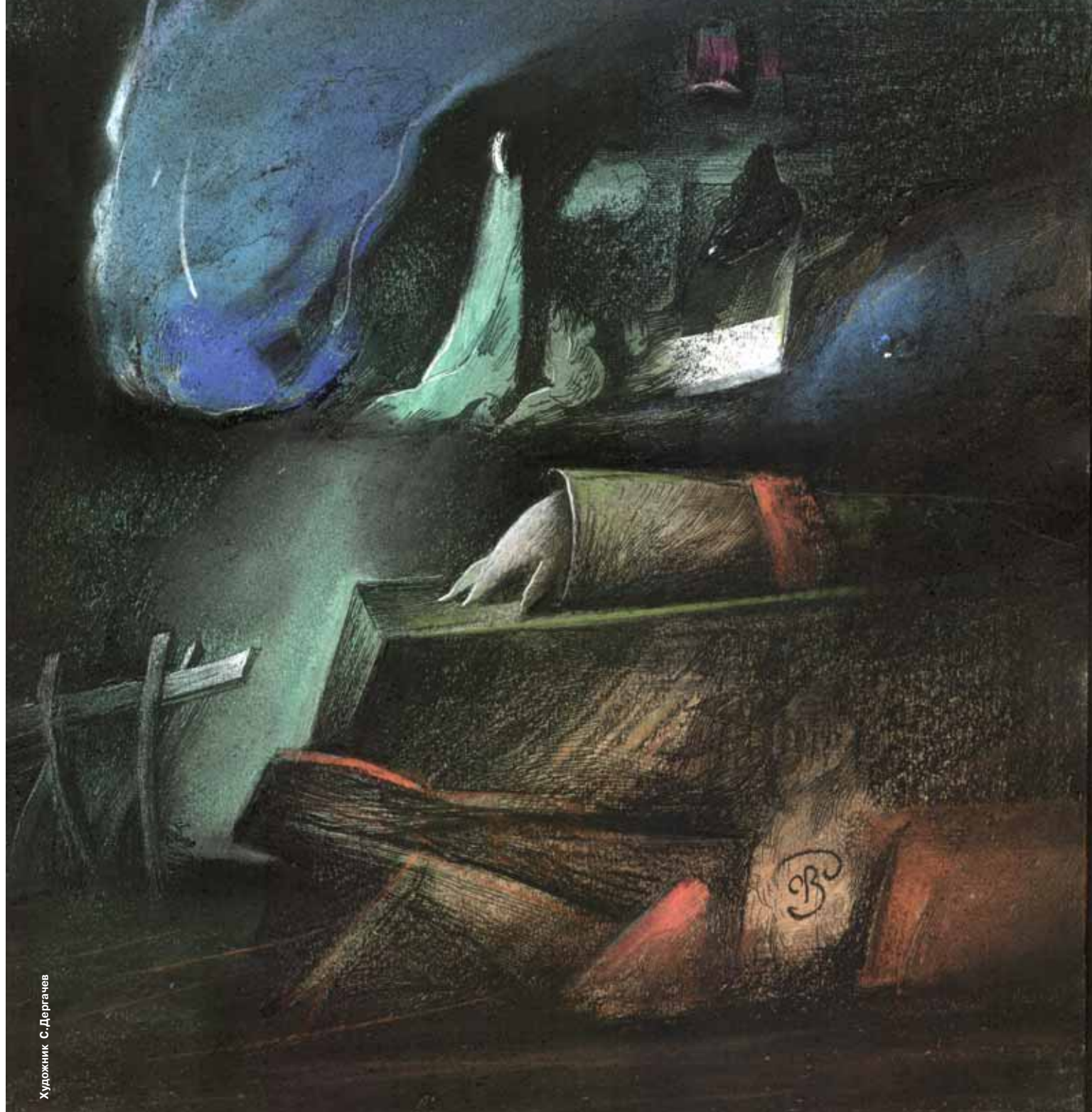


American Chemical Society



Division of Medicinal Chemistry

www.asmc07.org



Художник С.Дергачев

Кто найдет, того и будет

Алла Гореликова

Два года назад... или три? Время спуталось, смешалось — то не-
сется, то тянется, и трудно поверить, что недавно просто жили...

Конфетная фольга под зеленым осколком бутылочного стекла. Зе-
леные Тонькины глазищи под жидкой белобрысой челкой.

— Вот. Просто ты должен найти. А я — твою.

Игорь вертит в пальцах свой осколок. Коричневый. Долго такой ис-
кал: большей частью бесцветные попадают, ну еще зеленые, поре-
же... Отмыл — аж сверкает, и так здорово глядеть сквозь него на небо.
Странные игры в Тонькином дворе. Глупо верить в такую чушь, но
пускай. Раз Тонька хочет...

— Ладно. Давай, сделаю.

Тонька достает из кармана аккуратно свернутый фантик. С фольгой.

— Только знаешь, Тонь! — Игорь продирается через кусты сирени в глубину палисадника, сухой веткой рыхлит землю между змеистыми корневищами желтых ирисов. — Если я хочу, чтоб ты нашла, зачем же я от тебя прятать буду?

Фантик, фольгой вверх, аккуратно укладывается в ямку. Игорь, задержав дыхание, колет палец острым краем своего осколка. Капелька крови расплзается по стеклу.

— Что говорить?

Тонька подсказывает скороговоркой:

— Кто найдет — заберет, твое сердце возьмет, навеки спрячет.

Стеклышко вжимает фольгу в землю, ложится плотно — как тут и было, давно, с самого начала Земли. Заблудившийся в сирени ранний солнечный луч дробится карими искорками. Тонька садится на корточки, худые пальцы с обгрызенными ногтями торопливо расширяют ямку рядом с коричневым окошком. Ойкает, добыв капельку крови. Зеленое стеклышко тулится к коричневому. Тоньке хочется прикоснуться к Игорю. Но она, быстро-быстро повторяя затверженный наговор, присыпает тайничок землей, разравнивает, нагребает сверху прошлогодней листвы.

— Помни, это секрет.

Игорь пожимает плечами. Пусть будет секрет, раз Тоньке хочется. Ради того, что считаешь пустяком, не станешь подниматься на рассвете.

Когда ветер южный, до города долетает канонада. С каждым днем все громче. Когда ветер северный, канонады почти не слышно, но город затягивается едким дымом: на станции который день догорают склады. Тушить некому. От станции, говорят, остались груды кирпича и месиво железок. Уехать из города теперь нельзя — кто не успел, тот опоздал. Некоторые, правда, уходят пешком. Катят нагруженные пожитками тачки, детские коляски, велосипеды.

Тонькина мать, глядя на беженцев, поджимает губы, цедит: — Глупо.

А почему глупо — не объясняет.

Тонька теперь встает до света. У нее расписание: понедельник, среда, пятница — булочник, вторник и суббота — молочник, а четверг — бакалея. Везде очереди. Мать задерживается в госпитале допоздна, а то и на ночь остается. Ей не до магазинов, да и не до Тоньки. Но зато их там кормят, и продукты из материной пайки Тонька складывает про запас. Бабульки в очередях утверждают, что пайку вот-вот урежут.

Иногда Тонька сворачивает в палисадник, разгребает рыхлую землю между корневищами ирисов и всматривается в карие искорки. Совсем как его глаза. Ты живой, я знаю, думает Тонька. Торопливо разравнивает землю над тайничком и бежит дальше.

Когда мальчишек собирают рыть окопы, это нормально: каждая пара рук пригодится. Но когда потом им раздают винтовки — задумаешься.

И если в мысли твои прокрадется хоть капля оптимизма — все с тобой ясно: в голове или солома, или пропаганда. Оба случая неизлечимы.

Игорю нет дела до пропаганды. Свои мозги на месте, да и глаза тоже. Видно же, сколько на спешно открытых позициях бойцов, а сколько ополченцев. И каких ополченцев. Но...

Можно плевать на пропаганду, на ежевечерние политинформации, даже на высокопарное «долг перед Родиной». И все-таки можно упереться в этом тесном, тобою же вырытом окопчике, врасти в него, вцепиться в землю — и стрелять, пока остаются патроны. А потом подняться и пойти вслед за надоевшим до оскомины политруком в безнадежную штыковую.



ФАНТАСТИКА

Потому что ты помнишь зеленые Тонькины глазищи под белобрысой челкой, худые пальцы с обгрызенными ногтями, глупую дворовую скороговорку: «Кто найдет — заберет, твое сердце возьмет...»

Смешно верить, но пусть. Так легче. Два ярких фантика, два стеклышка, две капельки крови. Две души, две жизни. Одна любовь... Глупо, но пусть. Пусть будет именно это слово. Любовь. Так легче.

День выдается безветренный. И беззвучный. Опустившуюся на город тишину разбивает лишь топот сапог. Тонька смотрит сквозь щелку в шторах на солдат в чужой черной форме, пока мать не оттаскивает от окна силой.

Расписание остается прежним: булочник — молочник — бакалея. Только вместо пайковых карточек — чужие деньги. А откуда они, деньги? Мать в госпиталь не ходит «из принципа». И Тонька с этим принципом на все сто согласна.

Сначала продали вещи, кроме самых нужных. Потом, подвез запасы подчистую, пустили квартиранта.

Квартирант работает переводчиком на элеваторе: хлебная должность в самом прямом и верном смысле. Соседки, Тонька как-то услыхала, говорили: «Повезло докторше, теперь не заголодает». Тонька тогда только кулаки стиснула, проскочила мимо. Не видят они, как мать по собственной квартире ходит — опустив глаза, ссутулясь, тихо, будто призрак.

Квартирант напоминает Тоньке снулую рыбину: блеклый, с пустым взглядом странно прозрачных глаз, ходит, важно выпятив сытый животик, вытирает клетчатым платком пот с лысины. Фыркает: «Жаркая выдалась осень». Тонька старается не попадаться лишний раз под взгляд рыбьих глаз...

В теплые дни девчонки тянутся во двор. На виду болтаться страшно. Ленка выносит драное одеяло, расстилает в палисаднике за сиренью, девчонки садятся в кружок и шепчутся. Тонька старается сесть спиной к зарослям ирисов, чтоб не выдать слишком частыми взглядами их с Игорем тайничок.

Такие тайнички здесь есть у всех. Но о них не говорят. Кто захочет разрушить неосторожными словами собственную защиту, крохотный домик, хранящий искорку твоей души? Это тайна. А для разговоров есть обычные, настоятельные темы: Вовчика из третьего «а» вчера избил пьяный офицер, в кино крутят хронику, которой очень не хочется верить, а Ленкина мама устроилась посудомойкой и теперь приносит домой поесть, только очень противно.

Иногда Тонька встает пораньше, прокрадывается в палисадник и смотрит на искорки в карем стеклышке. И думает: живой...

Игоря выбрали деревенские. На нем не было ни царапины, и военная полиция, искавшая раненых бойцов, не обратила внимания на дочерна загорелого паренька, сноровисто и явно привычно копавшего огород. Сам Игорь помнил близкий взрыв — и темноту, в которой плавают размытые пятна бутыльно-зеленого цвета. Как Тонькины глаза.

Ох, Тонька... Глупо, но я верю в сказку твоего двора. Наши жизни, как Кошечкина смерть: не так просто взять.

Он хотел идти в город. Отговорили. Мол, без пропуска — только зря пропадешь.

Чужие солдаты расхаживали здесь по-хозяйски. Парней возраста Игоря согнали возить на элеватор зерно. Игорь таскал мешки, чихал от терпкого, перенасыщенного пылью и запахом спелой пшеницы воздуха и думал: одной спички хватило бы. Всего одной спички!

У кого-то из ребят спичка нашлась. Вот только виноватого искать не стали. Закопченный, разъяренный потерей провианта черномундирник (в званиях Игорь не разбирался, но кто-то шепнул: капитан) поставил к стенке всех.

Игорь прислонился затылком к теплому кирпичу. Тонька, я верил в твою сказку. Все это время верил. Любовь — глупое слово, но пусть лучше оно. Как ты там, Тонька?

Выстрелы — из другого мира. Стон рядом тоже. В моем мире — твои зеленые глазки под белобрысой челкой. Два стеклышка, в которых дробится ранний солнечный луч. Глупые девчачьи сказки. Ну и пусть глупые. Плевать. Все равно с ними легче.

Что-то лает на чужом языке капитан. Выстрелы. Кирпичная крошка бьет в лицо, оседает на волосах, на плечах. А небо точь-в-точь такое, каким виделось сквозь коричневый бутылочный осколок. Элеватор догорает. Сухой щелчок осечки. Капитан отшвыривает пистолет, что-то зло цедит сквозь зубы.

— Есть у них такое: трижды чудо — истинное чудо, — объясняет похожий на снулую рыбину переводчик. — Знак. Помилование свыше в твоём случае. Но теперь...

В рыбьих глазах мелькает что-то человеческое, странно похожее на сочувствие.

Миха из второй квартиры, тот, что до войны работал на автобазе, а теперь служит в полиции, выперся во двор ближе к вечеру. Пьяный и с пистолетом. Ворон пострелять.

Вороны оказались быстрее Миши, и он, прищурясь и закусив губу, стал целиться в дремавшую возле мусорника кошку.

Тонька с Ленкой сидели на лавочке у подъезда — ждали Ленкину маму.

— Промажет, — сказала Тонька. — Руки трясутся.

И верно, промазал. Вот только...

Ленка в голос охнула, и Тонька поняла — не почудилось. Короткий блеск в фонтанчике жухлой травы и сухой земли. Кружащийся в воздухе кусочек фольги... Бывает же!

— Твой?

— Ага.

— Не бойся, завтра перепрыгнешь, у меня дома фантики есть, хочешь, пойдем, выберешь? Ничего до завтрашнего утра не случится.

— А Валька?..

На выстрелы во двор забежал патруль. Потолковали о чем-то с Михой, двое таких же шкур продажных, засмеялись. А потом один из них развернулся и вскинул руку.

Два выстрела слились в один. Тонька глядела, как заливает кровь светлую Ленкину кофточку, и казалось — сон. Сон, бред... очнуться бы.

Валька, еще до войны, додумалась сделать тайничок под теплотрассой, и его перемолол бульдозер ремонтников. А Валька попала под машину.

Тонька уже не слышала, как, выходя со двора, стрелявший сказал:

— А по другой-то промазал. Ладно, ее счастье.

— Вот, парни, — сказал влихнувший его в землянку черномундирник, — счастливчика привел.

— Мелковат для сапера, — буркнул кто-то из темноты.

— Я сказал «сапер»? Просто он впереди пойдет. А вы, олухи, след в след.

— А, смертник, — протянул тот же голос. — Ну-ну.

— Говоришь ты много, — брезгливо процедил черномундирник. — Был бы чистенький, не здесь бы служил. Завтра велено высоту взять, так что подорвется этот — тебя первым пушу.

Игоря толкнули в дальний угол. След в след, значит? Ладно. Будет вам, сволочи, след...

Когда ветер северный, до города долетает канонада. Тихо-тихо, издали... месяц, другой... к ней привыкаешь, но все равно каждый день вслушиваешься — не ближе ли стала?

Тонька теперь не выходит на улицу. Страшно, да и незачем. Нетронутый снег в палисаднике виден из окна кухни. А продукты уже не продаются.

Квартиранта после пожара на элеваторе перевели не то в полицию, не то в комендатуру. Там, видно, оказалось не хлебно и не сладко: он осунулся, сытый животик истаял, а глаза научились испуганно бегать, став от этого, странно, куда более живыми. Однажды сказал он матери:

— Шли бы вы, сударыня, работать. Доктора нужны, паек будет, а девчонка ведь ваша совсем никакая, в чем душа держится.

— Не ходи, — вскинулась Тонька, — еще чего!

Мать промолчала. Но наутро собралась и ушла. Тонька день проревела, вечером отказалась от принесенного матерью хлеба, но материнских слез вынести не смогла. Ночь они просидели в обнимку, две женщины, которым было ради кого жить. Плакали. Вспоминали далекое «до войны». Утром мать сказала:

— Пойду. Вернется Игорек, кто, кроме тебя, его встретит? Пожалей парня...

Город не жалели ни отступающие, ни освободители. Игорь вспомнил вчерашнюю речь политрука: «Мешает забор — к черту забор, засел на чердаке снайпер — убрать вместе с домом. Здесь укрепайся, мать вашу, соображайте!»

От города остались развалины. Видеть их оказалось страшнее, чем идти по минному полю, не глядя под ноги. И муторнее, чем доказывать окопавшимся на высотке ребятам, что он — свой. Но кое-где среди развалин копошились уцелевшие жители.

Игорь посмотрел на одолженные политруком часы. Отпустили его неохотно и ненадолго — только узнать про своих. Командир, видно, понимал, что можно думать, глядя на разрушенный город. И надо бы поторопиться, ведь каждая минута на счету, но — страшно.

Игорь перебрался через груды кирпича на перекрестке и остановился, глядя на Тонькин дом. На единственную уцелевшую стену. На роскошную сирень в палисаднике и желтые ирисы. Господи, Тонька...

И ни уйти, ни во двор шагнуть.

Она шла навстречу, закусив губу и глядя под ноги, и вода из смятого с одного боку ведра выплескивалась кляксами на жаркий асфальт.

— Господи, Тонька! Да от тебя одни глаза остались.

Всхлипнув, Тонька поставила ведро. И молча уткнулась Игорю в плечо.

Часы отсчитывали последние минуты увольнительной.



АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ



для экологии и теплоэнергетики

www.vzor.nnov.ru

- pH-метры
- рNa-меры
- кондуктометры
- кислородомеры
- водородомеры

Измерения с удовольствием!



New

МАРК®

903

pH-метр

**измерение pH, ЭДС и
температуры водных растворов**

603106, г. Нижний Новгород, а/я 253. Тел: (8312)

**123953, 122940, 124136,
169875, 169878, 169879**

e-mail: vzor@mts-nn.ru

Шоколад

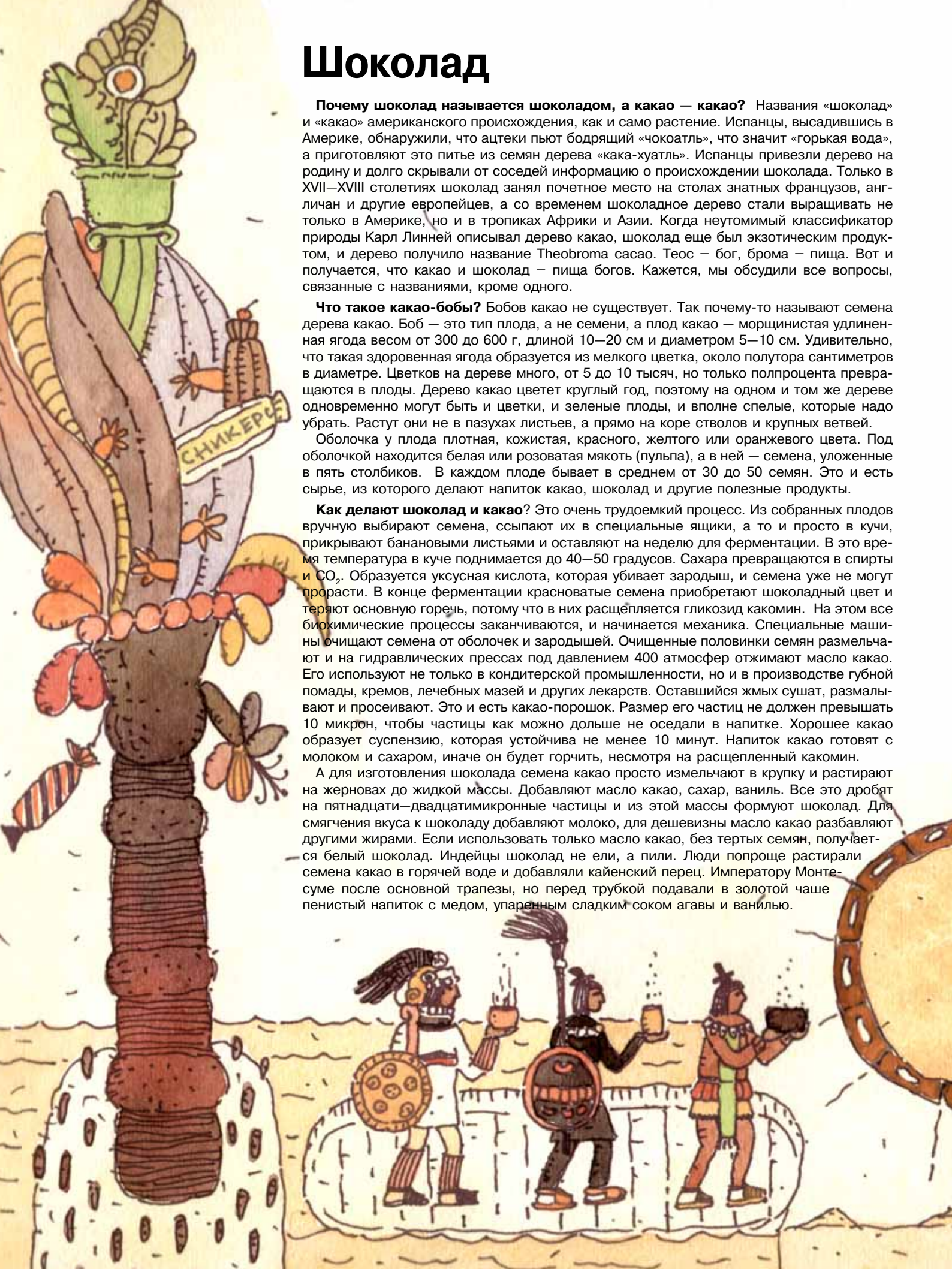
Почему шоколад называется шоколадом, а какао — какао? Названия «шоколад» и «какао» американского происхождения, как и само растение. Испанцы, высадившись в Америке, обнаружили, что ацтеки пьют бодрящий «чокоатль», что значит «горькая вода», а готовят это питье из семян дерева «кака-хуатль». Испанцы привезли дерево на родину и долго скрывали от соседей информацию о происхождении шоколада. Только в XVII–XVIII столетиях шоколад занял почетное место на столах знатных французов, англичан и другие европейцев, а со временем шоколадное дерево стали выращивать не только в Америке, но и в тропиках Африки и Азии. Когда неумолимый классификатор природы Карл Линней описывал дерево какао, шоколад еще был экзотическим продуктом, и дерево получило название *Theobroma cacao*. Теос — бог, брома — пища. Вот и получается, что какао и шоколад — пища богов. Кажется, мы обсудили все вопросы, связанные с названиями, кроме одного.

Что такое какао-бобы? Бобов какао не существует. Так почему-то называют семена дерева какао. Боб — это тип плода, а не семени, а плод какао — морщинистая удлиненная ягода весом от 300 до 600 г, длиной 10–20 см и диаметром 5–10 см. Удивительно, что такая здоровенная ягода образуется из мелкого цветка, около полутора сантиметров в диаметре. Цветков на дереве много, от 5 до 10 тысяч, но только полпроцента превращаются в плоды. Дерево какао цветет круглый год, поэтому на одном и том же дереве одновременно могут быть и цветки, и зеленые плоды, и вполне спелые, которые надо убирать. Растут они не в пазухах листьев, а прямо на коре стволов и крупных ветвей.

Оболочка у плода плотная, кожистая, красного, желтого или оранжевого цвета. Под оболочкой находится белая или розоватая мякоть (пульпа), а в ней — семена, уложенные в пять столбиков. В каждом плоде бывает в среднем от 30 до 50 семян. Это и есть сырье, из которого делают напиток какао, шоколад и другие полезные продукты.

Как делают шоколад и какао? Это очень трудоемкий процесс. Из собранных плодов вручную выбирают семена, сыпают их в специальные ящики, а то и просто в кучи, прикрывают банановыми листьями и оставляют на неделю для ферментации. В это время температура в куче поднимается до 40–50 градусов. Сахара превращаются в спирты и CO_2 . Образуется уксусная кислота, которая убивает зародыш, и семена уже не могут прорасти. В конце ферментации красноватые семена приобретают шоколадный цвет и теряют основную горечь, потому что в них расщепляется гликозид какомин. На этом все биохимические процессы заканчиваются, и начинается механика. Специальные машины очищают семена от оболочек и зародышей. Очищенные половинки семян размельчают и на гидравлических прессах под давлением 400 атмосфер отжимают масло какао. Его используют не только в кондитерской промышленности, но и в производстве губной помады, кремов, лечебных мазей и других лекарств. Оставшийся жмых сушат, размалывают и просеивают. Это и есть какао-порошок. Размер его частиц не должен превышать 10 микрон, чтобы частицы как можно дольше не оседали в напиток. Хорошее какао образует суспензию, которая устойчива не менее 10 минут. Напиток какао готовят с молоком и сахаром, иначе он будет горчить, несмотря на расщепленный какомин.

А для изготовления шоколада семена какао просто измельчают в крупку и растирают на жерновах до жидкой массы. Добавляют масло какао, сахар, ваниль. Все это дробят на пятнадцати–двадцатимикронные частицы и из этой массы формируют шоколад. Для смягчения вкуса к шоколаду добавляют молоко, для дешевизны масло какао разбавляют другими жирами. Если использовать только масло какао, без тертых семян, получается белый шоколад. Индейцы шоколад не ели, а пили. Люди попроще растирали семена какао в горячей воде и добавляли кайенский перец. Императору Монтесуме после основной трапезы, но перед трубкой подавали в золотой чаше пенный напиток с медом, упаренным сладким соком агавы и ванилью.



Чем пахнет шоколад? Специфический аромат какао формируют по крайней мере 40 летучих соединений. Самые важные из них – терпентиновый спирт линалоол, а также эфиры – амилацетат, амилбутират, бутилацетат.

Почему шоколад снимает усталость, повышает работоспособность? Почему поднимает настроение? Еще ацтеки отмечали возбуждающее действие шоколада. Семена какао содержат почти 2% алкалоида теобромина. В малой дозе он действует возбуждающе на сердечно-сосудистую и нервную систему, расширяет сосуды и снимает спазмы. Вот почему шоколад гонит усталость, повышает работоспособность и настроение. Способствуют этому и сахара, которые добавляют в шоколад. Есть в шоколаде немного кофеина и психостимулирующего средства фениламина. Поэтому детям и людям, легко возбудимым, шоколад на ночь лучше не есть.

Из чего складываются высокие питательные качества какао и шоколада? По питательной ценности шоколад и какао занимают одно из ведущих мест среди пищевых продуктов. Оно и понятно. Семена какао наполовину состоят из жиров, содержат 15% белков и до 10% углеводов, в них много солей фосфора и калия.

Толстеют ли от шоколада? Шоколад, который мы едим, это не только растертые семена какао. Благодаря молоку и сахару содержание углеводов в какао и шоколаде достигает 40%. Добавьте к этому масло какао и молочные жиры. В результате получается высококалорийный продукт. Сто граммов хорошего шоколада тянут на 600 килокалорий. Недаром шоколад входит в армейский неприкосновенный запас.

Какой шоколад полезнее – темный (горький) или молочный? В какао содержится флавоноид эпикатехин. Это антиоксидант, он связывает свободные радикалы, а считается, что антиоксиданты препятствуют нашему старению. В темном шоколаде эпикатехина вдвое больше, чем в молочном. Но дело не только в этом. Недавно ученые выяснили, что молоко препятствует всасыванию антиоксидантов какао в организм. Поэтому шоколад лучше есть натуральный, темный и не запивать его молоком. (Разумеется, в том случае, если верна окислительная теория старения.) Воздержаться от молока лучше и в том случае, если вы следите за своим весом.

Вреден ли шоколад для зубов? И да, и нет. С одной стороны, ваниль и какао тормозят кариес и процессы разрушения зубов. Но с другой стороны, сахар, добавляемый в шоколад, для зубов вреден. Так что положительное действие одних компонентов нивелируется отрицательным других. Во всяком случае, шоколад менее вреден для зубов, чем чистый сахар.

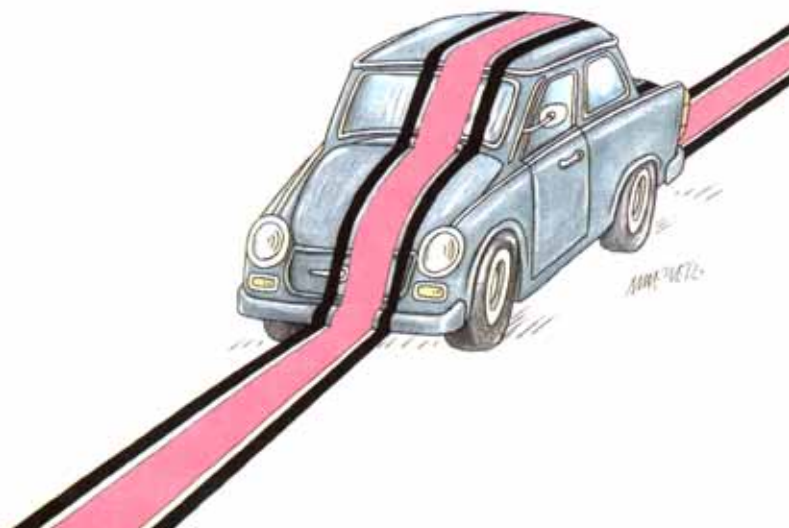
Почему шоколад седеет? Шоколад седеет по двум причинам. Первая – это жировое поседение. В жару на поверхности шоколада выпотеваает жир. Если «вспотевший» шоколад положить в холод, то жир закристаллизуется и мелкие кристаллы образуют серый налет. Обычно седеют шоколадки, в которые, наряду с дорогим маслом какао, добавлено более дешевое, например пальмовое. У него несколько другие физико-химические свойства и композиция менее устойчива и гармонична. Кстати, посторонние растительные масла влияют не только на поседение шоколада, но и лишают его характерного аромата и вкуса. Если лишних масел в шоколаде нет, он поседет только после истечения срока годности (шесть месяцев). Вторая причина – сахарное поседение. Когда холодные шоколадные конфеты попадают в теплое помещение, на их поверхности конденсируется влага. Она растворяет сахар, который потом кристаллизуется в виде налета. Поседевший шоколад безвреден, просто он несимпатичный и не такой вкусный, а если приготовлен с «пальмовыми» добавками, то невкусный совсем. Поэтому помните: шоколад не любит перепада температур, и его надо защищать от влаги. Вот почему его так тщательно упаковывают. Не стоит держать шоколад в холодильнике. Он и без холодильника спокойно хранится полгода. Ведь в нем нет воды, поэтому нет среды для развития микроорганизмов.

Почему настоящий шоколад тает во рту, а не в руках? Масло какао обладает уникальными физическими свойствами. Температура его плавления лежит в очень узкой области. Во рту температура на полградуса выше, чем температура ладони. Именно поэтому настоящий шоколад без добавки масел других растений, например пальмы, не пачкает рук.

Л.Викторова

НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ
НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ





КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Свет от пакетика

Органические светодиоды, способные превращать свет в электричество, а электричество в свет, изобрели примерно 15 лет назад. Они состоят из полимеров, и их можно сделать гибкими и легкими, изготовить пленки и волокна. Пленки — расправлять, чтобы получать большую поверхность, а из волокон плести нити, канаты и ткани.

Дело движется медленно, и тинэйджеры еще не бегают в майках, на которых полыхают всеми красками клипы любимых музыкантов. Органические светодиоды используют в мониторах мобильных телефонов и плееров, но эти устройства недолговечны.

Недавно 13 групп из Великобритании, США, Китая, Бельгии, Италии и Дании образовали международный консорциум «Modacom», цель которого — разработка технологий для получения дешевых полимерных светодиодов (пресс-релиз Батского университета, Великобритания). На исследования они получают 1,7 млн. долларов на три года.

Инженеры рисуют нам радужные перспективы: оконные стекла, прозрачные днем, а ночью всей поверхностью испускающие свет, одежду с полосками, где высвечиваются электронные надписи, легчайшие переносные солнечные батареи для туристов, дачников и военных, которые можно будет сворачивать в трубочку.

Легко представить себе и другие возможности, особенно в рекламе и выборных технологиях. Микропроцессор, вклеенный в упаковку, покажет на светодиодном экране видеоролик о достоинствах товара. Огромные гибкие мониторы будут моментально разворачиваться в любом месте или в виде воздушных змеев парить над толпами гизбирателей, показывая им кандидата. А на костюмах ОМОНа и других спецслужб появятся светящиеся надписи, объясняющие населению, что можно делать, а что нельзя.

М.Рачковский

...самая горячая звезда в созвездии Ориона имеет эффективную температуру около 37 000K («Письма в Астрономический журнал», 2007, т.33, № 1, с.39—43)...

...сплавы, подобные Ni_2MnGa , обладают магнитной памятью, то есть изделие восстанавливает форму не при нагреве, как у нитинола, а при помещении в магнитное поле («Журнал теоретической физики», 2007, т.77, вып.2, с.136—139)...

...алмазоподобные кристаллиты, то есть кластеры тетракоординированных атомов углерода, могут при термообработке превращаться в онионы — многооболочечные фуллерены («Физика твердого тела», 2007, т.49, вып.2, с.378—383)...

...воду можно очищать от пестицидов фотокаталитическим способом — облучая ее ультрафиолетом в присутствии катализатора в специальных фотореакторах («Агрохимия» 2007, № 3, с.78—84)...

...опубликован обзор академика И.П.Ашмарина, посвященный регуляторным ди- и трипептидам глипролинам — потенциальным активным веществам лекарственных препаратов, подобных семаксу и селанку («Нейрохимия», 2007, т.24, № 1, с.5—7)...

...донная фауна атоллов издает непрерывный шум, состоящий из характерных голосов рыб, морских ежей, раков и моллюсков («Акустический журнал», 2007, т.53, № 2, с.201—206)...

...полностью секвенирован геном третьего примата после человека и шимпанзе — макаки резуса; его длина составляет около 3 миллиардов пар нуклеотидов, 93,5% его идентичны геному человека, тогда как у шимпанзе — 98% («New Scientist», 2007, № 2600, с. 31)

...у американской норки обнаружен принципиально новый тип близнецовости, вдобавок к монозиготной и дизиготной: такие детеныши норки происходят от одной яйцеклетки, но при этом не идентичны генетически, а имеют, например, наборы хромосом $2n$ и $3n$ («Генетика», 2007, т.43, № 2, с.280—283)...

...экспериментальное уменьшение у молодых крыс числа детенышей в одном помете приводит к опережающему развитию мозга крысят, а в экспериментах на старых крысах такой закономерности не наблюдается («Бюллетень экспериментальной биологии и медицины», 2007, т.143, № 3, с.349—353)...

...ограниченность естественных кормовых ресурсов в национальных парках делает нецелесообразным увеличение, а возможно, и поддержание на нынешнем уровне популяций копытных-фитофагов — зубров, лосей, благородных оленей и косуль («Лесоведение», 2007, № 2, с.57—62)...

...идентифицировано около 20 новых веществ в составе травы кориандра («Химико-фармацевтический журнал», 2007, т.41, № 3, с.30—34)...

...у водорослей есть почти все те же фитогормоны, что и у наземных растений («Физиология растений», 2007, т.54, № 2, с.186—194)...

...селектируемые линии лосося значительно отличаются от диких популяций, даже от собственных предков, по частоте аллозимов («Генетика», 2007, т.43, № 3, с.293—307)...

...41% аудитории научно-популярных СМИ считают, что популяризацией науки должны заниматься сами ученые, 32% — что это дело профессиональных журналистов, и 26% — что популяризаторами могут быть ученые, ушедшие из науки («Психологический журнал», 2007, т.28, № 2, с.31—43)...

...определен участок фронтальной коры мозга, при повреждении которого пациенты проявляют склонность к ненормальным «утилитарным» решениям нравственных дилемм — например, принести в жертву меньшее количество людей, чтобы спасти большее («Nature», 2007, т. 446, № 7138, с.908-911)...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Комариха против электроники

Почти двести лет прошло с тех пор, как А.С.Пушкин пожаловался: «Ох, лето красное! любил бы я тебя, когда б не зной, да пыль, да комары, да мухи». Маленькие кровопийцы продолжают отравлять мирную жизнь граждан своим надоедливym пискom. Комариха может летать неслышно для человеческого уха, однако, обнаружив добычу, она специально издает характерный звук, оповещая сестер о таком примечательном факте. Поведение вполне альтруистическое — ведь звук привлекает к его источнику внимание жертвы, что зачастую кончается фатально для насекомого.

Способов извести комаров было предложено много, особенно в XX веке. От радикальных, вроде осушения болот или их обработки ядохимикатами, до более мирных, например индивидуального химического оружия в виде гвоздичного масла, ДЭТы и всевозможных дымовых спиралек.

А можно ли в этом деле обойтись без химии? Казалось бы, есть специальные ультразвуковые излучатели, которые отпугивают комарих. Однако эффективны ли такие пугалки? Это решила выяснить международная группа ученых (агентство «AlphaGalileo», 16.04.2007). Они проанализировали результаты десяти испытаний, проведенных в разных странах, и не нашли никакого статистически значимого эффекта. «Число комарих на коже участников эксперимента не зависит от того, использовали они ультразвуковой прибор или нет», — говорит руководитель работы, доктор Ахмед Али Энайяти из Мазендеранского университета медицинских наук (Иран).

Получается, что маленький комар сумел-таки посрамить создателей электроники. А вот испускающие дым спирайки оказались ему не по зубам, точнее, не по хоботку.

С.Анофелес



Космос — это урожай

А.В.СОЛОВЬЕВУ, Томск: Фарфор с радужным отливом делают с помощью люстров — растворов органических соединений металлов, которые наносят на обожженную глазурь и обжигают еще раз; при этом на поверхности изделия образуется тонкая металлическая пленка; кстати, жидкое золото, или харц, которым рисуют на посуде золотые узоры, тоже люстр.

П.Н.УВАРОВУ, Казань: Уплотнение растительных масел — термическая полимеризация в присутствии катализатора при температуре до 300°С или окислительная полимеризация продуванием нагретого воздуха — применяется, например, в производстве олиф.

Е.Л.КОНОНЕНКО, Санкт-Петербург: Спасибо за сообщение, мы действительно уже писали в «Химии и жизни»: оксид цинка алхимики называли философской шерстью потому, что, если скоблить нагретый цинк железной палочкой, оксид появится в виде легких белых волоконцев; с другой стороны, за 15 лет немудрено было и забыть...

В.Ю.СЕМЕЦКОМУ, Калуга: Прибор под названием atomizer к ядерной физике не имеет никакого отношения: нашим садоводам атомайзеры известны как пульверизаторы и опрыскиватели.

Ю.Ф.ЗУБАИРОВУ, дер. Ново-Актово, Башкортостан: Ваше наблюдение о стимуляции умственных способностей в экстремальных ситуациях, несомненно, основано на фактах, но вряд ли стоит прилагать усилия для искусственного создания таких ситуаций — пускай жизнь все сделает за нас.

М.Ю., Москва: Если на упаковке крема — сжигателя жира написано, что наилучший эффект достигается в сочетании со сбалансированным питанием, физическими нагрузками и массажем, в этом есть логика; однако имеет смысл проверить, насколько эффективны массаж, гимнастика и диета без крема.

ПБОЮЛ «МЕФИСТОФЕЛЬ», письмо из Интернета: С предложением об арендовании души ознакомились, высылаем встречное предложение от ООО «Максвелл», которое приглашает на работу демонов (манипуляции с нанообъектами, круглосуточная занятость, обучение на месте, оплата по договоренности).

ВСЕМ ЧИТАТЕЛЯМ: Фотография цветущего тамариска в статье А.В.Киселевой «Соленая трава» (2007, № 2) была любезно предоставлена сайтом «Энциклопедия декоративных садовых растений», <http://flower.onego.ru/>; просим прощения, что не указали сразу.



Художник Е.Силина



КСТАТИ О КОСМОСЕ

История с прогнозом урожая из космоса началась почти сто лет назад. Тогда, в двадцатые годы XX века, после открытия американским астрономом Л.Лоуэлом сезонных изменений цвета каналов на Марсе возникла идея, что это может быть связано с цветением и увяданием марсианских растений. Изучая эти изменения, то есть проводя спектрофотометрические исследования планеты, можно собрать много информации о жизни на ней. Но поскольку сравнивать марсианскую растительность мы можем только с земной, начинать надо с ее спектров излучения, а затем уже попытаться понять, что происходит на Марсе. Так появилась новая наука — астроботаника, а одним из ее основоположников был академик АН Казахстана, член-корреспондент АН СССР Г.А.Тихов.

В 40—60-х годах XX века он со своими коллегами сначала измерял спектры излучения отдельных земных растений, а потом с помощью аэрофотосъемки получил спектры от больших массивов растительности. Эти работы, в частности, позволили предположить, что марсианские растения должны быть черными: так им удобнее поглощать всю скудную энергию, которую приносят на Марс инфракрасные и видимые лучи далекого Солнца и отражать губительный

ультрафиолет. (Например у злаков, произрастающих в максимально приближенных к марсианским условиям — в Памиро-Алае, на высоте четырех километров, — колоски окрашены в черный цвет.) Аналогичные исследования проводили и другие группы ученых в разных странах.

Хотя экспедиции конца XX века ни каналов, ни растений на Марсе не нашли, фундаментальные астроботанические исследования дали полезный побочный результат: изучение спектров излучения растений в конце-концов привело к установлению так называемых индексов вегетации. «Дело в том, что спектральные характеристики поверхности планеты сильно зависят от того, что на ней растет и растет ли вообще что-нибудь. Необработанные поля на снимках, сделанных из космоса, отличаются от засеянных, всходы выглядят не так, как зрелые растения. Значит, можно проследить за их развитием, а также определить площади земель, занятых той или иной культурой. Сравнивая изображения одного и того же поля в разные годы с данными об урожайности, удастся понять закономерности и оценить будущий урожай, — рассказывает доктор технических наук, зам. директора ИКИ РАН Е.А.Лупян. — Как правило, подобным анализом занимаются государственные органы. Например, результаты космических исследований пригодились во время прошедшей переписи сельскохозяйственных земель в 2006 году. Интерес к таким методам проявляют и агрохолдинги. Принадлежащие им поля порой разбросаны по всей территории страны, поэтому следить за тем, что на них посеяно и как это растет, проще из космоса».

П.Данилов



**14-я международная выставка
химической индустрии**

Х И М И Я

3-7 сентября

www.chemistry-expo.ru



**Центральный
выставочный
комплекс
"ЭКСПОЦЕНТР"**

2007



ОРГАНИЗАТОР:

EXPOCENTR

**при содействии
ЗАО "Росхимнефть"**

При поддержке

**- Министерства промышленности
и энергетики РФ
- Российского союза химиков**

**Экспоненты - более 900 фирм и
организаций из 29 стран**

**ЦВК "Экспоцентр"
123100, Россия, Москва,
Краснопресненская наб., 14
Тел.: (495) 255-37-99, 255-25-28
Факс: (495) 205-60-55
E-mail: mir@expocentr.ru
chemica@expocentr.ru
www.expocentr.ru**

ISSN 1727-5903

