



Х

∞

2008

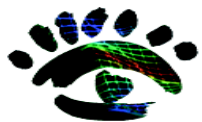
СНЗЖ И ВИШИХ





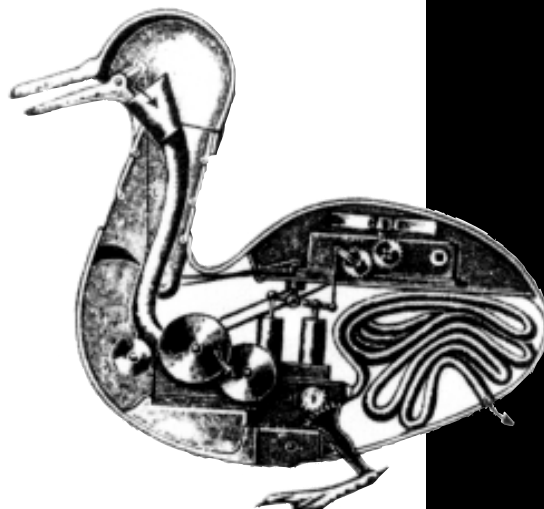


*Цивилизованное общество  
напоминает ребенка,  
который получил ко дню  
своего рождения  
слишком много подарков.  
Дж.Дж. Томпсон*



*НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина*

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —  
картина Роба Гонсалеса «Перемена декораций».  
Человека очень заботит несовершенство окружаю-  
щего мира. Но как только ему удастся все изменить,  
становится понятно, что что-то не так.  
Надо переделывать. Об этом читайте в статье  
«Обратная задача энергетики».*







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. Альшулер,  
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,  
О. А. Мызникова,  
О. Б. Баклицкая-Каменева  
textmaster@informnauka.ru

Подписано в печать 4.8.2008

**Адрес редакции:**

125047 Москва, Миусская пл., 9, стр. 1

**Телефон для справок:**

8(499) 978-87-63

**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.



4

Ученые, подарившие  
миру трансатлантический  
Интернет, получили  
заслуженную награду  
в Хельсинки....

10

...а Джеймс Уотсон рассказал  
москвичам о последних достижениях  
лаборатории Колд-Спринг-Харбор.

**Химия и жизнь**



**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

**С. М. Комаров**

ТЕХНОЛОГИ XXI ВЕКА ..... 4

**ИНФОРМНАУКА**

ЭСТАФЕТА МОНГОЛОИДНЫХ ГЕНОВ ..... 8

ЕВРОПЕЙЦЫ НЕ СОХРАНИЛИ СВОЕ АФРИКАНСКОЕ ПРОШЛОЕ ..... 9

**СОБЫТИЕ**

**Е. Клещенко**

ДЖЕЙМС УОТСОН В МОСКВЕ ..... 10

**КНИГИ**

УРОКИ ДЖЕЙМСА УОТСОНА ..... 16

**ТЕХНОЛОГИИ**

**Э. М. Спектор**

ДОРОЖНАЯ ХИМИЯ ..... 20

**СТАТИСТИКА**

**С. Анофелес**

ХИМИК И ДИПЛОМ ..... 23

**РАССЛЕДОВАНИЕ**

**Л. Намер**

КОЕ-ЧТО О ПАТЕНТАХ ..... 23

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

**В. Благутина**

ПСЕВДОЖИВАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ..... 24

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

**А. Ю. Завражнов, В. П. Зломанов, Д. Н. Турчен**

ХИМИЧЕСКИЙ КОВЕР-САМОЛЕТ ..... 28

**ЭКСПЕРИМЕНТ**

**О. В. Волошин**

ОБЕЗЬЯНЫ ПРОКЛАДЫВАЮТ ДОРОГУ НА МАРС ..... 32

**ДИСКУССИИ**

**Помпонию Квадрат**

РАЗМЫШЛЕНИЯ О ДРАКОНАХ ..... 36

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

**С. Алексеев**

ОРГАНИЧЕСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ..... 39

32



Почетная судьба выпала обезьянам: демонстрировать сохранность мозга в условиях, приближенных к космическим.



Алан Хигер и его солнечная батарея.

39

54



Чтобы запустить искусственный спутник, недостаточно построить ракету: нужны навигационные системы.

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

**Л.Намер, И. Ильин**

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ЭНЕРГЕТИКИ ..... 44

**НОУ-ХАУ**

**О.О.Максименко**

ИСТАЯТЬ В ПЛАМЕНИ ДУГИ ..... 48

**ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ**

**Д. Жилин**

ОБ АТОМЕ, ХИМИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТЕ И ЛОЖНЫХ ДРУЗЬЯХ ПЕРЕВОДЧИКА ..... 49

**ИНФОРМНАУКА**

БЕНЗИН С МЕТКОЙ ..... 50

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК В СТОЧНОЙ ВОДЕ ..... 50

НА ПЛЯЖ С ДОЗИМЕТРОМ ..... 51

ЧИСТЯЩИЙ ЛЕД ..... 52

СТРАННЫЙ ПОЛИМЕР ..... 52

КОМУ НУЖНА УПИТАННОСТЬ БУДУЩЕЙ МАМЫ? ..... 53

**СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ**

**В.П.Селезнев**

МОИ ПЕРВЫЕ ШАГИ В КОСМОНАВТИКЕ ..... 54

**РАЗМЫШЛЕНИЯ**

**Дэвид Кошланд**

ПОЛВЕКА «ПЕРЧАТОЧНОЙ» МОДЕЛИ ..... 60

**ФАНТАСТИКА**

**Ирина Истратова**

ТОМ ПЕРВЫЙ ..... 62

**НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ**

**Л.Викторова**

АРАХИС ..... 68

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ЛЮБВИ**

**Е.Котина**

О ВЕРНОСТИ И РЕВНОСТИ... ..... 72

ИНФОРМАЦИЯ ..... 61

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ ..... 18

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ ..... 70

ПИШУТ, ЧТО... ..... 70

ПЕРЕПИСКА ..... 72

**В номере**

20

**ТЕХНОЛОГИИ**

Дороги издревле считаются одной из двух главных бед России. Достижения науки еще усугубляют эту беду: чем больше полезных веществ химии извлекают из битумов, тем хуже становится дорожное покрытие, которое делают из того, что осталось. Но решение, оказывается, существует.

24

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

Кажется, про полимеризацию мы знаем все — из школьного курса по органической химии. Но в большинстве школ не рассказывают о том, что обрыв цепи, завершающий рост полимера, можно сделать обратимым. И тогда мы получим «живой» полимер, послушный командам экспериментатора.

36

**ДИСКУССИИ**

Было бы в корне неверно рассматривать драконов исключительно как ящериц-переростков. Возьмем, например, китайского дракона: изгиб его туловища характерен скорее для гусеницы. А некоторые современные гусеницы очень похожи на драконов.

44

**ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

Обычные для энергетики задачи — обеспечить энергию, необходимую для перемещения, нагрева или других полезных целей. Однако в процессе разработки источник энергии нужно испытывать. При этом энергию кто-то должен потреблять, имитируя эксплуатацию.

50

**ИНФОРМНАУКА**

О том, как пометить бензин, о вкусе сточных вод, о дозиметре, отмеряющем время загара, о ледяной пушке вместо пескоструйки и о том, почему у городских лягушек белая полоса на спинках.

# Технологи XXI века

Специальный  
корреспондент  
журнала  
«Химия и жизнь»,  
кандидат  
физико-математи-  
ческих наук  
**С.М.Комаров**



Фото С.М.Комарова

*Дать человеку безграничные возможности для связи с другими людьми, вылечить его от болезней, а после этого поставить под контроль. Примерно такие задачи будет решать XXI век по версии членов жюри главной технологической премии планеты — Millennium Technology Prize, которую каждые два года вручают в столице Финляндии. В этом году первую премию размером в 800 тысяч евро получил американец Роберт Лангер, создатель технологии контролируемой доставки лекарств и отец тканевой инженерии. Другие лауреаты — разработчики оптических усилителей света на основе эрбия, автор алгоритма Витерби и главный ДНК-дактилоскопист планеты Алек Джеффрис получили по 125 тысяч евро. Все эти люди собрались здесь не случайно: без особого преувеличения можно сказать, что они определили лицо человеческой цивилизации начала XXI века. Без их работ были бы невозможными сотовая связь, Интернет, опознание многочисленных жертв вооруженных конфликтов, не было бы надежды когда-нибудь наладить производство живых органов человека и обеспечить ему если не вечную молодость, то весьма продолжительную зрелость. В общем, многое из того, что в своих произведениях воспели фантасты второй половины XX века.*

## Связь через океан

Когда-то, давным-давно, когда еще не было Интернета и письма с одного конца земного шара шли несколько дней, а из одного конца страны, занимавшей шестую часть суши, в другой — несколько недель, а именно двадцать с лишним лет назад, ученые стали задумываться над тем, как бы эту ситуацию изменить и сделать связь быстрой и надежной. Казалось бы, решение — вот оно: оптоволоконный кабель, который к тому времени уже существовал. Более того, и у нас в стране первая линия связи была проложена в 1979 году в Зеленограде (см. «Химию и жизнь», 2000, № 1). Однако сколь бы хорошим не было стеклянное волокно, свет в нем неизбежно затухает и, пройдя 25–50 км, становится таким слабым, что передавать далее его никак невозможно. Как пошутил один из лауреатов, Рэнди Джайлс, — представьте, мы нашли источник света мощностью как Солнце и подключили его к оптическому волокну где-нибудь на севере Финляндии. Тогда в Хельсинки из этого волокна вышел бы свет одной свечи.

Значит, чтобы сигнал прошел большее расстояние, его нужно усилить. Схема усилителя имела, но была весьма громоздкой. Свет превращался в электрический сигнал и поступал в микросхему, которая управляла лазером, излучающим новый, усиленный сигнал в продолжение волоконного кабеля. Вдобавок такая схема позволяла передавать по каждому волокну лишь один сигнал. Для некоторых специальных сетей связи такое решение вполне годилось. Но о том, чтобы перебросить коммуникационный мост между континентами, и речи не было.

Вот если бы свет, несущий по оптическому волокну информацию, усиливался сам собой... Теоретическая возможность такого усиления имеется: для этого нужно со-

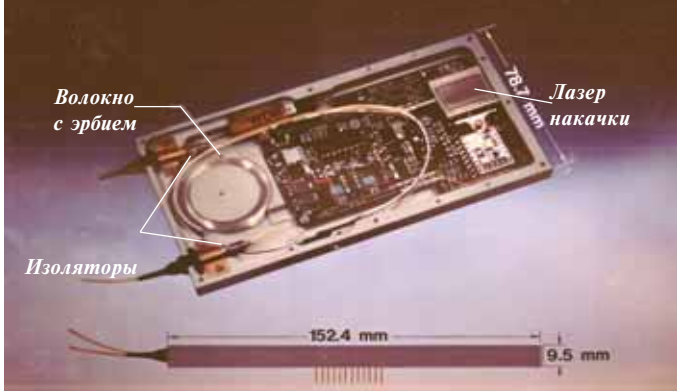
здать в оптическом волокне те же самые условия, что приводят к получению лазерного луча. Каковы они?

Лазер — это аббревиатура, которая в переводе с английского означает «усиление света с помощью стимулированного излучения». Суть в том, что у электронов вещества, создающих лазерный эффект, есть несколько близко расположенных энергетических уровней. Сначала с помощью накачки подающее большинство электронов возбуждают и поднимают на некий метастабильный энергетический уровень, освобождая нижний. Пробыв там некоторое не очень продолжительное время, они добровольно возвращаются назад, производя так называемое спонтанное излучение. Однако их можно заставить совершить переход, осветив стимулирующим светом. Будучи не в состоянии поглотить еще один квант энергии, электрон падает вниз, излучая фотон, длина волны которого соответствует разнице энергий между исходным и конечным уровнями. Попадая в другие электроны, заброшенные на метастабильные уровни, этот фотон их сбивает и порождает лавину совершенно одинаковых фотонов.

Именно так должен работать и оптический усилитель света, для чего в состав оптического волокна нужно добавить элемент, атом которого обладает большим числом энергетических уровней. Тогда, если осветить волокно накачивающим лазером и перебросить электроны на метастабильный уровень, то несущий сигнал свет, ослабленный долгим путешествием по оптическому волокну, вызовет лавину излучения и, таким образом, усилится в достаточной мере, чтобы преодолеть следующий участок пути.

При всей ясности конструкции было два непростых вопроса: что это за элемент и сколько его надо вводить в оптическое волокно? Из общих соображений ясно, что





*Внутри оптического усилителя расположена катушка с оптическим волокном, в которое добавлено немного эрбия, оптические изоляторы, не позволяющие усиленному свету смешиваться с исходным сигналом, лазер накачки и некоторые другие необходимые для его работы элементы*



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

скорее всего, нужен какой-то редкоземельный металл: у него крупные атомы с большим количеством электронов, поэтому много энергетических уровней. Из числа этих металлов наиболее подходящим для создания оптического усилителя оказался эрбий, который при добавлении в стекло придает ему розовый цвет.

Эрбий хорош тем, что у него есть электронные уровни, переходы между которыми дают свет с длиной волны 1555 нм. Такой свет попадает в первое, чаще всего используемое окно прозрачности оптического волокна: в диапазоне 1525–1565 нм оно поглощает меньше всего. Для усиления света с этой длиной волны нужно направить на эрбий луч лазера с излучением 1480 нм или 980 нм. Последнее забрасывает электрон на более высокий промежуточный уровень, откуда он почти мгновенно сваливается на рабочий метастабильный: электрон на нем живет целых 10 миллисекунд. При современных скоростях передачи, измеряемых гигабитами информации в секунду, это огромное время: электрон не успевает спонтанно свалиться вниз, а дожидается удара несущего сигнал фотона.

Первую попытку использовать волокно с эрбием для оптического усиления света предпринял в 60-х годах прошлого века доктор Элмас Шнитцер из университета штата Нью-Джерси. К сожалению, у него не было лазера, да и особой потребности в оптических усилителях тогда тоже не было. Он возбуждал эрбий фотовспышкой и убедился в существовании эффекта усиления света. На этом работа и закончилась.

Спустя двадцать пять лет ситуация для эрбиевых усилителей света изменилась: лазеры перестали быть диковинкой, а потребность в быстрой связи по оптическому кабелю стала насущной. Поэтому когда пионер британской оптоэлектроники Дэвид Пэйн, профессор Саутгемптонского университета, в 1985 году занялся рассмотрением оптических волокон с редкоземельными элементами, он быстро нашел эрбиевое волокно и первым сообщил всему миру, что с его помощью удалось усилить световой сигнал. А в это время в Стэнфордском университете аналогичные опыты ставил Эммануэль Дезюрвир, молодой постдок из Франции. Спустя год, в 1986-м, он пере-

шел работать в исследовательскую лабораторию компании «Bell Labs» и вплотную занялся оптическими усилителями на основе волокон с добавками эрбия. Там он познакомился с канадским инженером-электриком Рэнди Джайлсом, который, по его собственному признанию, очень любит конструировать всевозможные оптические приборы. Не без его помощи, а также благодаря тому, что «Bell Labs» — крупная компания, изготавливающая самую разную аппаратуру для телекоммуникаций, спокойная академическая работа превратилась в то, что можно назвать термином «внедрение». Правда, в лучших американских традициях руководство компании быстро оценило потенциал исследования и обеспечило ученых всем необходимым. «Все необходимое», помимо установок для выплавки заготовок заданного состава и вытягивания из них оптических волокон, включало в себя еще и компактные лазеры. Первые опыты, связанные с поиском оптимальной концентрации эрбия в волокне, а также собственно конструкции оптического усилителя — диаметр волокна, его длина, оптические изоляторы — проводили с аргоновыми лазерами. Однако их размер был слишком велик, чтобы такие лазеры можно было использовать на практике. Альтернативой могли служить лазерные диоды, но в то время никто еще не делал их достаточно мощными и с нужной частотой излучения. К счастью, в 1989 году японцы из компании «NTT» сообщили о разработке лазеров именно с необходимой длиной волны — 1480 нм. «Президент «Bell Labs» направил просьбу к японским коллегам предоставить несколько образцов таких лазеров для исследований. Они в этой просьбе не отказали, и вскоре у нас появился первый оптический усилитель света», — вспоминает Рэнди Джайлс.

Свежесозданные эрбиевые усилители вскоре оказались на дне Атлантического океана — их использовали в подводном оптоволоконном кабеле. Компании «Lucent Technologies», которая незадолго до этого по требованию антимонопольного комитета США была отделена от «Bell Labs», этим кабелем соединили Северную Америку и Европу. В 1991 году появилась та самая магистраль, о которой отечественные интернетчики вскоре стали говорить с придыханием: у меня есть прямой выход на Швецию, а оттуда на кабель, ведущий к Америке. Собственно, именно благодаря эрбиевым оптическим усилителям эта сеть и стала возможна — с полупроводниковыми такой способ связи остался бы уделом избранных. Дело в том, что из-за взаимодействия ионов эрбия с окружающим веществом его энергетические уровни расщепляются (это называется эффектом Штарка) и возможно излучение света в интервале длин волн. Этот интервал для эрбия составляет 30–40 нм. Отсюда следует, что одновременно можно усиливать множество сигналов, различающихся длиной волны не-

Фото Millennium Foundation



*Эммануэль Дезюрвир, Рэнди Джайлс и Дэвид Пэйн (слева направо) показывают основные детали эрбиевого оптического усилителя*



*Усилитель для межконтинентальной магистрали выглядит как семиметровая торпеда и весит более сотни килограммов. В ней находится множество катушек с эрбиевыми волокнами, каждая из которых присоединена к отдельному волокну кабеля, лазеры, источники питания и другие устройства, необходимые для того, чтобы гонять терабайты информации по глобальной сети*



*Современные усилители для небольших сетей могут быть гораздо меньшего размера — с коробку спичек, и они стоят во всех без исключения оптоволоконных сетях. Общая же длина оптоволоконных кабелей, опутавших Землю, в 23 тысячи раз превосходит длину ее экватора. И в каждом достаточно протяженном кабеле есть эрбиевый усилитель. Кроме того, оптические усилители применяют в промышленных и особенно в хирургических лазерах*

сущего их света. Сейчас минимальное различие между ними, при котором удастся не спутать сигналы, исчисляется десятками долями нанометра, то есть по одному волокну одновременно проходит до ста независимых линий связи.

Несмотря на огромную потребность в оптических эрбиевых усилителях, лишь несколько компаний заняты производством самих волокон. Одна из таких компаний — «SRI Lasers», основанная профессором Пэйном. Она же входит в число лидеров по изготовлению промышленных и медицинских лазеров. Кстати, в 2007 году Дэвида Пэйна избрали иностранным членом Российской академии наук.

## Человек из телефона

Если с результатом трудов Дэвида Пэйна, Эммануэля Дежурвира и Рэнди Джайлса сталкивается каждый, кто пользуется Интернетом или кабельным телевидением, то второй лауреат, Энтони Витерби (отечественные ученые его фамилию произносят через «е» с ударением на первый слог) незримо присутствует в каждом без исключения сотовом телефоне. В общем-то без его работы сотовая связь могла бы и не состояться. Причина в том, что он разработал так называемый алгоритм Витерби, с помощью которого корректируют ошибки, возникающие при передаче информации по беспроводным сетям.

Эта работа началась в середине шестидесятых годов XX века, и связана она была с необходимостью обрабатывать большой поток цифровой информации, которым к тому времени орбитальные аппараты стали обмениваться с Землей. Математик Энтони Витерби, сын эмигранта, не пожелавшего жить в фашистской Италии, работал в НАСА и принял участие в создании системы связи с орбитой, поскольку до этого он уже имел десятилетний опыт работы по развертыванию похожих военных систем.

Суть проблемы можно обрисовать следующим образом. Сигнал, который поступает от одного клиента к другому, претерпевает несколько преобразований, и на каждом может возникать ошибка, искажающая сигнал. Поскольку вся цифровая информация кодируется в двоичной системе, этот сигнал принимает одно из двух значений — 0 и 1. Как можно, получив информацию, узнать, какой сигнал был передан, если воздействие на него шума неизвестно? Витерби и предложил в 1967 году алгоритм поиска ответа на этот вопрос.

Существует следующий относительно простой пример, с помощью которого можно понять, в чем суть этого алгоритма. Предположим, у вас есть приятель, который живет в другом городе. Он живет в троичной системе, то есть может выполнять три действия — гулять, ходить за покупками и прибраться в доме. Вы ему каждый вечер звоните и узнаете, что он делал сегодня, вчера и позавчера. И на основании этой информации хотите узнать, какая в его городе была погода — ясная или дождливая. В теории связи эта операция называется определением скрытых параметров Марковской модели на основании известной последовательности событий. Вероятность того, что случится какая-то последовательность событий, определяется прямым алгоритмом, а наиболее веро-

ятную последовательность солнечных и дождливых дней, соответствующую данным о том, как провел день житель города, определяет алгоритм Витерби. Он оказался чрезвычайно эффективен и требует относительно небольших вычислительных ресурсов.

По совету юристов Витерби не стал мелочиться и патентовать свой алгоритм. Впоследствии это возвратилось ему сторицей: он стал признанным авторитетом в выделении полезной информации из зашумленного сигнала. В семидесятых годах этот алгоритм лег в основу логики беспроводных модемов. В восьмидесятых — был применен в коммерческих спутниках связи. В девяностых — при коррекции ошибок в Интернете. На этом же алгоритме построены стандарты сотовой связи CDMA и GSM, а также протокол связи для беспроводных сетей WiFi. Его применяют при расшифровке последовательностей нуклеотидов в ДНК, и в системах распознавания речи. Например, в последнем примере, получив акустический сигнал, алгоритм Витерби позволяет подобрать наиболее вероятную текстовую строку, которая соответствует этому акустическому сигналу, — текстовая строка здесь выступает в качестве искомого скрытого параметра.

Кроме того, он стал создателем нескольких весьма прибыльных компаний, которые занимаются системами связи, — в 2000 году журнал «Форбс» поместил его на 386-е место в



Фото Millennium Foundation

*Энтони Витерби держит лист, на котором изображена блок-схема созданного им алгоритма*

списке 400 самых богатых людей США с капиталом более 600 млн. долларов. Неудивительно, что сейчас Энтони Витерби занялся благотворительностью и создал фонд поддержки инновационных предприятий, названный его именем.

## Механизм ДНК-слежки

С расшифровкой ДНК связана работа третьего лауреата премии — сэра Алека Джеффриса из Лестерского университета. 10 сентября 1984 года в 9-05 утра он открыл метод ДНК-идентификации, он же ДНК-дактилоскопия и ДНК-фингерпринтинг (об этом методе мы уже рассказывали в декабре 2001 г.). Столь



точно установить день и время позволяет рентгеновская пленка, на которой прибор для секвенирования автоматически печатает дату. В это день Алек Джеффрис проводил некое фундаментальное исследование по генетике человека и в качестве образца взял пробы крови членов семьи своего техника. Напомним, как работали с индивидуальной ДНК двадцать лет тому назад.

С помощью рестриктаз ДНК разрезают на фрагменты в местах расположения определенных последовательностей нуклеотидов. Затем образцы помещают в гель и действуют на них электрическим полем. Фрагменты ДНК обладают небольшим отрицательным зарядом и в этом поле двигаются; скорость же зависит от их длины. В результате они разбиваются на группы, которые распределяются по гелю. Затем эти группы переносят на нейлоновую или бумажную мембрану, удаляют гель и вносят радиоактивную метку. Она связывается с определенными последовательностями нуклеотидов. В конце концов, мембрану кладут на рентгеновскую пленку, и участки расположения найденных меткой групп чернеют после проявления.

На проявленной фотопленке Джеффрису бросилось в глаза, что некоторые схожие фрагменты ДНК у членов семьи различаются по своей длине, вследствие чего оказались на разном расстоянии друг от друга. Причем у ребенка были фрагменты, которые присутствовали и у отца, и у матери. У родителей же одинаковых фрагментов было меньше.

Сходную картину Джеффрис видел и раньше, когда исследовал генетику моржей во время антарктической экспедиции. Изучая гены, кодирующие мышечный белок миоглобин, он обнаружил так называемые мини-сателлиты — бессмысленные последовательности из повторяющихся групп нуклеотидов, напоминающие бормотание младенца вроде «уа-уа-уа». Поскольку последовательности бессмысленны и не кодируют белков, то они никак не сказываются на жизнедеятельности организма. В результате они могут как передаваться по наследству, так и меняться вследствие каких-то случайных процессов. Чаще всего изменяется число повторений одинаковых групп нуклеотидов в последовательности. Поэтому у каждого живого существа имеется свой личный набор таких последовательностей, которые либо достались ему от родителей, либо появились у него впервые в результате мутации. Вот эти-то мини-сателлиты, доставшиеся ребенку от отца с матерью, и сумел разглядеть Джеффрис на той исторической фотопленке.



Фото С.М. Комарова

*Сэр Алек Джеффрис дает интервью корреспонденту итальянского радио*



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Поскольку во все мини-сателлиты обязательно входит один и тот же фрагмент нуклеотидного текста, Джеффрис быстро разработал два типа радиоактивных меток, которые позволили идентифицировать большинство мини-сателлитов в ДНК человека. Так и появился метод ДНК-дактилоскопии: коль скоро геном каждого живого существа столь же индивидуален, как отпечатки пальцев, то его вполне можно использовать для идентификации личности или для установления родственных связей.

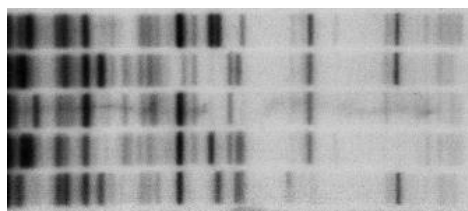
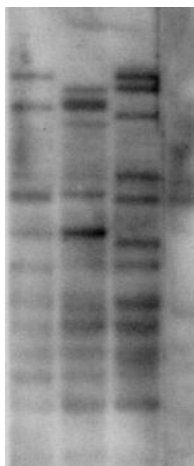
Соответствующую статью Алек Джеффрис опубликовал в марте 1985 года в журнале «Nature» под заголовком «Гипервариабильные «мини-сателлитные» участки в человеческой ДНК». В ней он с коллегами — Викторией Уилсон и Сви Лей Теин отметил, что «человеческий геном содержит много разбросанных участков, обогащенных тандемными повторами. Эти повторы выявляют через общую для всех 10-15-нуклеотидную коровую (т.е. сердцевинную) последовательность. Многие мини-сателлиты разнообразны у различных индивидов из-за аллельных вариаций в числе повторяющихся копий. Анализ, основанный на тандемных повторах коровой последовательности, может выявить одновременно множество высоковариабельных участков ДНК и позволяет делать индивидоспецифичный ДНК-фингерпринт для разнообразных применений в генетике человека».

Уже в апреле ему позвонил адвокат, который прочитал этот журнал и решил воспользоваться новым методом для разрешения тянувшегося уже два года крайне запутанного дела, связанного с нелегальной иммиграцией. Суть дела была такова. Некий мальчик из семьи, которая перебралась в Великобританию из Ганы, уехал к африканским родственникам. А вернулся спустя некоторое время с весьма сомнительным паспортом, да и выглядел несколько по-другому, что, впрочем, можно было списать на возрастные изменения. Полиция заподозрила, что это совсем не тот мальчик, и возбудила дело. Традиционные методы установления родства вроде анализа крови никакого результата не дали, поэтому и пришлось обращаться за помощью к университетскому ученому. Алек Джеффрис откликнулся на просьбу, и уже в мае 1985 года было научно доказано, что мальчик тот самый, настоящий подданный королевств, а не его какой-нибудь двоюродный брат из Африки.

В следующий раз полиция обратилась к Джеффрису в 1986 году уже вполне официально с просьбой помочь идентифицировать убийцу и насильника двух девушек. Благодаря исследованию ДНК ему удалось спасти от наказания невиновного человека и в конце концов изобличить истинного преступника (см. «Химию и жизнь», 2001, № 12).

В числе других получивших известность дел была идентификация врача-убийцы Йозефа Менгеле, который утонул в Бразилии в 1979 году. Для этого были извлечены образцы ДНК из его кости, а также взяты образцы крови вдовы и сына. Из ДНК-отпечатков сына вычли ДНК-отпечатки матери, а то, что осталось, совпало с отпечатками отца. Так было доказано, что Менгеле действительно умер, не дожив до законного возмездия за свои зверства. В другом случае Джеффрис установил, что Анна Андерсон не имеет никакого отношения

*На исторической пленке справа изображены мини-сателлиты членов семьи техника Джеффриса (первая колонка — мать, вторая — сын, третья — отец). Внизу — данные расследования происхождения мальчика из Ганы (первая колонка сверху — мать, вторая — подозреваемый, три остальные — ее другие дети)*



к семье Романовых и никак не может быть великой княжной Анастасией, спасшейся из подвала ипатьевского дома. В дальнейшем этот же метод открыл правду с происхождением пятна на платье Моника Левински и пригодился при идентификации Саддама Хусейна после его поимки в пригороде Тикрита. Жертвы крупных катастроф, погибшие солдаты — всегда, как только речь заходит об идентификации останков с помощью ДНК, используется метод Джеффриса. До 1987 года только он мог делать такие анализы, а теперь технология распространилась по всему миру и конечно же существенно улучшилась. Сейчас для проведения анализа хватает совсем ничтожного количества биоматериала.

Более того, это открытие оказалось настоящей ловушкой для преступников. Они ведь не всегда оставляют на месте преступления свои отпечатки пальцев. Однако могут остаться

волосы, кровь, пот, слюна, следы других биологических жидкостей. Все это теперь служит для опознания преступника, особенно если он ранее попал в базу данных. Алек Джеффрис всегда был против того, чтобы его метод использовали для слежки за людьми, но, увы, ученый не властен над будущим использованием своего открытия. Сейчас во всем мире идет активное формирование баз данных микросателлитов ДНК. Например, в Великобритании в базе оказываются образцы ДНК любого человека, попавшего в полицейский участок, даже если он не совершил никакого преступления. В результате в этой стране собрана база данных на более чем 4 миллиона человека и 380 тысяч следов на вещественных доказательствах. Эта работа приносит плоды — ежегодно с помощью метода Джеффриса удается изобличить более сорока тысяч преступников. В других странах базы

# ИнформНаука



## Эстафета монголоидных генов

*Вот уже несколько десятилетий жители европейской части России с готовностью повторяют вслед за Александром Блоком, что они скифы и азиаты. Про триста лет тесных контактов с Ордой тоже часто вспоминают. Но сколько на самом деле азиатской крови у славянских народов? Ответ на этот вопрос ученые ищут при поддержке программы Президиума РАН «Динамика генофондов и биоразнообразия».*

В генофонде славян есть некая толика восточноевразийских (монголоидных) генов, но азиатская кровь текла в жилах славян задолго до нашествия Батыя. К такому выводу пришли специалисты Института биологических проблем Севера ДВО РАН.

Происхождение европейских народов исследуют ученые разных специальностей, пользуясь разными методами. Генетики часто сравнивают весьма изменчивые последовательности ДНК митохондрий, передаваемые по материнской линии. Российские ученые, проанализировав митохондриальную ДНК (мтДНК) разных славянских народов, установили, что славяне произошли из единого корня, а степень генетических различий между ними в значительной мере зависит от смешения с коренным населением тех земель, которые славяне некогда заселили. Так, русские генетически весьма похожи на своих западных соседей финнов, западные славяне — на германцев, а южные славяне — на балканские народы.

Варианты митохондриальной ДНК хорошо изучены и классифицированы, поэтому исследователи, определяя последовательность ДНК, как правило, могут отнести ее к определенному типу. Разные группы населения имеют характерные типы мтДНК. Оказалось, что в генофондах различных славянских народов практически всегда присутствуют линии ДНК восточноевразийского происхождения. По данным лингвистики, археологии и палеогеографии, пути прибалтов и славян разошлись во второй половине III тысячелетия до нашей эры. При этом монголоидные варианты мтДНК в генофондах латышей и литовцев очень редки, а у славян они встречаются значительно чаще. Следовательно, славяне накапливали монголоидные линии митохондриальной ДНК на протяжении последних четырех тысячелетий.

Восточноевразийские гены, как и следовало ожидать, пришли с востока. У чехов они встречаются с частотой 1,8%, а у русских из Восточной Европы более распространены. Максимальная частота монголоидных мтДНК характерна для русских поморов (5,2%) и русского населения Северо-Западного региона (4,0%). Поморы и в меньшей степени жители Северо-Запада, видимо, получили монголоидную ДНК от саамов и других североευропейских финно-угров. У населения большинства регионов европейской части России, включая Северо-Запад, разнообразие типов монголоидной ДНК значительно выше, чем у поморов. Очевидно, у русских в этих местах спектр ассимиляции был гораздо шире: тут и мордва, и марий-



цы, и удмурты, и коми. А эти народы, в свою очередь, долго взаимодействовали с жителями Сибири и Центральной Азии.

Еще в раннем Средневековье волны миграций степных народов прокатились по Восточной Европе. Там побывали гунны, авары, булгары и монголы. В VI веке нашей эры авары достигли Центральной Европы, где образовали Аварский каганат. После распада каганата в IX веке народы, входившие в его состав, были ассимилированы славянами. Так восточноевразийская ДНК появилась у славянского населения Валахии, Паннонии, Трансильвании и Богемии. Лесная полоса Восточной Европы тоже была зоной интенсивного смешения народов, и происходило оно задолго до Батыева нашествия. Жители Восточной Сибири давно узнали дорогу в те края. По данным антропологов и археологов, на северо-западе Восточной Европы монго-

меньше — в США ее объем уже превысил миллион, в Германии — полмиллиона, а скажем, в Швеции — около 10 тысяч. Видимо, это связано с тем, что к их составлению приступили несколько позже, чем в Соединенном королевстве, однако большинство стран НАТО такими базами обзаводятся. Например, в 2002 году сбор ДНК-отпечатков начали в Бельгии, Эстонии, Литве и Словакии.

Впрочем, не только для идентификации преступников или жертв катастроф годятся результаты работы Джеффриса. Он помог Бернскому зоопарку установить родственные связи между обитающими там ибисами — у зоологов появилась возможность вести более осмысленную секционную работу, избегая опасного близкородственного скрещивания.

По мнению профессора Джеффриса, метод ДНК-дактилоскопии поистине неисчерпаем. Он позволяет не только

создать личный идентификационный код, неразрывно связанный с человеком, но так же заглянуть в его прошлое, определить родственные связи на глубину в несколько поколений. Более того, современные генетические методы дают возможность устанавливать по ДНК этническую принадлежность. «Для этого надо просто взять достаточно большое количество маркеров. Тем, кто не верит, и считает, что возможно определить только вероятности такой принадлежности я рекомендую почитать мои последние работы», — говорит Алек Джеффрис.

Окончание следует



Выпуск подготовила  
**Н.Резник**

лоиды побывали уже 8–10 тысяч лет назад, 6–7 тысяч лет назад оставили свой след в генофонде днепро-донецких племен, 5–6 тысяч лет назад жили на территории современной Ивановской области. Так, от одних народов к другим, монголоидные типы ДНК дошли до современных русских европейцев и других групп славян.

Исследования обнаруживают явную разницу по частоте и набору разных типов мтДНК между русским населением русского Севера, Северо-Запада и центральных и южных районов европейской части России. Эти результаты хорошо согласуются с антропологическими данными. Кстати, как мы писали год назад (см. «Химию и жизнь», 2007, № 9), исследование распространенных генов Чингисхана также показало, что его потомки не оставили следов на территории Европейской России, чего не скажешь о граничных с Монголией территориях.

## Европейцы не сохранили свое африканское прошлое

*Гипотетическая прародительница человечества жила в Африке около полумиллиона лет назад. Но в митохондриальной ДНК современных европейцев почти не сохранились следы африканского происхождения.*

Российский генетик Б.А.Малярчук из Института биологических проблем Севера ДВО РАН и польский ученый Й.Чорный установили, что вклад африканских женщин в генофонд европейцев гораздо ниже, чем можно было бы ожидать, учитывая длительную историю контактов между представителями различных рас человека. К такому выводу исследователи пришли, проанализировав более 17 тысяч об-



разцов мтДНК из разных популяций Европы и их эволюционные взаимоотношения.

Митохондриальной ДНК, идентичной или сходной с ДНК африканского происхождения, обладает примерно 1% населения Евразии. На юге Европы африканские линии мтДНК чаще всего встречаются у португальцев (5,8%), сицилийцев и тосканцев, албанцев, испанцев и боснийцев. Жители этого региона, особенно Пиренейского полуострова, на протяжении всей своей истории испытывали сильное влияние со стороны населения Северной Африки, поэтому ученые рассчитывали обнаружить в европейском Средиземноморье древние и разветвленные «родословные деревья», берущие начало от африканских прародительниц. Однако ничего подобного они не нашли. Все африканские варианты митохондрий, по-видимому, занесены в Европу относительно недавно. Лишь несколько образцов митохондриальной ДНК попали в Европу примерно 6500 лет назад, но и это — ничтожно малый срок с точки зрения эволюции и с учетом давних контактов между Европой и Африкой.

Африканские митохондрии несет в себе примерно 1% населения Кавказа. Но эти митохондрии получены, судя по всему, с Ближнего Востока, поэтому нет оснований говорить об афро-

кавказских генетических связях. На севере Европы африканские линии митохондриальной ДНК встречаются у французов, швейцарцев, немцев, поляков, англичан, норвежцев и исландцев. Кроме того, ученые обнаружили отдельных обладателей африканского варианта мтДНК среди русского населения Тульской и Калужской областей.

Происхождение мтДНК, обнаруженной в России, объяснить довольно сложно. Проанализировав не только митохондриальные последовательности, но и некоторые фрагменты хромосомной ДНК, ученые пришли к выводу, что африканскую ДНК нельзя считать давним приобретением. Скорее всего, митохондрии покинули Африку несколько ты-



сяч лет назад, откуда они попали сначала в Западную Европу, а оттуда неисповедимыми путями в Центральную Россию.

Заключение генетиков: несмотря на длительные контакты между европейским и африканским населением, подавляющее большинство европейцев не сохранило в своих клетках митохондрий, полученных в доисторические времена от женщин далекой Африки.



# Джеймс Уотсон в Москве

Е. Клещенко

*«Встаньте с пола! Девушки, я вам говорю!» — взывал со сцены директор Дома ученых. Девушки повиновались неохотно. Конечно, лекцию Джеймса Уотсона обещали транслировать на экраны в холл, а через динамики — еще и в маленький дворик перед входом, где собралась огромная толпа. Но ведь это не одно и то же: Уотсона на экране в эпоху Интернета каждый может увидеть, а тут — живой Джим! Молодое поколение московских молекулярных биологов партизански залегло между креслами, чтобы скрыться от администрации и своими глазами взглянуть на человека, который создал их науку. Однако противопожарные правила, предписывающие освобождать проходы, неумолимы, и все, кто не занял сидячие места, были изгнаны из зала. Зато потом они смогли попросить автограф у лектора.*

*Очередь, уходящая в ворота дома на Пречистенке, уже за час до начала тянулась на целый квартал. Люди с фото- и телекамерами протискивались сквозь толпу, высоко поднимая удостоверения и пресс-карты; войти удалось не всем. «Да что происходит?! — простодушно удивлялись журналисты. — Говорили — ученый, а ломятся, как на кинозвезду! Кто такой этот Уотсон?»*

*В мире не так уж мало нобелевских лауреатов, но лишь некоторые из них по-настоящему знамениты. Джеймс Дьюи Уотсон — один из таких людей. В Москву он приехал по приглашению Российской академии наук, а его выступление в Доме ученых 3 июля 2008 года организовал фонд «Династия» в рамках программы «Популяризация науки».*

## Этика генетики

Две противоположно направленные цепи, соединенные «лесенкой» азотистых оснований, — эта простая модель разрешила множество загадок, от чисто химических, об устройстве «самой главной молекулы», до фундаментальных, о природе гена и наследственности. И она же принесла Уотсону, Крику и Морису Уилкинсу (последний подтвердил структуру ДНК с помощью рентгенокристаллографии) Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1962 года. На самом деле за общедоступной понятностью модели скрывалась и очень серьезная наука, и непростая история открытия. Известность несправедливо обошла стороной Розалин Фрэнклин, чьи данные по кристаллографии ДНК сыграли важную роль в построениях Уотсона и Крика, а в 1962 году ее уже не было в живых — впрочем, историки науки не забывают о ней, как не забывал и сам Уотсон в своих книгах. Так или



иначе, с двойной спирали в современной науке началась эра молекулярной биологии, и Джеймса Уотсона по праву считают символом этой новой эры.

Нобелевским лауреатом он стал в 34 года, а на момент публикации знаменитой статьи в «Нейчур» «Структура дезоксирибонуклеиновой кислоты», в которой Уотсон и Крик впервые описали свою модель, ему было всего 25. Юный американец, начинавший свой путь в науке как орнитолог, отвоевал себе место среди классиков биохимии, потеснив самого Лайнуса Полинга, — может быть, поэтому его и сейчас, когда он отметил свое 80-летие, называют Джимом не только близкие знакомые. Славу его упрочили блестящие учебники по молекулярной биологии и несколько книг-мемуаров (в том числе, знаменитая «Двойная спираль», которая вышла на русском языке в переводе А.Д.Иорданского). Острый язык Уотсона, его любовь к резким высказываниям по сей день привлекают журналистов и поклонников, но они же и портят ему репутацию. Недаром основатель социобиологии Эдвард Уилсон однажды назвал Уотсона «самым неприятным человеческим существом, какое я когда-либо встречал». И кстати, о резких высказываниях: что там говорил Уотсон о чернокожих и за что его называют расистом?

В русском секторе Интернета можно прочитать, что «в 2007 году Уотсона уволили из лаборатории, где он работал, после его высказывания о том, что представители разных рас по генетическим причинам интеллектуально неравны», что он был «фактически изгнан» и «сметен с пьедестала». Чтобы быть точными: слова Уотсона в ста-

Русский текст лекции Джеймса Уотсона выложен на сайте «Лиги свободных городов»: [http://www.freetowns.ru/ru/theory/science/-/Watson\\_lecture](http://www.freetowns.ru/ru/theory/science/-/Watson_lecture); автор перевода — Алексей Торгашев.



## СОБЫТИЕ

ть для британской «Санди таймс» процитировала его бывшая сотрудница и ученица Шарлотта Хант-Граббе, ныне занимающаяся журналистикой. В статье говорилось также, что Уотсон сам предложил Шарлотте написать о нем по случаю скорого выхода его книги «Избегайте заnudства». Хант-Граббе оценивает рискованные высказывания мэтра как игру большого ума; статья в целом — остроумная, но только не агрессивная, но полная расположения к Уотсону. Однако на вопрос, видел ли он текст перед публикацией, заместитель главного редактора ответила, что это не входит в их обязанности и что человек ранга Уотсона должен отвечать за свои слова. Уотсон же сказал, что «смущен» приписанными ему цитатами и не припомнит, чтобы говорил именно это, хотя и не отрицает, что мог сказать нечто подобное. Статью «The elementary DNA of Dr Watson» легко найти в Интернете, мы же приведем здесь те самые цитаты.

«Вся наша социальная политика основана на том факте, что их интеллект равен нашему, тогда как все тесты, и IQ, и Standardized testing (внешкольные тесты, которые предлагаются независимыми центрами тестирования и результаты которых принимают во внимание колледжи и университеты при отборе абитуриентов. — Е.К.) показывают, что это не так». Уотсон якобы добавил еще, что «каждый, кто нанимал чернокожих сотрудников, знает, что это неверно», — шутка, прямо скажем, рискованная. «Среди цветных есть много весьма талантливых людей, но не следует продвигать их, если они не преуспели на более низком уровне». «Нет серьезных причин ожидать, что интеллектуальные способности людей, гео-

графически изолированных, должны эволюционировать идентично. Нашего желания сохранить равную силу разума у всех людей, как некое универсальное наследие человечества, недостаточно, чтобы так и было на самом деле». В общем, вполне достаточно, чтобы взбудоражить всех приверженцев политкорректности.

В англоязычной части мира негодование было мощнее, чем у нас. Это и понятно: если русские генетики видят выходцев из Африки сравнительно редко, то американские, возможно, числят их среди друзей, а то и сами из них. Впрочем, раздавались и голоса в защиту Уотсона, сходные с мнением Е.Д.Свердлова (см. «Химию и жизнь», 2008, № 3). «Что действительно этически неприемлемо, так это травля одного из самых достойных ученых нашего времени, устроенная теми, кого можно обозначить лишь как антилиберальную и нетерпимую «полицию мыслей», — заявил Ричард Докинз. По его мнению, этические аргументы не могут служить критерием научной истины, и, если Уотсон не прав, это надо доказывать фактами. Крэйг Вентер заметил, что «нет ни научных фактов, ни данных по геному человека, которые позволили бы утверждать, что цвет кожи как-то связан с интеллектом». В пылу обсуждений потерялся тот факт, что Уотсон говорил о географической изоляции, а не о сцеплении интеллекта с цветом кожи, — то есть, по его мнению, врожденные различия интеллекта у больших групп людей могут быть вызваны различным действием отбора по этому параметру. Однако действие отбора на популяцию легко спутать с влиянием среды на индивида — в тех регионах, где отбор сильнее благоприятствует умению



читать и писать, чем умению бегать и драться, уж наверное, и школы получше, и IQ у детей выше, но гены тут ни при чем... В любом случае слова прозвучали, и последствия не замедлили.

Конечно же выражение «уволители с работы» малоприменимо к человеку, занимавшему должность почетного председателя всемирно известной лаборатории Колд-Спринг-Харбор (Лонг-Айленд, Нью-Йорк). Уотсон подал в отставку, причем «расово-интеллектуальный скандал» был, возможно, лишь последней каплей. «Я теперь ближе к 80, чем к 79, и прекращение моего лидерства более чем запоздало. Обстоятельства, в которых это происходит, однако, совсем не те, каких я ждал или желал». Но правда ли это? Может быть, неугомонному нобелевскому лауреату захотелось уйти не по выслуге лет, чинно и прилично, а еще раз заставить весь мир поспорить о могуществе генов и генетики? Если так, то его затея удалась.

В Колд-Спринг-Харборе Джеймс Уотсон многие годы занимал руководящие посты. Именно CSHL стала колыбелью новой отрасли науки — молекулярной биологии, и ныне это один из самых престижных научных центров. Монографии и методические руководства, украшенные знаменитым логотипом — CSH в «веночке» из двойной спирали, — имеются, наверное, в каждой лаборатории мира, где работают с ДНК. И во всем этом велика заслуга Уотсона. Сам он уделял большое внимание исследованиям рака, одному из основных направлений деятельности лаборатории. И сегодня в Колд-Спринг-Харборе функционирует Уотсоновская школа биологических наук, а на сайте CSH (<http://www.cshl.edu>) посетителей встречает открытое письмо самого доктора Уотсона, которое заканчивается словами: «Ничто не может быть важнее, чем понимание устройства жизни!» Так что с пьедестала его никто не сметал.

## Опечатки, повторы и пропуски

Снисходительность к чужой умственной слабости Уотсону никогда не была свойственна: он заявил однажды, что глупость в ее крайних проявлениях — это болезнь, которую следует лечить, хотя бы и методами генной инженерии. Скорее всего, нобелевский лауреат сказал это в шутку, но то, что генетика лежит в основе по крайней мере некоторых серьезных психических заболеваний, несомненно.

К сожалению, большинство болезней, имеющих генную природу, относится к полигенным, то есть они вызваны не мутацией в каком-то единственном гене, а комплексом нарушений. Более того, у разных больных с одинаковой симптоматикой могут быть повреждены разные гены. Такие ясные и понятные случаи, как гемофилия или серповидноклеточная анемия, — скорее исключение. И не они, увы, приносят людям больше всего горя. Давно известно, что многие психические заболевания передаются по наследству (при шизофрении, например, психиатр обязательно составляет семейную историю болезни — помните, как огорчался в «Мастере и Маргарите» Иванушка Бездомный, когда врачи выпрашивали у него про дядю Федю, пившего в Вологде запоем?). Только вот передаются они непросто.

В России один из лидеров данного направления — лаборатория молекулярной генетики мозга Научного центра психического здоровья РАМН, которую возглавляет доктор биологических наук Е.И.Рогаев, «охотник на гены» мирового класса. Рогаев и его сотрудники занимаются в том числе поиском неизвестных генов болезней человека. Совместно с коллегами из университета Торонто они выяснили, мутации в каких генах отвечают за развитие болезни Альцгеймера, или старческого слабоумия. Это открыло принципиально новые возможности, причем не







точки на чипе, не смешанные с красным, покажут, что лишнего появилось в образце, красные без зеленой примеси — что потерялось.

Исследования Джонатана Себата и других сотрудников лаборатории показали, что CNV-мутаций у нас гораздо больше, чем предполагалось. Обнаружено более 3000 участков, где наблюдаются такие изменения, — это около 15% генома. Если взять двух случайных людей, различия в их геномах, возникшие за счет разного числа копий генов, составят около 4 млн. пар оснований (а размер гаплоидного генома — около 3 млрд.). В целом на индивидуальные вариации приходится около 0,2% генома, причем 0,12% — это CNV и только 0,08% — SNP, «однобуквенные» нуклеотидные замены (не путать с STR — короткими tandemными повторами, которые исследуют, когда проводят идентификацию личности по генетическому материалу, см. статью С.М.Комарова в этом же номере). Другими словами, среди наших индивидуальных мутаций две пятых — опечатки вида «митрополит возложил на голову его величества ворону», а три пятых — повторы и пропуски слов и словосочетаний. Последним до недавнего времени уделяли меньше внимания. И напрасно: в нуклеотидном тексте, как в хорошем стихотворении, лишний раз повторенное или недосказанное слово может все испортить.

В Колд-Спринг-Харборе сравнили CNV-мутации у здоровых и больных людей и посмотрели, какие гены затронуты. Оказалось, что некоторые из этих мутаций вовлечены в развитие рака, другие могут быть причиной шизофрении, а также аутизма и болезни Паркинсона.

## Аутичные дети «ледяных» матерей

Аутизм обычно развивается в раннем возрасте, принося много страданий близким больных и много проблем им самим. В США такой диагноз сегодня ставят нескольким детям в возрасте от шести до 11 лет из тысячи, и количество таких детей растет. Впрочем, это может быть связано с изменениями диагностических критериев: так, синдром Аспергера раньше не считали «частным случаем» аутизма. При этом заболевании нарушаются коммуникативные навыки, но могут сохраняться речевые способности и интеллект. Такие люди бывают, например, блестящими математиками, и это лишний раз напоминает нам о сложности проблемы. Уотсон высказал предположение, что между одним и другим может существовать связь. И как знать, если мы начнем лечить таких пациентов от аутизма, не «вылечим» ли мы их заодно от математической одаренности? А с другой стороны — сколько потенциальных математиков на планете живет и умирает в статусе «умственно неполноценных», не имея возможности реализоваться?..

Исследования, проведенные в Колд-Спринг-Харборе и Медицинском колледже Альберта Эйнштейна под руководством Майкла Уиглера, позволили предложить новую

только для диагностики предрасположенности к болезни, но и для подбора новых лекарств: если известно, какие молекулярные механизмы вызывают заболевание, проще придумать, как вмешаться в их работу. Е.И.Рогов с коллегами исследовали также генетику шизофрении.

В Колд-Спринг-Харборе предложили новый прием для охоты на гены болезней. Майкл Уиглер, руководитель группы, изучающей геномные вариации человека, вместе с Робом Люсито разработал метод, с помощью которого можно отыскивать изменения не в структуре, а в дозе гена, то есть в числе его копий. Этот вид мутаций называется *gene copy-number variants*, или CNV. Получаются они в результате неравного кроссинговера — перекреста хромосом при мейозе, когда они обмениваются своими частями. Если одна хромосома из-за сбоя в молекулярной машинерии захватит большую часть другой, то в ней появится лишняя копия гена, если меньшую, то одна из копий потеряется.

Как обнаружить, что произошло нечто подобное? Секвенирование полного генома — слишком дорогое удовольствие. Полностью прочитаны геномы лишь немногих людей (между прочим, один из них — Джеймс Уотсон), но сделать это для каждого больного современная медицина не может: речь идет о десятках или даже сотнях тысяч долларов. А стоимость метода, предложенного Уиглером и Люсито, по словам Джеймса Уотсона, составляет всего 1000 долларов на человека. Метод точен и прост (если не вдаваться в подробности, связанные с математическим анализом данных), и называется он *Representational Oligonucleotide Microarray Analysis*, или ROMA.

Нашим читателям давно известно, как с помощью микрочипов (*DNA-microarray*) ищут определенные последовательности: фрагменты исследуемой ДНК или РНК, помеченные флуоресцентными зондами, гибридизуются с известными фрагментами ДНК, прикрепленными к чипу в определенном порядке, и после этого по узору светящихся точек на чипе делают выводы о составе ДНК. В методе ROMA для гибридизации берут смесь двух ДНК — исследуемой и стандартной, с разными флуоресцентными метками, например красной и зеленой. Зеленые



модель наследования аутизма. В середине прошлого века аутизм вообще не считался генетической болезнью, ведь аутичные дети нередко рождаются у здоровых родителей. Среди возможных причин заболевания называли, например, равнодушное, «ледяное» отношение матери к ребенку. Однако результаты американских исследователей показывают, что с генов рано снимать вину.

Например, изучение 264 семей со всей Америки (обследовано было более тысячи индивидов) показало, что аутизм ассоциирован с некоторыми случайными мутациями из категории CNV, причем чаще речь идет не о лишних копиях, а о потере. (В некоторых случаях делеции были очень обширными и захватывали десятки генов.) Такие мутации могут возникнуть в половых клетках родителей. При этом сам носитель мутации будет здоров, ведь она проявляет себя, скорее всего, в нервных тканях, но не в сперматозоидах и яйцеклетках. Однако если эта половая клетка даст жизнь ребенку, он будет носителем мутации (и, возможно, больным, особенно если он мальчик — острые формы у мужчин встречаются в три раза чаще, чем у женщин). Это источник низкого риска заболевания, примерно одинакового для всех людей: вряд ли в такой семье будет больше одного больного ребенка. Впрочем, авторы работ отметили, что вероятность мутаций выше у пожилых людей, как мужчин, так и женщин. Так что золотое правило «не тянуть с рождением ребенка» работает и здесь. Но ведь есть и семьи с высоким риском, где страшный диагноз получают сразу несколько братьев и сестер. В чем причина?

Как мы уже сказали, острые формы аутизма чаще встречаются у мальчиков. А вот дочери, получившие мутантный ген от одного из родителей, становятся матерями больных детей с очень высокой вероятностью — у таких женщин злополучная мутация будет в каждой второй яйцеклетке. При этом у них самих симптомы аутизма могут не проявляться. Правда, эти женщины зачастую эмоционально неразвиты, равнодушны к детям. Воз-

*Отвечать на вопросы зала Уотсону помогал член-корреспондент РАН Н. К. Янковский*







можно, отсюда и возникла гипотеза о «материнской холодности» как причине аутизма.

По оценке Уотсона, CNV-мутации могут быть причиной 30—50% всех случаев аутизма. Ситуация осложняется тем, что эти мутации очень разнообразны. Однако Уиглер находит здесь повод для оптимизма: возможно, это означает, что разным больным требуется разное лечение, и теперь, когда гены-кандидаты пойманы с поличным, в этом проще будет разобраться. К тому же благодаря такому методу родители больного ребенка уже сейчас могут узнать, высока ли вероятность того, что больным будет и второй.

Подведем итоги: в CSH научились выявлять генетические заболевания без ясной семейной истории, возникающие *de novo*, а также «ловить» мутации, меняющие число генов, в заранее неизвестных местах генома. Пожалуй, пафос Джеймса Уотсона, пообещавшего слушателям революцию в психиатрической генетике, имеет некоторые основания...

## Тайны шизофрении: десять лет до разгадки

Метод дал интересные результаты и для шизофрении. Уотсон признался, что у него есть личная причина внимательно следить за всем, что делается в этой области: диагноз «шизофрения» поставили его сыну.

Сотрудники Джонатана Себата и Шейна Мак-Карти совместно с коллегами из Вашингтонского университе-

та и Национального института психического здоровья применили новый метод к двум группам испытуемых: 150 человек из 418 страдали шизофренией или шизоаффективными расстройствами, остальные были здоровы. Затем они сравнили, какие гены были затронуты у здоровых добровольцев и у шизофреников.

Оказалось, что у страдающих шизофренией в три раза чаще, чем у здоровых добровольцев, встречаются делеции и дупликации, а также разрывы определенных генов. (Правда, если перевести это в цифры, получится не так впечатляюще — 5% у здоровых и 15% у больных.) Но все-таки это успех: многие редкие мутации, обнаруженные у шизофреников, нарушают важные процессы в нервных клетках — их рост и размножение, установление связей между ними и проведение нервного импульса. Уровень редких мутаций был еще выше (20%), у пациентов, болезнь которых проявилась на ранней стадии, до 19 лет.

«Эта часть нашей работы показала нечто, чего мы не знали до сих пор: редкие структурные мутации, присутствующие и у здоровых людей, и у больных шизофренией, гораздо чаще встречаются у больных», — отмечал Джонатан Себат. Но как могут одни и те же мутации встречаться у шизофреников и у здоровых людей? Вряд ли тут уместны трюизмы о тонкой грани между нормальностью и сумасшествием. Видимо, причина болезни — в определенной комбинации мутаций и в том, насколько непоправимо они нарушают цепочки реакций в нейронах. Уотсон предположил, что причины шизофрении станут ясны ученым через пять, самое большее через десять лет. И это уже вселяет надежду.

В заключительной части лекции нобелевский лауреат заметил, что в ближайшем будущем стоимость полного прочтения одного человеческого генома должна приблизиться к цене «дешевого американского или русского автомобиля». По мнению Уотсона, сиквенс не обязательно делать каждому. Но для некоторых людей это может оказаться очень важно.

...Когда слушателям предложили задавать вопросы, я вспомнила, как С.В.Багоцкий в прошлом номере «Химии и жизни» рассказывал о «дивном новом мире», который собираются построить генетики и в котором судьбу человека будет определять его сиквенс в медицинской карте, а также сетевые споры о роли генов и воспитания, и спросила: «Когда секвенирование генома станет дешевым, будут ли в школах определять методом генетического анализа способности детей к математике, к музыке, к занятиям литературой или к биологии?» Вот что ответил классик: «Это очень трудное дело. Но может быть, и стоит отдавать детей с различными способностями в разные школы — это, безусловно, работает в случае музыки. У одних детей способности больше, другим хочется пошуметь и побегать — я не думаю, что им стоит учиться в одной школе. Мне повезло, меня взяли в очень крутую школу: ее строгие порядки соответствовали моему собственному желанию учиться».





# Уроки Джеймса Уотсона

Джеймс Уотсон известен не только как один из открывателей структуры ДНК, но и как популяризатор науки. На его счету девять изданных книг – «Молекулярная биология гена» (1965, 1970, 1976, 1987), «Двойная спираль» (1968), «История ДНК» (1981), «Молекулярная биология клетки» (1983, 1989, 1994), «Рекомбинантная ДНК: краткий курс» (1983, 1992), «Страсть к ДНК» (2000), «Гены, девушки и Гамов: после двойной спирали» (2002), «ДНК: секрет жизни» (2003) и «Избегайте занудства: уроки из жизни в науке» (2007).

Последняя книга особенно интересна. По сути, это художественная автобиография. Джеймс Уотсон описал свою жизнь с самых ранних лет, со своего детства в кругу семьи и среди книг в Чикаго, до лаборатории в Колд-Спринг-Харбор, директором которой Джеймс Уотсон стал в 48 лет. Книга необычна тем, что каждая глава в ней заканчивается набором советов, уроками из жизни в науке. «Вообще, те советы, которые я привожу в своей книге, опробованы лично мной, и я не знаю, насколько они годятся для других людей. Но похоже, что эти советы не на сто процентов соответствуют представлению людей о том, как полагается себя вести. Правда, если бы я вел себя всегда в соответствии с этими представлениями, боюсь, я не достиг бы такого успеха».

Есть надежда, что эта книга будет издана в России – фонд «Династия» ведет об этом переговоры. А пока мы хотим познакомить наших читателей с несколькими небольшими уроками от Джеймса Уотсона.

## Избегайте зануд

Встречи друзей даже в успешной университетской среде не отличаются от подобных встреч в любом профессиональном сообществе. Неизбежно выходит так, что понастоящему интересной становится лишь малая часть этой группы. Не удивляйтесь, если на обеде для профессоров вы вдруг почувствуете необъяснимое желание поскорее сбежать, когда обнаружите, рядом с кем вы сидите. Обычное чтение «Нью-Йорк таймс» за завтраком, скорее всего, даст вам куда больше фактов и идей, чем вы приобрели на вечеринках с людьми, которым, как правило, не случалось мыслить оригинально с тех пор, как они заключили постоянный контракт. Если у вас нет причин ожидать от встречи хорошей еды или присутствия привлекательных особ, то возьмите за правило раз и навсегда: не принимать приглашений на обеды профессорского состава. Шестнадцатичасовой эксперимент – это хороший способ избежать вечеринки. Но если позже вы выясните, что некто, с кем вы хотели бы познакомиться, придет на встречу, то поспешите сообщить организаторам об изменении в ваших планах и приходите с коробочкой шоколада, чтобы насладиться им за кофе.

## Управляйте своими сотрудниками как бейсбольной командой

У спортсменов и высококвалифицированных исследователей много общего. Самые яркие звезды среди тех и других – молодые люди, не люди среднего возраста, хотя иногда и кто-то старше сорока может еще быть грозной силой как у сетки, так и у доски. Никто не может долго оставаться научным руководителем, если он постоянно не рыщет в поисках талантливых новичков, способных улучшить качество игры. Исследовательские институты,

## AVOID BORING PEOPLE

(Lessons from a Life in Science)



JAMES D. WATSON

Author of  
The Double Helix

Winner of  
the Nobel Prize

которые позволяют людям среднего возраста проникать в штат, неизбежно становятся тусклыми, скучными местами. Понижать средний возраст, строя новые корпуса с новыми рабочими местами, однако, – не выход. Если более старые здания не выделяют энергию, жизненную силу, они превращаются в сточную трубу, через которую утекают финансы. И вот что еще важно: хорошие руководители видят необходимость отправлять в отставку тех, кто больше не ловит мышей. Только те, кто непрерывно развивается, переделывает самих себя и осваивает новые подходы, должны формировать штат среднего возраста.

## Делегируйте как можно больше полномочий

Администраторы, как и ученые, делают свою работу лучше, когда их не трогают, не досаждают советами, как это проще сделать. Мой отказ от мелкой управленческой опеки позволяет мне давать советы по поводу дел, где решения неочевидны. Выяснив, как мои сотрудники хотят действовать, я обычно даю им зеленый свет. В результате было сделано не так уж много ошибок, которых можно было бы избежать при более строгом надзоре.

## Принимайте необходимые решения прежде, чем вы должны их принять

Успех чаще приходит к тому, кто действует быстрее, а не к тому, кто умнее. Если нет сомнений в том, что вы делаете, делайте это быстро. Если же будете тянуть, кто-то другой опередит вас, и окажется, что вы следуете его идее. В таком случае у ваших сотрудников появится основание удивляться, почему вы получаете такую высокую зарплату.

## Работайте над проблемой, только когда чувствуете, что успех придет в течение нескольких лет

Многие большие цели действительно опережают время. Я, например, хотел бы знать, где в моих мозгах хранится номер моего домашнего телефона. Но ни один из моих коллег, кто работает с мозгом, пока не знает даже, как подойти к этой задаче. <...> Я чувствую себя комфортно, когда берусь за проблему, только в том случае, если я верю в значительный результат в течение трех—пяти лет. Рисковать своей карьерой, берясь за проблемы, в которых есть только крошечный шанс увидеть финишную прямую, не советую. Но если у вас есть причины полагать, что с вероятностью 30% вы решите эту задачу в течение 2—3 лет, хотя большинство считает, что ее невозможно решить в этом десятилетии, то стоит попытаться.

## Не смущайтесь демонстрировать неудовольствие

Когда кто-то, работающий на вас, говорит какую-нибудь чушь или иным способом заставляет вскипать вашу кровь, выражайте свой гнев немедленно. Не проходите мимо молча, чтобы в результате о вашем неудовольствии знала только ваша супруга. Это вредно для вашего здоровья и по-настоящему нечестно по отношению к тем, чье поведение вас разозлило. Скорее всего, они и сами боятся, что они в глубоком дерьме, и, естественно, хотят услышать вашу критику — лучше раньше, чем позже. Когда нарыв оставляют гнить, нагноение начинает жить собственной жизнью и сеять непродуктивное разрушение. Возможно, вы и не правы. Если так, то извинитесь после того, как страсти угаснут. Быть идиотом иногда извинительно, быть неспособным признать это — нет.

## Работайте по выходным

Назначенный свыше отдых субботний не согласуется с природой человеческого мозга. Мозг отдыхает только тогда, когда он не хочет работать и удовлетворен тем, что создал. За несколькими исключениями временные рамки эксперимента не могут быть предсказаны, и умственная спячка не должна быть назначена по календарю. Вопросы, которые ставит эксперимент, все время крутятся у вас в сознании. Работа, сделанная в выходные, на самом деле может получиться более занятой, чем та, что сделана в будни. Вы бы не оказались на работе, если бы ваши эксперименты не шли отлично.

## Две страсти для одного — это слишком

Эксперименты, как и многие другие предприятия, обычно требуют по крайней мере в пять раз больше усилий, чем ты изначально предполагаешь. Чтобы стать действительно хорошим специалистом в какой угодно области — президентом университета, виолончелистом, адвокатом или ученым — необходима страстная преданность своему делу. Распыление внимания даст преимущество соперникам, которые имеют такой же талант, но точнее сфокусированы. По этой причине преуспевающий банкир, одновременно желающий быть профессиональным виолончелистом, оказывается ни тем, ни другим. Скорее всего, его банковская репутация дер-



КНИГИ

жится на работе талантливых заместителей, которые трудятся день и ночь, а игра на виолончели страдает от того, что он теряет время, притворяясь банкиром.

## Эксперименты в конце лета противоречат человеческой природе

Длинные июньские дни хороши тем, что в них хватает места и для напряженной работы, и для занятия спортом. День, насыщенный экспериментами, не исключает возможности поиграть в волейбол вечером. Но к началу августа начинает подкрадываться темнота, и желтеющие листья дают понять, что осень совсем близко. И пока вода еще теплая, послеобеденные вылазки на пляж куда более важны, нежели эксперимент, который можно легко перенести на следующее утро. Последняя неделя августа — обычно самое подходящее время для отдыха где-нибудь подальше от дома, в местах, которые достаточно привлекательны, чтобы мысли о науке исчезли через два-три дня после прибытия на отдых. Пара-тройка недель отпуска никогда не повредит, если вы можете их себе позволить. И во время прогулок по пляжу поближе к концу вашего отдыха ваши мозги уже проветрятся настолько, что вы сможете обдумать будущие эксперименты, которые вы поставите, вернувшись домой.

## Читайте вслух то, что вы пишете

Чтобы сделать мою книгу «Двойная спираль» легко читаемой, я декламировал вслух каждое предложение, чтобы понять, как оно воспринимается. Длинные предложения, за которыми сложно уследить, я разбивал на более мелкие. А иногда соединял несколько коротких фраз, поскольку одно короткое предложение за другим может затуманить значимость описываемых событий. Рубленные фразы больше подходят для кулинарных книг и лабораторных инструкций.

## Никогда не красьте волосы и не используйте коллаген (для мужчин!)

Окраска волос работает только в том случае, если ваши волосы не редеют очень уж заметно. Невозможно поверить в натуральное происхождение жидких угольно-черных прядей, через которые проглядывает бледная лысина. И конечно, попытка создать впечатление, будто вы полны молодости, с помощью рыжеватой краски тем более провальная. Седые волосы и морщины в пятьдесят говорят о надежности. В противоположность нашему современному национальному этосу, лучше держаться моложе, чем ты выглядишь, нежели наоборот.

Перевод Л.Стрельниковой



## КРЕМНИЕВАЯ ФОЛЬГА

*Бельгийские ученые сделали из кремния фольгу микронной толщины.*

Пресс-секретарь  
Katrien Marent,  
katrien.marent@imec.be

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСТОРИИ ПО ВОЛОСАМ

*Норвежцы могут узнать, где жил человек в последние несколько месяцев.*

Kristin Gellein,  
kristin.gellein@chem.ntnu.no

## РОБОТ- СТРЕКОЗА

*Голландские инженеры создали летающего робота весом в три грамма.*

Пресс-секретарь  
Maarten van der Sanden,  
M.C.A.vanderSanden@tudelft.nl

## ТЕПЛО В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

*Ученые из США создали неплохой материал, с помощью которого можно превращать в электричество тепло двигателя внутреннего сгорания.*

Joseph Heremans,  
Heremans.1@osu.edu

## В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**Ч**тобы сделать фольгу из алюминия или другого пластичного металла, его кусок много раз прокатывают в специальном стане. С кремнием так поступать нельзя, он хрупок. А фольга из него очень бы пригодилась, ведь чем тоньше подложка микросхемы или солнечной батареи, тем меньше расход кремния.

Ученые из Межуниверситетского центра микроэлектроники со штаб-квартирой в бельгийском городе Лёвине сумели-таки сделать фольгу из монокристалла кремния. Для этого они на поверхность толстой кремневой пластины нанесли тонкий слой металла, а затем отожгли ее при высокой температуре. Во время последующего охлаждения из-за различия решеток металла и кремния возникают тепловые напряжения. В кремнии образуется трещина, которая распространяется параллельно поверхности пластины. В конце концов слой металла и прилипший к нему слой кремния отделяются. После удаления металла получается кремниевая фольга толщиной 30–50 мкм и площадью 25 см<sup>2</sup>. Солнечная батарея, без всяких ухищрений созданная на такой фольге, показала эффективность 10%. Это свидетельствует, что высокие напряжения кремний несколько не испортили и он годится для дальнейшей работы. Справедливости ради отметим, что использование несоответствия решеток для получения всяких забавных структур из полупроводников называется принц-технологией, поскольку их предложил доктор физико-математических наук Я.Б.Принц из новосибирского Института физики полупроводников РАН.

## В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**А**спирантка Норвежского университета науки и технологии Кристин Геллейн придумала, как определить содержание тяжелых металлов по кусочку волоса длиной в один сантиметр. Для этого она подвергает образец действию высокого давления и температуры, вся органика разлагается, и содержащиеся в ней металлы оказываются в ионной форме в чистой воде, где можно определить даже мельчайшие их концентрации. А ведь совсем недавно, чтобы провести такой анализ, нужно было много волос (см. «Химию и жизнь», 2005, № 4).

Поскольку волосы человека растут со скоростью один сантиметр в месяц и их химический состав отражает состав окружающей среды, по длинному волосу можно восстановить историю путешествий человека в течение достаточно длительного времени. Например, волос длиной 36 см, оказавшийся в руках Кристин Геллейн, показал, что его обладательница всего год живет в Норвегии, а до этого была в Индии. Две трети волоса были обогащены стронцием, а именно в индийской питьевой воде его содержание в 44 раза больше, чем в норвежской. В другом случае волос длиной 26 см, то есть росший два года, содержал два участка, обогащенных ртутью. Как оказалось, его хозяин — заядлый рыбак и каждое лето ездит на море, где ест много рыбы. А ее мясо как раз и содержит ртуть.

Этот метод поможет не только судмедэкспертам, но и врачам. Например, известно, что у больных рассеянным склерозом, амиотрофическим латеральным склерозом, а также болезнями Паркинсона и Альцгеймера порой случаются сильные вариации содержания тяжелых металлов в организме. Теперь удастся узнать, в чем дело: болезнь ли приводит к повышенным уровням их концентрации либо же она сама оказывается следствием изменения химического состава тела.

## В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**Н**овый робот-стрекоза по имени «DelFly Micro» весом в три грамма и с размахом крыльев в десять сантиметров продолжает серию разрабатываемых в Делфтском технологическом институте летучих роботов. Его предшественники — «DelFly I» и «DelFly II» — были побольше: 23 г и 50 см, а также 16 г и 30 см соответственно. Новый робот способен, подчиняясь сигналу оператора, порхать, как стрекоза, и передавать видеоизображение с помощью миниатюрной камеры. А батарейки ему хватает на три минуты полета со скоростью 5 м/с. Ради сокращения веса пришлось кое-чем пожертвовать: «DelFly II» умел не только летать горизонтально, но зависать над определенной точкой и двигаться задом наперед. Новый робот этого пока не умеет, зато он способен попасть в самое укромное место и показать исследователям, что там находится. Через некоторое время его снабдят системой распознавания образов, и он сможет летать совершенно самостоятельно. Этот робот стал важным шагом к цели, которую поставили голландские робототехники: сделать искусственную стрекозу весом в один грамм и размахом крыльев 5 см.



## В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**К**ПД двигателя внутреннего сгорания не превышает 35%, значит, 65% энергии сгоревшего топлива превращается в тепло и подогревает окружающую среду. Однако его можно утилизировать, превратив в электричество и сохранив в аккумуляторе гибридного автомобиля. Для этого служит эффект Зеебека — генерация электричества в полупроводнике, края которого поддерживаются при разных температурах.

Самый распространенный материал для таких генераторов — теллурид свинца с добавками натрия. При той температуре, до которой нагревается внешняя поверхность двигателя, он преобразует в электричество около 8% тепловой энергии. Ученые из Огайского университета во главе с Джозефом Херемансом долго работали над тем, чтобы повысить эту эффективность, для чего решили применить нанотехнологии: стали делать теллуридный генератор из нановолокон — благодаря этой уловке они надеялись понизить теплопроводность материала. Не получилось: нановолокна оказались слишком капризными. Тогда они пошли по другому пути — стали учиться более эффективно использовать тепло, которое оказывается внутри полупроводника. «Мне попалась на глаза статья, где шла речь о том, что атомы таллия способны при нагреве вступать в квантово-механический резонанс с атомами теллура, возбуждая их электроны. Это было то самое решение, которое мы искали в течение десяти лет. Добавив таллий в теллурид свинца, мы значительно подняли эффективность», — говорит Джозеф Хереманс. При начальной температуре работы двигателя около 200°C она составляет те же 8%, зато при нормальной температуре, 500°C, повышается до 15%.



**ГДЕ РАСТЕТ  
ВСТАВНАЯ  
ЧЕЛЮСТЬ**

*Немецкие материалове-  
еды придумали метод  
для выращивания им-  
плантатов из металли-  
ческих порошков.*

Пресс-секретарь  
Andreas Burbliès,  
andreas.burbliès@  
ifam.fraunhofer.de

Чтобы сделать хороший имплантат сложной формы, например для нижней челюсти, ученые из Фраунгоферовского института производственной инженерии и прикладных исследований материалов применили два метода, а именно компьютерное моделирование и стереолитографию. Первым они рассчитывают трехмерную конструкцию, которая полностью соответствует естественной кости. А воплощать расчет в металле удается с помощью металлической стереолитографии. В этом методе деталь сложной формы выращивают, последовательно насыпая тонкие слои металлического порошка и расплавляя их в необходимых местах лучом лазера. Его движением управляет компьютерная программа, в которую заложена трехмерная модель детали, разрезанная именно на такие тонкие слои. В результате удается воспроизводить весьма сложные формы



«Мы получаем легкую структуру с открытой пористостью из биосовместимых металлов — титана или стали. Регулируя мощность лазерного луча, мы добиваемся, чтобы плотность материала и соответственно прочность структуры в каждой точке соответствовала расчету, — говорит представитель института Андреас Бурблис. — В результате каждый пациент получает подходящий ему имплантат».

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**ПЕЧАЛЬНАЯ  
СУДЬБА  
БИОТОПЛИВА**

*Американские почво-  
веды считают, что даже  
солому нельзя пускать  
на биотопливо.*

Ann Kennedy,  
akennedy@wsu.edu

Не успели рассеяться первые тучи над идеей делать из зерна не еду, а топливо, как пришла новая беда. В принципе те, кто желает сохранить углеводородную энергетику, переведя ее на возобновляемую основу, могли бы использовать биоресурсы второго плана — всевозможные сельскохозяйственные отходы. Оказывается, и этого делать нельзя.

«За последние сто лет содержание органических веществ в почвах Среднего запада США уменьшилось с 3,5 до 2%. А ведь без них ничего вырастить не удастся», — говорит адъюнкт-профессор Энн Кеннеди из Университета штата Вашингтон.

Главный же источник органических веществ — это стебли, листья и корни, переработанные микроорганизмами. Если их отправить на производство спирта, органика не вернется обратно в почву, и та будет становиться все беднее. Правда, метод ведения сельского хозяйства тоже сказывается на накоплении органики.

Как показали эксперименты, проведенные Энн Кеннеди, на полях, где вспашку либо совсем не применяют, либо пахут лишь один раз за сезон, растительные остатки действительно превращаются в органику. На опытной станции за двадцать лет такой обработки удалось поднять ее содержание с 1,9 до 3,6%. Причем на один гектар требуется два с половиной центнера стеблей и листьев в год.

А вот при многократной вспашке никакой прибавки органики заметить не удалось. Вероятно, причина в том, что почвенные микроорганизмы слишком быстро ее разлагают и большая часть запасенного растением углерода улетучивается в виде углекислого газа.

«Конечно, растительные остатки можно превратить в биотопливо, но если вы выращиваете бобовые или канолу, то вряд ли у вас что-нибудь останется. Все пойдет на восстановление плодородия почвы», — считает Энн Кеннеди.

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**БИОТЕХНОЛОГИЯ  
НА СТРАЖЕ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ**

*Американские ученые  
подсчитали, что ис-  
пользование гормона  
соматотропина для по-  
вышения удоев моло-  
ка приводит к огром-  
ным выигрышам для  
окружающей среды.*

Proceedings of the  
National Academy of  
Sciences, 30.06.08

Бычий гормон соматотропин, который делают трансгенные бактерии, — один из первых биотехнологических продуктов, который люди стали применять в сельском хозяйстве. С его помощью пытались поднять вес свиней (неудачно), зато пятнадцать лет назад его разрешили применять для увеличения надоев коровьего молока. Правда, технология оказалась не из дешевых, поэтому нельзя сказать, что использование соматотропина получило широкое распространение, однако предварительные итоги подвести можно. Это сделали ученые из Корнеллского университета во главе с доктором Джудит Каппер. И вот что получили.

В качестве исходных данных для расчета они взяли объем молока, который можно получить от стада коров в миллион голов. Оказывается, если повысить их удой с помощью соматотропина, то это стадо можно сократить на 157 тыс. голов, оставив производство молока на том же уровне. В результате животным потребуется на 491 тыс. тонн меньше кукурузы, на 158 тыс. тонн бобов сои, а полный объем сэкономленных кормов составит 2 млн. 300 тыс. тонн. В общем, пахотные площади уменьшатся на 219 тыс. гектаров, а ежегодный объем эрозии от пахоты снизится на 2 млн. 300 тыс. тонн.

Соматотропин поможет и борьбе с парниковым эффектом. То же миллионное стадо после сокращения из-за применения этого гормона выдаст на 824 млн. кг углекислого газа, 41 млн. кг метана и 96 млн. кг оксида азота меньше. Такой же эффект можно было получить, сократив число личных автомобилей на 400 тыс., или посадив 300 млн. деревьев, чего никто, к стати, делать не собирается. Вот что способна сделать полезная бактерия, оказавшись в руках биотехнолога и маркетолога.

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

**НАНОФУЛЛЕРИТ**

*Британские химики  
получили из молекул  
фуллеренов много  
кристаллов размером  
в 80 нм.*

Journal of Materials  
Chemistry, 28.07.2008

Теория гласит: из фуллеренов можно создать кристалл, однако его размер не должен быть меньше, чем 400 нм. Ученые из Суррейского университета опровергли это утверждение. Они сливали при низкой температуре две жидкости, одна из которых представляла собой раствор фуллеренов C<sub>60</sub>, и из этой смеси выпадали фуллереновые кристаллы эллипсоидной формы. Их размер оказался в пять раз меньше, около 80 нм.

Получить такой размер кристаллов — дело весьма важное. Как сказано в статье «Органический солнечный элемент» в этом номере журнала, частицы примерно такого размера нужны для органических солнечных батарей. В противном случае основной участник превращения солнечного света в электричество, экситон, погибает внутри частиц, не успев исполнить свое предназначение. А фуллерен C<sub>60</sub> и его производные считаются весьма перспективными материалами для создания таких батарей.

«Полученный нами результат немедленно скажется на многих технологиях, которые используют органические материалы. В первую очередь это тонкопленочные органические солнечные батареи, датчики и фуллереновые сорбенты», — говорит руководитель работы доктор Ричард Карри.

## Словарь

**Битумы** (от лат. bitumen — горная смола) — твердые или смолоподобные вещества, представляющие собой смесь углеводов и их азотистых, кислородных, сернистых и металлсодержащих производных. Битумы не растворяются в воде, полностью или частично растворяются в бензоле, хлороформе, сероуглероде и других органических растворителях.

**Природные битумы** — составная часть горючих ископаемых. Они сопутствуют залежам нефти, поскольку образуются в результате ее химического и биохимического окисления. Правда, добывают их сейчас только на острове Тринидад в Карибском море. **Искусственные (технические) битумы** — остаточные продукты переработки нефти, каменного угля и сланцев. По составу сходны с природными битумами.

**Латексы** — водные дисперсии каучуков (размер частиц 50–300 нм). Натуральный латекс — млечный сок каучуковых деревьев, точнее, водная дисперсия полиизопрена. Синтетические латексы получают на заводах синтетического каучука полимеризацией мономеров, содержащих двойные связи (например, бутадиена и стирола).

**Асфальтобетоны** — битумно-минеральный материал, на изготовление которого идет основная масса битумов. Из них и делают дороги.



# Дорожная ХИМИЯ

Кандидат химических наук  
**Э.М.Спектор**

Природные битумы — асфальты человечество использует уже несколько тысячелетий. Асфальты образуются в тех местах, где нефть выходит на земную поверхность (то есть имеется кислород воздуха для окисления) и есть прямые солнечные лучи (иначе говоря, в жарком климате). Их применяли уже в Древнем Вавилоне для изоляции стенок каналов, плоских крыш, заделки щелей в деревянных судах, а также как связующее при кладке стен из кирпича и камня (в смеси с песком).

Несмотря на их почтенный возраст, битумы серьезно начали исследовать, пожалуй, только в прошлом столетии. Эту сложную природную коллоидную систему химики почему-то игнорировали, впрочем, как и многие другие. Известный химик-коллоидник В.Оствальд в своей книге «Мир обойденных величин», изданной в начале 30-х, сетует, что даже обычной оконной замазке не уделили достаточного внимания. В равной степени это относится и к битумам.

Сегодня битумы широко используют в народном хозяйстве. Однако природные асфальты — это лишь мизерная часть, а в основном в ход идут искусственные битумы. Получают их на нефтеперегонных заводах глубоким окислением того, что остается после перегонки нефти, когда уже отогнаны бензины, керосины и масляные фракции. Конечно, состав битумов сильно зависит от природы нефти и технологии ее переработки. Это

чрезвычайно сложная смесь — химические анализы выявили в ней более 300 различных органических соединений. Но все-таки среди этого разнообразия можно выделить основные структурообразующие компоненты — асфальтены, смолы и масла.

Основная масса битумов идет на дорожное строительство, а точнее, на получение асфальтобетонов, которые и служат дорожным покрытием (именно их в быту называют «асфальтом»). Битумы намного дешевле других продуктов нефтепереработки, поэтому технический прогресс в этой отрасли, направленный на максимальное извлечение из нефти ценных компонентов, приводит к непрерывному ухудшению качества предмета нашего разговора. Соответственно и срок службы дорожных покрытий все меньше и меньше. По данным БашНИИ НП (это ведущий российский институт в области производства битумов), в условиях континентального климата России срок службы полотна составляет два-три года, после чего оно начинает трескаться. Процесс разрушения ускоряется, поскольку интенсивность движения растет. Так что извечная российская беда имеет научное объяснение.

В 30-х годах XX века временно снизилась цена на натуральный каучук, поэтому в некоторых странах его по-





## ТЕХНОЛОГИИ

пробовали добавлять в дорожные покрытия. В 1936 году в Голландии построили несколько опытных участков таких дорог, и результат удивил даже авторов изобретения. Дело в том, что во время Второй мировой войны по этим дорогам дважды прошла тяжелая военная техника — сначала с востока на запад, а затем обратно, и опытные участки остались во вполне удовлетворительном состоянии. Но синтетический каучук гораздо дешевле натурального, к тому же во второй половине XX века началось его массовое производство, поэтому технологи вскоре переключились на него. В течение 20 лет после войны инженеры Англии, Франции, Японии и других стран исследовали свойства дорог с битумом, модифицированным разными эластомерами.

Одновременно отработывали методы модификации битумов и подробнейшим образом изучали сам процесс. С помощью электронной микроскопии выяснили, что натуральный и бутадиев-стирольный каучуки полностью растворяются в масляной фазе битумов, полихлоропреновый каучук набухает и растворяется частично, а нитрильный каучук в битуме не набухает и не растворяется. Собственно, технология получилась довольно простой, поскольку все добавки вводили в битумы в форме специально приготовленных порошков или латексов. Многочисленные испытания показали, что, даже когда доба-

вок совсем немного — 3–5%, полученный асфальтополимербетон не дает усадочных трещин зимой и не размягчается летом; имеет более высокую износо- и ударостойкость, лучше держит воду и масло, меньше повреждается при скольжении. В результате дорога служит гораздо дольше.

В дорожном строительстве латексы смешивают с горячим или разжиженным битумом либо с битумной эмульсией. В первом случае латекс сразу разрушается, а содержащийся в нем полимер постепенно растворяется в массе битума. Во втором случае латекс механически смешивается с битумной эмульсией, которая работает как разбавитель. После того как смесь высохнет, полимер в виде отдельных глобул равномерно распределяется в массе битума. Такие смеси применяют для приготовления холодных асфальтополимербетонных, из них делают гидроизоляцию, а также ими заделывают трещины в дорогах. В последнем случае содержание латекса в эмульсии может достигать до 10% от массы битума.

Способ смешивания битума с латексами предопределяет и соответствующие требования к структуре полимера. При совмещении с горячими или разжиженными битумами молекулы латекса должны быть линейными, с минимальным количеством поперечных связей. Такая структура получается, если проводить полимеризацию не полностью (степень



конверсии мономера — 60%) и добавлять специальные регуляторы. Для совмещения с битумными эмульсиями можно использовать латексы глубокой полимеризации (степень конверсии мономера около 100%) со сшитой структурой.

В начале 60-х годов в Малайзии была построена автоматизированная установка для приготовления дорожного асфальтополимербетона, где в качестве модифицирующей добавки использовали латекс натурального каучука. Приготовление одной порции занимало полторы минуты. Эту же технологию использовали потом в Японии, причем натуральный латекс заменили на более дешевый бутадиен-стирольный. Это самая доступная полимерная модифицирующая добавка для битумов, поскольку она изготавливается в больших количествах на заводах по производству синтетических каучуков.

Крупнейшие химические концерны США («Дюпон»), Германии («Байер») выпускают специальные марки синтетических латексов именно для модификации битумов. Но наряду с ними и порошками каучуков для модификации битумов широко используют и бутадиен-стирольные термоэластопласты (ТЭП). Последние отличаются от бутадиен-стирольных каучуков строением молекул. При получении каучука смесь бутадиена и стирола полимеризуется одновременно, и в цепях звенья двух мономеров распределяются равномерно по длине молекулы. При синтезе термоэластопласта бутадиен и стирол входят в состав цепи в виде отдельных крупных блоков. Молекулы самого распространенного отечественного ТЭП марки ДСТ-30 имеют трехблочную структуру полистирол-полибутадиен-полистирол (СБС). Строение макромолекул ТЭП определяет их уникальные свойства — при нормальной и отрицательной температуре они как вулканизированная резина, которая не боится мороза (температура хрупкости ТЭП ДСТ-30 —  $-75^{\circ}\text{C}$ ), и только при температурах выше  $80\text{--}90^{\circ}\text{C}$  он начинает размягчаться. Поэтому ТЭП используют при изготовлении каблучков, подошв и многого другого без вулканизации.

В 1980 году в Западной Европе было изготовлено 60 тысяч тонн ТЭП, и пятую часть этого количества израсходовали для модификации битумов. Английский концерн «Шелл» специально для этой цели выпускает ТЭП в форме порошка. Надо сказать, что ТЭП, в отличие от бутадиен-стирольных и полихлоропреновых латексов, растворяются в битуме с трудом — только с помощью высокоскоростных аппаратов-диспергаторов или если предварительно растворить ТЭП в высококипящем органическом растворителе. Многолетняя зарубежная практика доказала, что добавление полимеров в битумы увеличивает срок службы дорожных покрытий в два-три раза.

В Советском Союзе первые работы по полимербитумным композициям пришлось на 30-е годы, когда ими заделывали деформационные швы облицовок сухих доков в Комсомольске-на-Амуре. В основном этой темой занимались в двух институтах — во ВНИИ гидротехники им. Б.Е.Веденеева (ВНИИГ) в Ленинграде и в СоюзДорНИИ в Москве. Не

случайно у нас этой темой занимался именно институт гидротехники. В послевоенные годы в СССР много строили больших гидротехнических сооружений, причем они были нужны не только для энергетики, но и для химической промышленности и цветной металлургии. Главная задача была — хорошо изолировать большие резервуары для воды. Те решения, которые уже существовали в странах Западной Европы (асфальтобетоны), подходили для стран с относительно мягким климатом (Испания, Италия), но были мало пригодными для СССР из-за низкой морозостойкости асфальтобетонов. Например, в районе строительства Минусинской ТЭЦ температура зимой опускается до  $-53^{\circ}\text{C}$ , а температура ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  держится 173 дня в году.

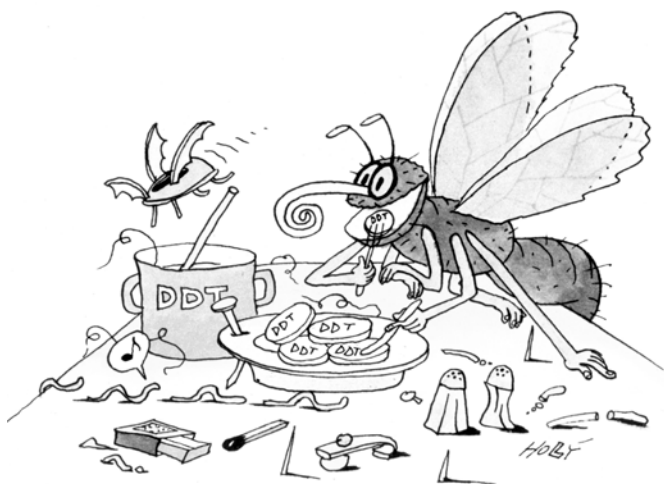
В лабораториях ВНИИГ ученые разработали специальные составы асфальтополимербетонов, пригодные для нашего климата, и технологию их применения. В 1973—1980 годах в СССР противотеплоизоляционными экранами из асфальтополимербетонов изолировали 1,5 млн.  $\text{m}^2$  крупных гидротехнических сооружений (в качестве модифицирующих добавок использовали импортный натуральный латекс и синтетические латексы разных марок). В том числе такая гидроизоляция сделана на шламонакопителях Балаковского химического завода, Армянской АЭС, Волгоградского алюминиевого завода и других объектов.

С дорогами же все обстоит гораздо хуже, хотя у нас есть специальные составы для нашего климата. В отечественной практике дорожного и аэродромного строительства применяют тот самый термоэластопласт марки ДСТ-30. Его в виде крошки растворяют в высококипящем растворителе, после чего этот раствор перемешивают с нагретым битумом. Неплохой материал на основе битума, модифицированного бутадиен-стирольным каучуком, разработан также в филиале СоюзДорНИИ (Санкт-Петербург). Казалось бы, вот решение нашей вечной проблемы. Однако пока речь о широком использовании этих асфальтополимербетонов не идет. И все же несмотря на небольшое усложнение технологии, игра стоит свеч — многолетняя зарубежная практика показала, что в момент ремонта такая дорога оказывается дороже, поэтому на это идут лишь немногие строители.

Впрочем, и сама химическая промышленность пока далека от проблем дорожной химии. Надо бы по примеру крупных западных концернов разработать полимерные добавки, специально предназначенные только для дорожного строительства и организовать их массовое производство. Конечно, это повлечет за собой серьезные изменения и в технологии приготовления дорожных материалов, и в документации. Зато наши дороги не надо будет чинить каждый год.

P.S. В середине июля в Интернете появилось сообщение о том, что московские власти начинают применять на дорогах «обрезиненный» асфальтобетон.





## СТАТИСТИКА

лата инженера-химика выросла на 9% и сейчас составляет 47 тысяч фунтов стерлингов в год. Заработная плата выпускника составляет 26 тысяч фунтов в год, или, переводя в рубли, 1 млн. 220 тыс.

Если же за базу для отсчета взять 1996 год, то зарплата химиков выросла на 50%, и те, кто получил диплом в 90-х, сейчас пожинают плоды своих трудов. В среднем дипломированный 30-летний инженер-химик получает сейчас на 17% больше, чем недипломированный профессионал этого возраста, а к 50-летнему возрасту различие возрастает до 38%.

«В мире растет потребность в инженерах-химиках, и это не случайно. Мировое сообщество озабочено изменениями климата, а именно химики могут так изменить производственные процессы, чтобы исправить положение», — говорит исполнительный директор института доктор Дэвид Браун.

Подобное статистическое исследование институт проводит раз в два года. В этот раз в него впервые вошли данные о коллегах из Австралии и Малайзии.

С.Анофелес

## Химик и диплом

Как показывают опросы отечественных предпринимателей, связанных с химической промышленностью, в этом секторе экономики, впрочем, как и во многих других, наблюдается сильная нехватка квалифицированных инженеров. Дело доходит до того, что дефицит частично покрывают за счет инженеров-химиков из Белоруссии. А что происходит в других странах? Как сообщает агентство «Альфа-Галилео» от 31 июня 2008 года, британский Институт химических инженеров провел статистическое исследование этой профессии в Соединенном Королевстве. И вот к каким результатам пришел.

Главный из них: сегодняшнего выпускника вуза ждет не плохое будущее. В частности, за два года средняя зарп-

## Кое-что о патентах

### Л.Намер

Люди очень любят выяснять, у кого чего больше: у них — или у соседей, у их страны — или у другой. Такие сравнения — наследие времен, когда выживаемость определялась конкуренцией по принципу «у кого больше». Времена эти понемногу кончаются. На наших глазах стало не важно, кто производит больше стали и цемента, хотя пока еще важно, кто производит больше героина и добывает нефти. Но уже сейчас видно, чего надо делать больше, чтобы в ближайшем столетии жить в достатке, безопасно, долго и даже, не побоимся этого слова, счастливо — больше нового знания. И разумно его использовать.

К сожалению, оценить разумность трудно, ведь можно и новейшие достижения нанотехнологий использовать для усовершенствования унита-

зов. Не говоря уж о том, что под лозунгом развития «нанотехнологий» можно заниматься распиливанием бюджета, причем не в нано-, а в гигамаштабах. Наука и техника могут развиваться только при соблюдении определенных соотношений и пропорций, причем внезапное выделение несметных денег в лучшем случае бесполезно.

Признаком определенной гармонии в развитии науки и техники можно считать количество зарегистрированных патентов. Ибо в нормальной ситуации наличие патента отражает одновременно и некоторый уровень развития науки, и идею технической реализации, причем осуществимую, раз фирма не пожалела денег на патентование. Обратимся к статистике.

По количеству полученных патентов на душу населения в 2005 году лидерами являлись Япония (2876 патента на 1 млн. японцев) и — с недавних пор — Южная Корея (2530). Далее следуют США, Германия и Австралия. Россия по этому показателю занимает 17-е место, Казахстан — 21-е, Беларусь — 22-е, Украина — 23-е, Финляндия — 8-е, Ве-

ликобритания — 10-е, Франция — 15-е, Израиль — 17-е, Китай на 23-м месте. Скорость роста выше средней по миру (4,7% в год) демонстрируют США (8,6%) и Южная Корея (15,6%).

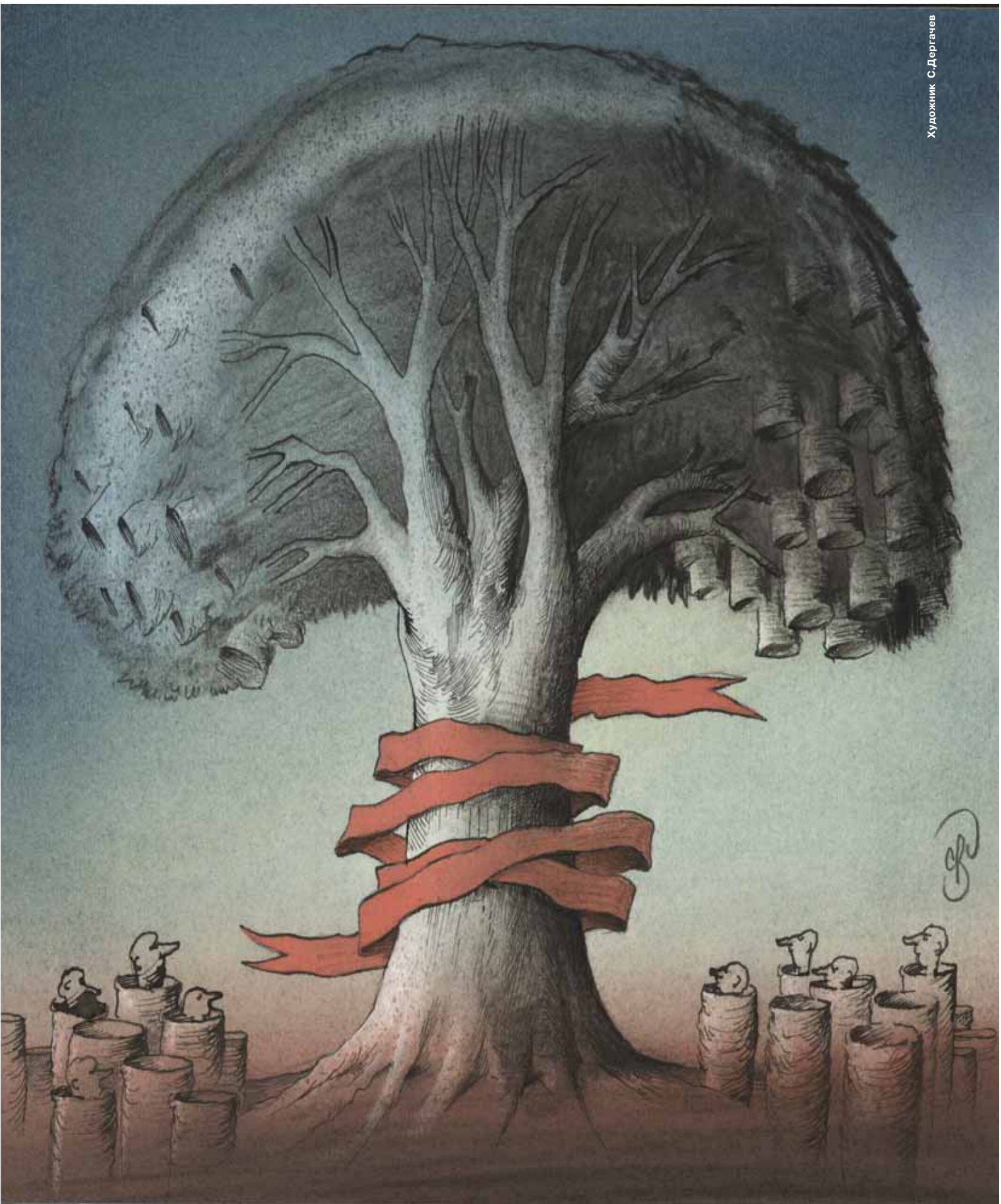
По соотношению количества патентов и валового продукта первые шесть мест занимают Южная Корея, Япония, Германия, Новая Зеландия, США, Россия. Финляндия — на 8-м месте, Китай — на 9-м, Великобритания — на 11-м, Израиль — на 14-м, Франция — на 15-м. По «патентоотдаче» — отношению количества патентов к средствам, которые тратит государство и коммерческие структуры на науку и исследование лидерами являются Южная Корея, Япония, Новая Зеландия, Россия и Украина. На 7-м месте — Китай, США на 10-м, Великобритания — на 11-м, Франция — на 13-м.

Сейчас во всем мире действует около 6 млн. патентов, половина из них принадлежат заявителям из США и Японии, 40% — из Германии, Южной Кореи, Великобритании, Франции, Испании, Китая, Канады и России.

По данным Washington ProFile

## РАССЛЕДОВАНИЕ





# Псевдоживая полимеризация



Кандидат химических наук  
**В. В. Благутина**

**П**олимеры — важнейшие вещества в нашей жизни. Сегодня их разнообразие огромно, и ученые постоянно пытаются создать новые макромолекулы, которые лучше отвечали бы новым требованиям технологов. А полимеры — соединения капризные, для каждого исходного мономера нередко требуются особые условия реакции. Если мы хотим сделать полимер из разных мономеров (сополимер), то задача становится еще сложнее. Даже когда какое-то соединение удается получить в лабораторных условиях, совершенно не очевидно, что полимер можно будет получать и в промышленных масштабах, поскольку разработанные методы часто рассчитаны только на «штучный» синтез. Поэтому хотя кому-то может показаться, что получение полимеров — пройденный этап в науке, эта область и сейчас активно развивается. И поставляет все новые инструменты для синтеза интересных веществ.

Любая реакция полимеризации включает три основные стадии: инициирование реакции, рост цепи и ее обрыв. Образование полимеров может происходить по двум механизмам: ионному и радикальному. В случае ионной полимеризации на концах цепи образуются заряженные ионы одного знака, поэтому обрыв цепи путем рекомбинации или диспропорционирования маловероятен. Это обстоятельство определяет уникальные возможности метода ионной полимеризации: все полимерные цепи начинают почти одновременно и растут в одинаковых условиях. В результате, когда реакция заканчивается, макромолекулы оказываются достаточно однородными по длине, а соответственно и по массе (по-научному — для них характерно узкое ММР, молекулярно-массовое распределение). Когда мономер исчерпан, центры полимеризации еще сохраняют свою активность, поэтому если добавить еще мономера, то реакция продолжится. Но можно добавить в систему мономер другого типа, и тогда получатся полимеры из разных звеньев с заданной длиной блоков. Такой процесс называют полимеризацией по механизму «живых» цепей.

Однако ионная полимеризация капризна. В частности, для нее надо тщательнейшим образом очищать все реагенты от кислорода,  $\text{CO}_2$ , воды и других полярных примесей. Кроме того, почти для каждого мономера в живой ионной полимеризации существуют специфические условия реакции, а некоторые вещества (винилацетат, галогензамещенные соединения) вообще не способны к ионной полимеризации. Вот почему ее применяют в промышленном масштабе, лишь когда нет других вариантов. Например, анионной полимеризацией получают полиамиды, полисилоксаны, полимеры окиси этилена, а катионной — бутилкаучук, полиизобутилен и другие.

Второй механизм полимеризации — радикальный. При этом образуются свободные радикалы, которые почти не

## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

защищены от реакции обрыва. Это означает, что в любых вариациях они очень быстро реагируют друг с другом и гибнут, причем скорость их взаимодействия лимитируется только диффузией. Получается, что при таком методе время роста каждой полимерной цепи в тысячи раз меньше, чем длительность всего процесса, и цепи растут в разных условиях: меняется концентрация мономера, вязкость среды, а значит, сами макромолекулы получают совершенно разными.

С другой стороны, радикальный процесс достаточно простой и подходит для широкого круга мономеров. Поэтому для синтетиков хорошо было бы добавить к этим достоинствам преимущества ионной — непрерывность и безобрывность.

Химики предложили два принципиально разных подхода. Первый — создать такие условия, когда обрыв растущих цепей не происходит, поскольку у радикалов ограничена подвижность. Тогда полимеризация идет, как и в случае ионной, по механизму «живых» цепей. Впервые этого удалось достичь во время полимеризации стеклообразного бутилметакрилата при низких температурах. Большая вязкость и очень низкая температура не давала радикалам возможность «дойти» друг до друга да еще развернуться так, чтобы их активные центры столкнулись. Маленькие же мономеры могут заходить в клубок макромолекулы относительно легко, поэтому цепь растет без обрыва. Потом были придуманы и другие ухищрения, и в результате этот процесс наблюдали даже при комнатной температуре. К сожалению, для промышленной практики подобный метод совершенно неприемлем.

Второй способ устранить недостаток радикальной полимеризации — чисто химический. Он заключается в том, что необратимый обрыв цепи заменяют обратимым. Тогда макрорадикал за время своего роста много раз обрывается, но потом «оживает» вновь. Такую полимеризацию в литературе называют живой, псевдоживой, живой контролируемой и т.д. Мы будем называть ее псевдоживой полимеризацией.

Как добиться того, чтобы происходил обратимый обрыв цепи? В реакционную смесь добавляют вещество, которое реагирует с радикалом, и на конце цепи образуется лабильная группа. Она может снова распасться под действием тепла, света или взаимодействия с другой частицей. Тогда в реакционной смеси восстанавливается активный радикал, который продолжает полимеризацию. Получается, что цепь много раз «засыпает» и снова «просыпается», наращивая свою длину по ступенькам. Чем больше таких ступенек, тем больше псевдоживая полимеризация становится похожей на истинно живые процессы.

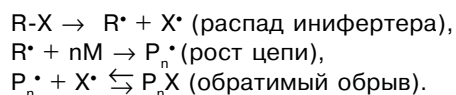
Если число ступенек достаточно велико, то получают полимеры с контролируемой и достаточно однородной молекулярной массой. Сегодня известно много псев-

доживых процессов, основные из которых мы опишем ниже. Ведь каждый тип мономера диктует свои условия реакции, поэтому ученые придумывают все новые подходы. Условно все псевдоживые процессы можно разделить на два типа: моно- и бимолекулярные — по тому, как именно реактивируется процесс полимеризации.

## Химическая кухня, или Загадочный инифертер

Наверное, лучше всего изучена полимеризация, запускаемая инифертерами. Само явление было описано еще в 1939 году Г.В.Шульцем, но причину этого факта объяснил Т.Отсу только в 80-х годах, который и предложил термин «инифертер» (от англ. Initiator-transfer-terminator-agent). Этим словом ученый назвал радикальные инициаторы, которые принимают участие в обрыве и передаче цепи. Инифертер при распаде образует два радикала — активный R\*, инициирующий полимеризацию мономера M, и неактивный X\*, принимающий участие преимущественно в реакции обрыва цепи.

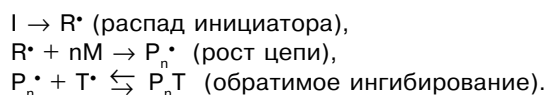
Принципиально важно, что скорость обрыва на радикалах X\* гораздо выше, чем скорость обычного обрыва цепи, то есть реакции гибели радикалов P<sub>n</sub>\* в результате их схлопывания. Псевдоживой механизм полимеризации получается за счет того, что концевая связь P<sub>n</sub>X может распаться и возвращать в реакцию радикал роста P<sub>n</sub>\*. Дальше рост цепи продолжается до следующего обратимого обрыва:



Инифертерами могут быть самые разные соединения: органические дитиокарбаматы и дитиокарбонаты, трифенилметильные производные, фенилсульфиды и дисульфиды, фталимиды и другие. Их радикалы X\* имеют разную природу, поэтому для многих виниловых мономеров удастся подобрать такой инифертер, чтобы концевая связь полимер-X\* была лабильна и полимеризация происходила бы по псевдоживому механизму.

Кажется, все идеально, но и у этого процесса есть недостаток — радикалы X\* тоже могут инициировать полимеризацию, что неизбежно приводит к нарушению баланса между активными и неактивными радикалами в пользу активных. Как следствие, происходит обрыв растущих цепей и нарушается псевдоживой механизм.

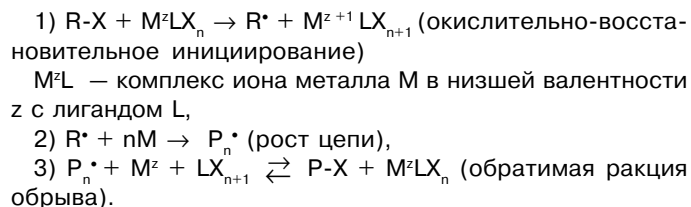
Есть другой метод, предложенный в начале 1980-х годов Б.П.Смирновым, — обратимое ингибирование комплексами переходных металлов и стабильными радикалами. Полимеризацию проводят в присутствии стабильных радикалов-ингибиторов T\*, например нитроксидов. Условия подбирают так, чтобы реакция ингибирования становилась обратимой и обеспечивала псевдоживой рост цепи:



Существенный плюс такого процесса — можно менять соотношение «инициатор-ингибитор», а соответственно и баланс активных и неактивных радикалов, что по-

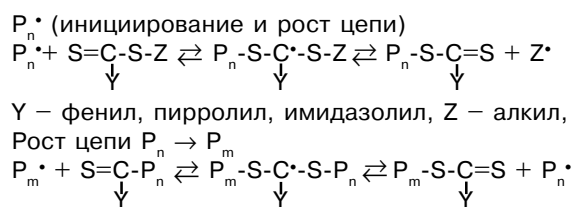
зволяет контролировать рост цепи. Пока круг мономеров, к которым удастся подобрать ингибитор, достаточно ограничен, в основном это стирол и его ближайшие родственники. Но сегодня идет весьма активная работа в этом направлении (синтезируются самые разные нитроксиды), так что это ограничение наверняка временное.

Еще одно интенсивно развивающееся направление в псевдоживой полимеризации — бимолекулярная полимеризация с переносом атома галогена под действием комплексов металлов переменной валентности. Бимолекулярная — потому что, в отличие от предыдущих, полимер с лабильной группой распадается и возвращается в реакцию не сам по себе (под действием температуры, света), а после реакции с другой молекулой. Схематично процесс выглядит так:



Этот метод обычно применяют для полимеризации акрилатов и метакрилатов. Но есть мономеры, с которыми он работает гораздо хуже, например стирол. Большой недостаток метода в том, что реакция гетерогенная, поэтому основная проблема — найти такие комплексобразователи, которые переводили бы ионы металлов в раствор. Но главное, потом надо удалять ионы металлов из смеси, что не так просто.

Мы добрались до еще одного способа бимолекулярной полимеризации, которым у нас занимаются только на химфаке МГУ на кафедре высокомолекулярных соединений (открыли его около 10 лет назад австралийские ученые). Это полимеризация с обратимой передачей цепи — ее называют ОПЦ. Метод довольно универсальный, и с его помощью можно получить полимеры из самых разных мономеров. Надо только правильно подобрать ОПЦ-агент: обычно это бывают серосодержащие соединения. Процесс непривлекательный, но после него приходится избавляться от серы (правда, это требуется не всегда). За последние годы механизм ОПЦ-полимеризации изучили довольно неплохо, несмотря на то что он довольно сложен:



Если в радикальной полимеризации три основные элементарные реакции, то при ОПЦ-полимеризации их около 30. Конечно, подробно описать такой механизм нелегко. Главное же отличие от нитроксильной полимеризации, о которой мы говорили выше, — там идет обратимая реакция обрыва, а здесь идет обратимая передача. Происходит постоянный обмен радикалами — заместителями в промежуточном продукте, в результате чего и растет цепь.



Схема реакций понятна, теперь главное: для чего это нужно?

## Общая и частная польза

Начнем с частной, но зато совершенно понятной и близкой. Как уже было сказано, с помощью разных методов псевдоживой полимеризации можно получать макромолекулы с узким ММР (то есть абсолютное большинство макромолекул имеет одинаковый молекулярный вес).

В медицине широко используется поливинилпирролидон (ПВП) как кровезаменитель и пролонгатор лекарств. Он нетоксичен, но ПВП с молекулярной массой 30 тыс. и более не выводится из организма, в отличие от более коротких молекул. Понятно, что накапливать в организме даже нетоксичную примесь совершенно ни к чему.

Обычной радикальной полимеризацией получить ПВП с невысокой молекулярной массой трудно. А если у нас есть продукт с большим разбросом по массе, то наряду с маленькими молекулами в нем будут и большие, которые нам не нужны. Читатель уже догадался, что этот медицинский полимер очень удобно синтезировать методом ОПЦ-полимеризации. С его помощью легко получить заранее заданную невысокую молекулярную массу и узкое молекулярно-массовое распределение. Но это частная задача, а есть и более широкая.

Методом псевдоживой полимеризации можно создавать самые разнообразные сополимеры. Здесь надо сделать небольшое отступление, чтобы было понятно, насколько это важно.

Мономеров известно все-таки ограниченное количество, поэтому гомополимеров из них можно сделать ровно столько же. На практике чаще всего нужны сополимеры, в которых гомополимеры дополняют друг друга или проявляются какие-то новые свойства. Сополимеров же можно создать огромное количество, поскольку в них можно менять не просто состав, но и структуру макромолекул. Например, бывают сополимеры со случайным сочетанием звеньев, строгим их чередованием, с боковыми ответвлениями, блочные AAAABBBB, градиентные AAABAAA и другие. При таком разнообразии огромен и выбор свойств.

Псевдоживая полимеризация интересна и важна именно для создания разных сополимеров. Так, при обычной радикальной полимеризации происходит следующее. У двух мономеров А и В, как правило, разная активность, поэтому сначала образуются макромолекулы, содержащие более активный А, а только потом вступает В. К концу реакции образуется смесь макромолекул разных типов: с избытком А, смешанных АВ, с избытком В... Невообразимая мешанина с плохими физическими свойствами. В псевдоживой полимеризации картина будет другая: цепь растет все время, все молекулы растут одинаково и имеют почти одинаковое строение.

Получить блочный сополимер AAAABBBB с помощью радикальной полимеризации сразу нельзя. Необходима сложная цепь реакций: на концы гомополимеров приходится пришивать специальные группы, а потом скреплять блоки. При псевдоживой (и живой) все просто: можно получить полимер А, выделить, добавить другой мономер – начнет расти второй блок, и делать это в любом порядке. Длину блоков, как и порядок, тоже можно задать заранее. Такие сополимеры с гидрофобными и гидрофильными блоками очень нужны биологам, да и не только им.



## Макромолекулярный дизайн

Псевдоживая полимеризация интересна еще и потому, что позволяет получать молекулы сложной архитектуры – как сейчас говорят, заниматься молекулярным дизайном. Многие сконструированные при помощи живых процессов структуры имеют улучшенные или принципиально новые физико-химические свойства.

Пока самой близкой к идеалу можно назвать псевдоживую полимеризацию с участием нитроксидов, поэтому ее чаще всего применяют для молекулярного дизайна (подробнее об этом можно прочитать в обзоре М.Ю.Заремского, В.Б.Голубева, «Высокомолекулярные соединения, Серия С», 2001, т.43, № 9). В частности, для синтеза полимеров, содержащих концевые или боковые функциональные группы. Такие соединения служат кирпичиками для конструирования более сложных макромолекул, поскольку потом они реагируют этими функциональными группами.

Можно привести примеры, представляющие и практический интерес. Например, получение ионогенной смолы (полистиролсульфоната) или синтез полистирола, содержащего гидроксильный заместитель в кольце, – его применяют в качестве фоторезиста. С помощью псевдоживой полимеризации с участием нитроксидов реализован управляемый синтез гликополимеров и на их основе гликолипидов.

Не со всеми мономерами возможна псевдоживая полимеризация, но можно комбинировать разные методы. Такой комбинацией были получены соединения, которым всегда уделялось особое место в макромолекулярном дизайне, – дендритные и сверхразветвленные полимеры. Кроме того, не так давно появились данные о контролируемом синтезе трехмерных структур – гелей, микрогелей, а также нанокмозитов и пористых монолитов.

Безусловно, псевдоживая полимеризация – интереснейший инструмент в руках химика. Как считает доктор химических наук В.Б.Голубев (кафедра ВМС, химфак МГУ), сейчас происходит медленная революция: основной метод синтеза полимеров – радикальная полимеризация – превращается из трудноуправляемого процесса в управляемый. Принципиально расширяются возможности синтеза сложных структур, о которых раньше невозможно было и думать.

*Автор благодарит доктора химических наук Владимира Борисовича Голубева за помощь в подготовке материала.*



# Химический ковер-самолет

Доктор химических наук  
**А.Ю.Завражнов**,  
доктор химических наук  
**В.П.Зломанов**,  
кандидат химических наук  
**Д.Н.Турчен**

– Слетать?! ...На чем?  
– То есть как это «на чем?». Не на птицах же нам лететь, – ехидно отвечал Хоттабыч. – Конечно, на ковре-самолете.

Л.И.Лагин. Старик Хоттабыч

## Принцип работы ковра-самолета в природе и лабораториях

Природа не жалеет времени на образование минералов – многие из них формируются тысячи лет. Но бывает и так, что минералы вырастают на глазах. В 1817 году минерологу А.Брейтгаупту посчастливилось наблюдать чудесное явление: образование полудрагоценного камня – гематита  $Fe_2O_3$  (рис. 1). В трещине на вулкане Везувий за 10 дней отложился гематитовый слой толщиной в один метр. С тех пор рост кристаллов в местах выхода вулканических газов из-под земли наблюдали достаточно часто. Казалось бы, в приведенном примере нет ничего необычного. Глубоко под землей вещество испаряется или возгоняется, его пары перемещаются к поверхности Земли, где конденсируются в виде кристаллов. Например, в местах выхода вулканических газов образуются огромные желтые кристаллы элементарной серы. Но гематит даже при сильном нагревании остается нелетучим (точнее,  $Fe_2O_3$  способен при высокой температуре отщеплять газообразный кислород).

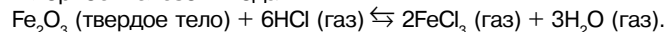
Для переноса нелетучего компонента необходим «ковер-самолет» – летучее вспомогательное вещество. Как правило, при температурах переноса оно находится в газообразном состоянии и вступает в обратимую химическую реакцию с интересующим нас нелетучим веществом, образуя летучие продукты. После перемещения этих продуктов на новое место, в котором реализуются другие внешние условия – температура, давление, – равновесие обратимой реакции смещается в другую сторону (по принципу Ле-Шателье) с выделением нелетучего вещества и освобождением вспомогательного вещества, транспортного агента. Нелетучий пассажир «высаживается» из транспорта, освободившееся транспортное средство перемещается в исходную точку, и перенос повторяется.

Для рассматриваемого случая с переносом гематита Роберт Бунзен (тот самый, которого горелка) в 1852 году предложил следующий механизм. Поднимающийся из глубин по трещинам хлороводород (вспомогательное газообразное ве-



1  
Кристалл гематита,  
найденный рядом  
с местом выхода  
вулканических газов

щество) реагирует с находящимися под землей разогретыми железно-окисными рудами. При этом в виде газов образуются хлорное железо и вода:



При охлаждении этих газов у поверхности Земли равновесие смещается влево и образуется гематит. Так как доставка нелетучего компонента происходит медленно, кристаллы получаются более совершенными по сравнению с перекристаллизованными из расплавов или растворов. В данном случае «транспортное средство» ( $HCl$ ) используется однократно и не возвращается в недра Земли. Человек обычно использует ковер-самолет многократно, но если, скажем, упустит его при посадке, ситуация будет аналогичной.

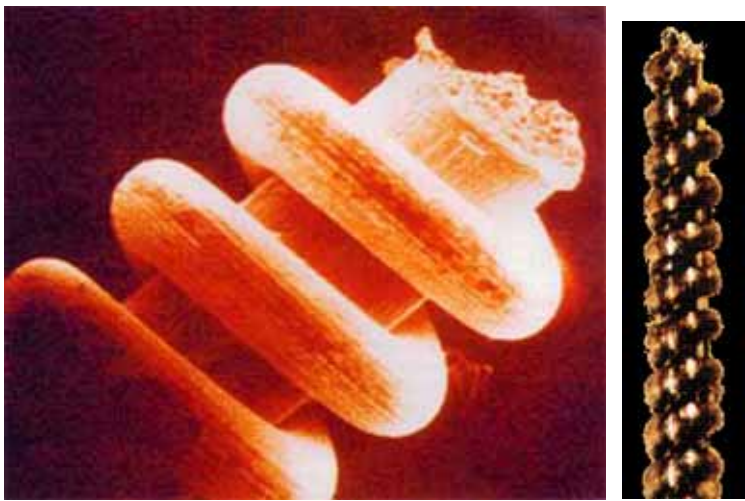
Предложенный Бунзеном механизм природного синтеза гематита был первым примером взаимодействий, которые позднее получили название химических транспортных реакций (ХТР). За сообщением Бунзена последовала серия публикаций, в которых сообщалось об успешном газотранспортном синтезе различных минералов уже в лабораторных условиях. Были синтезированы совершенные кристаллы касситерита ( $SnO_2$ ), рутила ( $TiO_2$ ), периклаза ( $MgO$ ) и некоторых других минералов и ювелирных камней.

Обнаруженные среди более давних пород кристаллы гематита часто имели настолько высокое качество поверхности, что вполне могли бы пополнить число так называемых неопознанных ископаемых объектов, происхождение которых многие связывают с пришельцами или доисторическими цивилизациями. Но для кристаллов оксида железа (III) была предложена более разумная и обоснованная гипотеза.

## Алюминий из глубокой древности

Некоторые элементы гробницы известного китайского полководца Чжоу-Чжу (265–316 годы н. э.) выполнены из сплава алюминия (85%), меди (10%) и магния (5%). В Румынии на десятиметровой глубине в песчаном карьере на берегу реки Муреш был найден предмет, напоминающий топор. На нем отчетливо видны следы рукотворной обработки: два отверстия, сходящиеся под прямым углом. Предмет изготовлен из сплава на основе алюминия (89%), покрытого прочной и толстой (до 1 мм) пленкой оксида алюминия.

Необычность находок состоит в том, что в те времена, которыми они датированы, человек не обладал технологиями, позволяющими выделить алюминий в свободном состоянии. Следовательно, люди могли использовать лишь уже готовый самородный металл. До недавнего времени считалось, что химическая активность алюминия не позволяла ему существо-



2

Уральские вольфрамовые «спирали»



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

мает аналог алмаза, кубический карбид кремния (с-SiC). В природе он встречается чрезвычайно редко, и называют его «кубический муассанит». Но, в отличие от алмаза, его находили только в виде мелких кристаллов.

Однако около 20 лет назад на Дальнем Востоке в районе Южного Приморья при прокладке дороги были найдены фрагменты каменной глыбы (рис. 3), которую сначала посчитали малозначительной археологической находкой – древней кирпичной постройкой. Со временем большая часть фрагментов оказалась утраченной. Выполненный с опозданием анализ уцелевшего «кирпича» показал, что по своей структуре он близок к керамике, которая на 70% состоит из кристаллов кубического муассанита. Кристаллы имеют темно-синий цвет и характеризуются двойным лучепреломлением. Размеры отдельных зерен доходят до 2 мм, в то время как размеры известных до этого природных кристаллов не превышают 1 мм. Связующая масса представлена тонкозернистым и стеклообразным материалом, в которую также входит карбид кремния. В результате находку



3

«Кирпич» приморского муассанита

стали считать искусственным предметом, материал которого не может быть получен с помощью известных технологий.

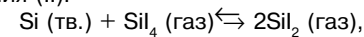
Однако возможно, что технология, по которой образовался загадочный «кирпич», не такая уж неизвестная. В последнее время мировые рынки ювелирных изделий буквально наводнены фальшивыми алмазами. Для подделок используют уже знакомый нам муассанит. И если изделие из муассанита с гексагональной структурой (h-SiC) опытный ювелир отличит от бриллианта, то с кубическим муассанитом (c-SiC) это сделать труднее.

Выращивают кристаллы кубического муассанита из зародыша – мельчайшего кристаллика того же c-SiC. На кристаллик направляют поток горячего газа, содержащий метан в смеси галогенидом кремния (II):

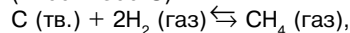


(1000–1100°C)

Высвободившиеся газы – водород и иодид кремния (IV) – возвращаются для взаимодействия в зону, где находятся графит и кремний. Здесь вновь образуются метан и иодид кремния (II):



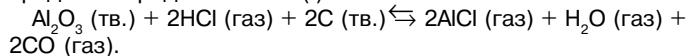
(1200–1300°C)



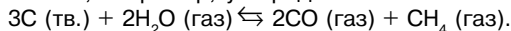
и все повторяется по новому циклу. В результате с помощью летучих вспомогательных компонентов – водорода и иода – нелетучие углерод и кремний переносятся в зону синтеза карбида кремния. В отличие от предыдущих примеров газового транспорта (с гематитом и алюминием), здесь происходит не только перенос, но и синтез нового сложного соединения из простых веществ. Возможно, что и древний «кирпич» из муассанита образовался в результате газотранспортной реакции.

вать в самородном состоянии. Но в последнее время были обнаружены самородки алюминия, и магния, причем опять же в местах выхода вулканических газов.

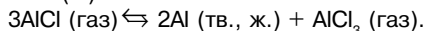
Попробуем объяснить образование этих металлов с точки зрения газотранспортных реакций. В природе нет столь мощных восстановителей, чтобы выделить алюминий напрямую. Вероятным представляется следующий механизм: оксид алюминия (III) под действием хлороводорода при высокой температуре в недрах земли превращается в восстановительной среде в хлорид алюминия (I):



При температурах более 1000°C для алюминия становится характерной степень окисления «+1». Далее ненужная и даже вредная для получения металлического алюминия вода связывается, например, углеродом:



Газообразный хлорид алюминия (I) перелетает в более холодные края на поверхности Земли и разлагается (диспропорционирует) на металлический алюминий и хлорид алюминия (III):



В конце XIX века Л.Трост и П.Отфей в лаборатории подтвердили возможность переноса практически не летучего алюминия из одной части реактора в другую с помощью газотранспортной реакции.

## Металлические спирали

В 90-е годы XX века на реке Нарада (восточный склон Приполярного Урала) геологи-золотоискатели обнаружили миниатюрные (до 3 мм) спирали и пружинки из металлического вольфрама (рис. 2). Позднее и на других реках Приполярного Урала были найдены сходные металлические «изделия». Оказалось, что они могут состоять не только из вольфрама, но также из сплава иридия и осмия (весьма редких элементов) или из меди. Как правило, такие находки встречались на глубине от 6 до 12 метров, в слоях почвы возрастом не менее ста тысяч лет.

Образование металлов в самородном состоянии можно объяснить газотранспортными реакциями, сходными с переносом алюминия. Металлы, полученные таким методом в лаборатории, часто выделяются в виде нитей, закрученных в спирали.

## Фальшивые алмазы

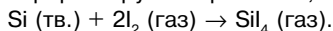
Всем известно, что среди кристаллов первенство по твердости принадлежит алмазу. А второе место по твердости зани-



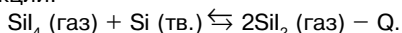
Во всех рассмотренных случаях вещество переносится из нагретых участков реактора в более холодные. Но, оказывается, возможна и обратная ситуация: перенос вещества в сторону больших температур. В качестве примера рассмотрим галогенидный химический транспорт кремния.

## Рейс из жарких краев

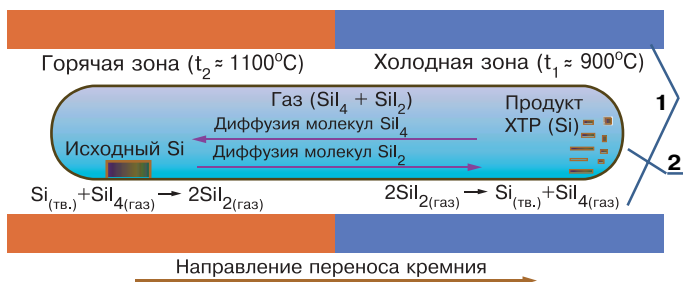
В один конец закрытого вакуумированного реактора (ампулы) поместим кусочек кремния и небольшое количество иода. Введем ампулу в печь и нагреем – тот конец, в котором находится кремний, до 1100°C, а другой конец – до 900°C. При нагревании иод перейдет в газообразное состояние и быстро прореагирует с кремнием, образуя иодид:



При более высокой температуре для кремния возрастает устойчивость соединений со степенью окисления (+2), что приводит к образованию диодида кремния по обратимой реакции:



Чем выше температура, тем больше это равновесие смещено в сторону  $\text{SiI}_2$ . Следовательно, в горячей зоне будет преимущественно протекать прямая реакция, а в холодной – обратная (рис. 4). Последняя приводит к выделению кремния в твердом виде в холодной зоне. Так происходит перенос кремния из одной зоны в другую. А освободившийся в холодной зоне  $\text{SiI}_4$  путем диффузии отправляется в горячую зону за новыми пассажирами. И процесс идет до тех пор, пока весь кремний не окажется в холодной зоне, после чего при данных температурах перенос прекратится.

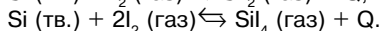
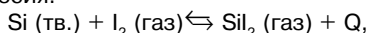


4

### Иодидный транспортный перенос кремния в закрытой системе в направлении более низких температур.

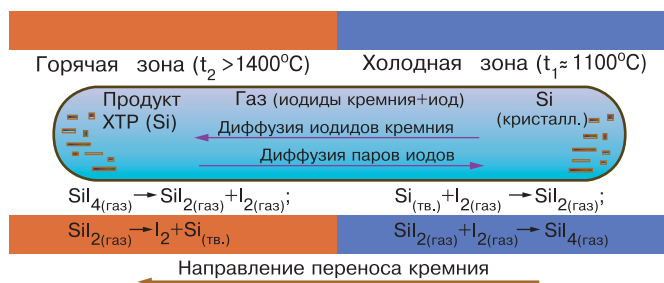
1 – двухзонная цилиндрическая печь, 2 – реактор (ампула)

После полного переноса исходного кремния в холодную зону увеличим температуры горячей зоны до 1400°C и холодной – до 1100°C (рис. 5). Через некоторое время мы обнаружим, что кремний начал возвращаться обратно – в горячую зону. Причем происходит это снова благодаря химической транспортной реакции, но уже другой. При высоких температурах становятся малоустойчивыми галогениды кремния (и  $\text{SiI}_2$ , и  $\text{SiI}_4$ ), которые частично разлагаются на элементы. В указанных условиях в горячей и холодной зоне преобладают равновесия:



В горячей зоне  $\text{SiI}_2$  будет разлагаться с образованием твердого кремния, а освободившийся иод отправит путем диффузии в холодную зону, за новой порцией кремния.

Несколько упрощенное объяснение таково. Обычное физическое испарение (сублимация) – процесс всегда эндотермический. Тогда, согласно принципу Ле-Шателье, повышение температуры всегда должно приводить к испарению, понижение температуры – к конденсации вещества. Напротив, для переноса, происходящего благодаря химической реакции, тепловой эффект может быть как больше нуля, так и меньше (правильнее говорить об энтальпии). Тогда для систем, в которых протекают экзотермические транспортные химические реакции, можно ожидать переноса вещества в сто-



5

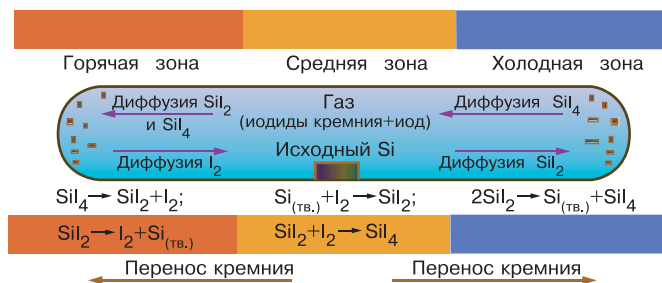
### Иодидный транспортный перенос кремния в закрытой системе в направлении более высоких температур

рону больших температур (рис. 5). Подчеркнем, что при прогнозировании направления переноса по знаку теплового эффекта транспортируемый компонент должен записываться в левой части химического уравнения.

Смена направления переноса при изменении температуры возможна не только за счет возрастания роли равновесия, вкладом которого до этого можно было пренебречь, но и за счет изменения энтальпии даже одной транспортной реакции. Более точный прогноз направления возможен лишь с позиций неравновесной термодинамики. Любая система, не слишком удаленная от состояния равновесия (а рассматриваемые системы именно таковы), стремится к минимуму производства энтропии. Если в градиенте температур находится такая закрытая система, в которой возможен только «физический» перенос вещества, то производство энтропии в этой системе складывается из двух слагаемых – теплопередачи и диффузии. В случае переноса, обусловленного химической реакцией, добавляется третье слагаемое, связанное со сродством этой реакции. Это слагаемое и может изменить направление транспорта. Конечный прогноз оказывается следующим: для «физических» систем направление массопереноса определяется соотношением приведенных химических потенциалов: где эта величина меньше, туда и будет переноситься вещество. В закрытых транспортно-химических системах (по крайней мере, таких, в которых протекает единственная обратимая химическая реакция), критерием направленности переноса становится более сложная величина.

## Рейсы в противоположные стороны

В системе, где может реализоваться перенос как в холодную зону, так и в горячую, можно поставить и более интересный эксперимент. В нем исходное вещество в условиях трехзонной печи будет одновременно транспортироваться из зоны со средней температурой и в холодную зону, и в горячую (рис. 6).



6

### Иодидный транспортный перенос кремния в закрытой системе в разных направлениях: как в сторону больших температур, так и меньших

Причем с исчезновением вещества из средней зоны перенос не завершится. Система перейдет в новое качество: двухзонную печь с плавным уменьшением температуры от горячей зоны к холодной и наличием кремния в двух крайних частях. В зависимости от температур этих частей может

пойти перенос как из горячей зоны в холодную, так и наоборот – и перенос будет идти до полного исчезновения кремния в одной из зон. Общим итогом такого транспорта из средней температурной зоны будет наличие кремния только в одной из зон. В особом случае при строго определенных температурах горячей и холодной зон прямой перенос может скомпенсироваться обратным, и система придет к стационарному состоянию без изменения количества кремния в обеих крайних зонах.



## Скорость ковра-самолета

Итак, нелетучее вещество перелетает на ковре-самолете, роль которого выполняет газообразный транспортный агент. Количество молекул в единице объема газа по сравнению с жидким и твердым телом невелико. Поэтому скорость газотранспортного переноса очень важна. Как надо организовать транспортировку нелетучего вещества, чтобы она была наибольшей?

На первом этапе происходит гетерогенная реакция между газообразным транспортирующим агентом и твердым (или жидким) нелетучим веществом. Для увеличения скорости этого взаимодействия можно применить стандартные методы: увеличение площади поверхности, увеличение температуры, скорости потока транспортирующего газа, введение катализатора.

Но беспредельное увеличение площади поверхности может привести к загрязнению исходного вещества нежелательными примесями: сильно измельченные вещества способны адсорбировать все подряд. Увеличение температуры ограничено температурой «пункта назначения», плавлением исходного вещества и увеличением роли нежелательных реакций, приводящих к процессу обратного транспорта. Увеличение скорости потока ограничено скоростью самой гетерогенной реакции. Катализаторы для газотранспортных реакций почти не используются, что связано с неэффективностью увеличения скорости самой химической реакции. (Об этом будет рассказано ниже.)

На втором этапе транспорта скорость процесса зависит от скорости перемещения газообразных молекул. Ее можно увеличить посредством диффузии или принудительной продувки газа к месту назначения. В большинстве случаев именно перелет – самая медленная, лимитирующая, стадия газового транспорта. Но ускорять ее не всегда целесообразно. Для производства кристаллов с минимальным количеством дефектов требуется очень аккуратно «складывать» все элементы структуры, а не «вываливать» их, как груды кирпичей из самосвала.

Третий этап – выделение транспортируемого вещества. Здесь мы вновь сталкиваемся с гетерогенной реакцией. Но ее скоростью управлять еще сложнее. Увеличение температуры ограничено температурой в исходном пункте или термической стойкостью реактора. Механическое измельчение твердого образца здесь невозможно – он образуется в процессе реакции. Единственное, что здесь может помочь, – это внесение центров кристаллизации выделяющегося вещества, как это делают при синтезе искусственных алмазов.

## Сколько нужно ковров-самолетов?

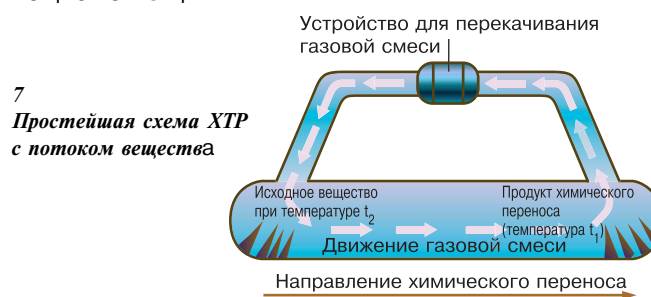
В большинстве ХТР одна группа атомов или молекул транспортного агента переносит за один рейс единственный атом нелетучего вещества. Рейсов может быть бесконечное количество, но возникает вопрос о возврате ковра-самолета в исходную точку.

Первый вариант решения задачи – закрытая система с самопроизвольным переносом в газовой фазе. В таких системах (примеры можно видеть на рис. 4–6), как правило, реализуется диффузионный перенос с возвратом «транспортного средства». При давлениях в сотни раз меньше атмосферного пре-

## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ

обладающими будут молекулярные потоки, при давлениях, заметно превышающих атмосферное, становится заметным вклад конвекции. Это самый медленный и сложный вариант – возвращающиеся молекулы сталкиваются со стенками реактора, друг с другом и со встречным потоком частиц.

Другой вариант – закрытая система с направленным газовым потоком. Возврат осуществляется по-другому: организуется движение частиц как на кольцевой линии метрополитена (рис. 7). Направленное одностороннее движение можно создать либо принудительно с помощью насоса, либо с помощью конвекции.



В этом варианте имеет смысл увеличивать количество транспортирующего агента до тех пор, пока лимитирующей не станет одна из гетерогенных реакций («посадка» или «высадка» нелетучего вещества). Поскольку для этих систем ковер-самолет используется многократно, то весь парк этих самолетов может быть ограниченным. В итоге для переноса больших количеств вещества оказываются достаточны ничтожные количества транспортного компонента.

Наконец, существуют системы с одноразовым использованием «транспортного средства»: открытые системы. В этом варианте не предусмотрен возврат транспортирующего агента, как при образовании гематита в вулканических трещинах (реакция 1). Освободившийся хлороводород не возвращается обратно в недра, а улетучивается в атмосферу. Для человека этот способ приемлем лишь в случае очень высокой ценности получаемого продукта. Поэтому количество газотранспортного агента зависит от выбранного варианта и может быть как очень небольшим (диффузионный способ), так и сопоставимым с количеством переносимого вещества (при одноразовом использовании).

В следующем номере журнала мы предложим вниманию читателей продолжение статьи и расскажем, как:

- организовать газотранспортную химичку;
- подлечить лампочку;
- синтезировать из газа слоеный пирог с начинкой и вырастить усатые кристаллы;
- устроить соревнование между весами и термометром;
- как показать простые опыты по химическому транспорту.



# Обезьяны прокладывают

## дорогу на Марс

О. В. Волошин

*Эксперимент – краеугольный камень науки. Ведь только с его помощью можно опровергнуть гипотезу или подтвердить ее, перевести в разряд теории и нового знания. Как выглядит эксперимент в естественных науках сегодня? Об этом мы и хотим рассказывать нашим читателям в новой рубрике «Эксперимент».*



**И**нститут медико-биологических проблем РАН – самый известный и самый уважаемый научный центр в мире, в котором занимаются не только подготовкой космонавтов, но и космическими экспериментами с живыми системами, а также тщательными и долгими исследованиями воздействия космоса на организм животных. И все ради того, чтобы защитить космонавтов от потенциальных космических опасностей.

Пилотируемый полет на Марс, который должен состояться в недалеком будущем, поставил перед исследователями новые сложные задачи. Ведь прежде чем пускать человека в 500-дневное путешествие по космосу, надо точно знать, какие опасности его подстерегают и как можно за-

щитить от них. Один из главных рисков, подстерегающих космонавтов на борту корабля, – риск радиационный.

Казалось бы, еще российский врач-космонавт Валерий Поляков, который работал на борту орбитальной станции «Мир» в течение 438 дней, блестяще доказал, что человек может пребывать в условиях космоса в течение долгого времени без значительного ущерба для здоровья и психики. Однако не стоит забывать, что все это время станция находилась внутри магнитного поля Земли, которое защищало ее обитателей от космического излучения. В межпланетном пространстве такой защиты не будет, поэтому суммарная доза радиации, полученная космонавтом в межпланетном перелёте, может оказаться в 4–10 раз больше, чем

*На обед «космонавты» получают фрукты, овощи, хлеб и специальные комбикорма*

при околоземных полетах. А это не может не отразиться на здоровье космонавта.

Американские исследователи провели эксперимент, в котором регистрировали фосфены – вспышки света, вызванные попаданием частиц высоких энергий на сетчатку глаза: их видно даже с закрытыми глазами и в затемненном помещении. А в материале шлемов, которыми были оснащены астронавты лунных экспедиций, исследователи обнаружили следы воздействия тяжелых заряженных частиц. Если взять полученную среднюю интенсивность этого воздействия, выявленную в американских экспериментах, то получается,





Старший научный сотрудник лаборатории Ю.В.Гордеев проверяет состояние своих подопечных



## ЭКСПЕРИМЕНТ

что за время полета к Марсу у человека могут оказаться невосполнимо пораженными 0,12% клеток коры головного мозга (в сетчатке – 0,05%), а полное число пораженных нервных клеток составит примерно 1%.

Соответственно возникает закономерный вопрос – что станет с функцией высшей нервной деятельности (ВНД) космонавта и как именно отразится на организме столь длительное воздействие излучения?

Один из способов узнать это – провести модельный эксперимент, в котором длительному облучению будут подвергнуты организмы обезьян. Сегодня общество крайне болезненно реагирует на эксперименты над животными, но ученые далеко не во всех случаях могут отказаться от этих экспериментов. И подопытные обезьяны – один из таких случаев. Дело в том, что обезьяна – это полный двойник человека, можно сказать, его биологическая модель. В данном случае важно, что люди и обезьяны обладают примерно схожей чувствительностью к малым и большим дозам радиации, вот почему эксперименты на них позволят предсказать, как поведет себя организм человека в схожих условиях. Использование же, к примеру, культуры ткани таких возможностей не дает. И еще: все исследования с участием человека или жи-



вотных, выполняемые в нашем Институте медико-биологических проблем, в обязательном порядке проходят биоэтическую комиссию, регламентирующую подобную деятельность.

Задач, которые должен решить эксперимент с обезьянами, очень много. Ученые хотят выяснить, какова вероятность появления лучевой болезни в зависимости от общей дозы облучения, как снижается работоспособность в результате острой реакции, сколь сильно уменьшается общая подвижность из-за влияния общих фак-

*Часть экспериментальной группы обезьян привыкает к длительному нахождению в приматологических креслах. Сотрудники лаборатории ласковым, теплым отношением к своим питомцам помогают им сократить срок адаптации*

торов космического полета, один из которых – невесомость, и многое другое. А это значит, что в процессе эксперимента ученые должны будут исследовать радиобиологические реакции основных регуляторных систем организма животного – нервной, эндокринной, иммунной, сердечно-сосу-





*Джойстик имеет размеры, соответствующие лапке макаки*

*Обезьяны не только привыкают к виду компьютерных систем, но и при первой же возможности стараются исследовать новую «игрушку»*



*Почему необходимо держать обезьян в приматологических креслах? Именно так имитируется гипокинезия, неизбежная при длительных межпланетных перелетах. Однако приматологическое кресло не фиксирует обезьяну намертво – оно только лишает макаку возможности совершать активные движения, вынуждая ее находиться примерно в одном положении*



дистой, кроветворной, спермато- и цитогенетический ответ на облучение и анализ отсроченных эффектов облучения (продолжительность жизни и канцерогенез). После всего этого, с учетом новых экспериментальных данных, можно будет сделать новую оценку лучевого риска в полёте.

В эксперименте участвуют здоровые самцы макаки-резус в возрасте от трех до пяти лет, разделенные на



*Сотрудники время от времени предлагают своим питомцам попить воды, так как самостоятельно обезьяны сделать этого не могут*

две группы по 10–15 обезьян. Одна группа – контрольная. Схема экспериментального радиационного воздействия имитирует реальное облучение космонавта при полете к Марсу и включает в себя острую и хроническую фазы. В качестве источника радиоактивного излучения используют радиоактивный изотоп цезия –  $Cs^{137}$ . Облучению обезьяны подвергаются постоянно, так же, как и будущие космонавты на борту корабля, летящего к Марсу.

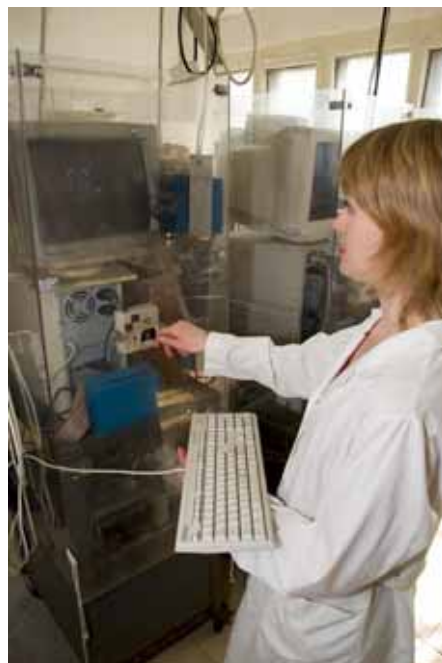
Одна из самых важных задач эксперимента – выяснить, как влияет длительное облучение на функции высшей нервной деятельности. Такое

*Первый этап – привыкание к приматологическому креслу завершен, и обезьяну возвращают в клетку*



исследование проводят с помощью специальной автоматической компьютерной системы. На экране монитора животному предъявляют видеостимул. Если обезьяна реагирует правильно, то есть совмещает на экране курсор с мишенью, то в качестве подкрепления получает вкусную пищу. При этом специальные приборы регистрируют физиологические условно-рефлекторные реакции. На самом деле всё выглядит просто: обезьяны, находясь в домашней клетке или приматологических креслах, обращают внимание на экран и

*Сотрудник лаборатории проверяет компьютерную систему на предмет готовности к предстоящим исследованиям*



Все фото: Волошин О.В., архив ИМБП



## ЭКСПЕРИМЕНТ

находят необходимый для компьютерной игры элемент – джойстик, рычажок, приводящий в движение курсор на экране.

Основной принцип предложенной им «компьютерной игры» обезьяны постигают достаточно быстро, однако детальное обучение «работе на компьютере» гораздо дольше – от двух до шести месяцев. В частности, за это время обезьяны узнают, что мишень может менять свои свойства в широких пределах, и это позволяет предлагать макакам задачи разнообразной сложности. Например, мишенью может служить неподвижная фигура с меняющейся конфигурацией или объект, перемещающийся с большей или меньшей скоростью, лабиринт, ограничивающий свободу перемещения курсора по экрану, задачи с выбором и т. д. Обезьяны охотно включаются в игру-обучение, так как она разнообразит их скучную лабораторную жизнь. Компьютерная установка доступна обезьяне в течение всего светового дня, а длительность игры определяется мотивацией животных и их активностью. Результат обучения и характер нарушений ВНД оцениваются по трем основным параметрам: общей целенаправленной активности животного, проценту успешных инструментальных двигательных реакций (то есть завершившихся получением подкрепления) и среднему времени выполнения задачи.

Эксперимент, о котором мы рассказали, только начался и будет длиться не меньше 500 дней. Именно столько времени понадобится пилотируемому кораблю, чтобы добраться до Марса и вернуться на Землю. Пока что говорить о каких бы то ни было результатах рано. Однако ничто не мешает нам рассказать о них, когда эксперимент завершится. На фотографиях представлены несколько эпизодов из жизни обезьян в условиях эксперимента.







# Размышления о драконах

Помпоний Квадрат

С огромным интересом прочел я статью А.Мотыляева «Дракон из семейства лонгисквамид» («Химия и жизнь» № 6, 2008), в которой автор рассуждает о возможном систематическом положении драконов. Тема эта чрезвычайно актуальна и увлекательна, но все же не стоило, на мой взгляд, браться за ее разработку с таким азартом. В результате статья получилась менее убедительной, чем могла бы.

В своем исследовании уважаемый коллега Мотыляев пытается ответить на вопрос, существовали ли драконы на самом деле. Если они существовали, то должны наличествовать какие-то родственные виды и ископаемые остатки. Вопрос в том, где искать эти доказательства драконьего бытия. Исследователь начинает поиск с определения характерной драконьей черты: комплекта из че-

тырех лап и двух крыльев. Затем он приводит довольно обширный список существ с таким же набором конечностей. Почему-то в него попали бескрылый Конек-Горбунок, Змей Горыныч (как будто это не дракон), а также ангелы и херувимы, которые, будучи представителями Сил бесплот-



1  
На рисунке из книги XII века «Физиолог» слон борется с драконом.  
У дракона оперенные крылья

ных, вообще не подлежат зоологическому исследованию! Особое внимание автор уделил грифонам. Анализируя по старинным изображениям структуру грифоньих крыльев, он приходит к выводу, что крыльев с такой структурой быть не может, и на самом деле это не крылья, а очень большие перья. А раз нет истинных крыльев у грифона, нет их и у дракона, а есть «огромные перья, выросшие в том месте, где у всякого высшего животного сходятся шея и лопатки и где расположена мощная группа мышц». Исходя из этого, мой уважаемый оппонент относит драконов к лонгисквамам – реально существовавшим архозаврам, которые имели на загривке подобные перьям кожистые придатки.

Но как не сходится у позвоночных шея с лопатками, так и этот вывод никак не следует из предыдущих рассуждений. Ибо странно, на мой взгляд, исследовать строение драконьих крыльев, изучая изображения грифонов. С тем же успехом можно исследовать голубя, имея в виду летучую мышь.

Однако, оспорив мнение уважаемого коллеги Мотылева, я поневоле вынужден высказать свое. Я не отрицаю существования драконов, хотя бы потому, что эти существа всегда





2  
У этого дракона  
две тройки крыльев,  
задние и передние



3  
А у этого  
только пара задних

имеют очень цельный облик, в отличие от грифонов — полульвов-полуорлов, как будто созданных небогатым человеческим воображением. А приняв возможность существования драконов, мне придется сделать следующий шаг и приступить к анализу их облика. Откуда мы можем взять необходимые сведения? По моему глубокому убеждению, палеонтология

нам в этом не поможет, ибо найти ископаемые драконьи остатки практически невозможно. Вспомните, Палеонтологический музей забит костями динозавров по самую крышу, а от птицы моа, исчезнувшей всего несколько веков назад, только пара ног стоит. Причина в том, что динозавры вымирали на просторе, а моа среди людей, которым несвойствен-



4  
У дракона вместо крыльев — кожная перепонка между ребрами



6 и 7  
Этот дракон  
напоминает гусеницу

5  
Такая же перепонка  
у современной ящерицы  
летучего дракончика



но беречь кости животных и дать им спокойно окаменеть. Такая же судьба должна была постичь и драконов, которые, судя по литературным источникам, исчезли относительно недавно, лет 800 назад, а может, и позже. Их кости пали в населенную местность и вряд ли сохранились.

Раз на палеонтологию надежды нет, остается прибегнуть к анализу старинных изображений. Увы, это чрезвычайно ненадежный источник. Художники раннего средневековья не имели понятия об анатомии, поэтому даже изображения человека точностью не отличались. А портретировать дракона было гораздо сложнее, потому что он, зараза, не позировал, а, напротив, норовил сожрать рисовальщика. Тем не менее дошедшие до нас изображения позволяют судить о чрезвычайном разнообразии драконов, больших и маленьких, с лапами и без лап, с крыльями и без оных. Мой достойный оппонент А. Мотыляев особо интересовался крыльями. Что ж, крылья, безусловно, имеют место быть. Они довольно крупные, иногда оперенные, но гораздо чаще встречаются драконы с кожистыми крыльями, напоминающими крыло летучей мыши. Правда, «распальцовка» в них не та, и, хотя средневековые художники могли ошибаться, у нас нет оснований это утверждать.

Так какие же были у дракона крылья? Мне кажется, разные. Взгляните на рисунок из старинной книги. У изображенного на ней дракона две ТРОЙКИ крыльев! В тройку входит кожистая пара с непонятным жилкованием и какой-то темный султанчик. А красный дракон Уэльса изображен с одной парой крыльев, зато растущей в районе тазового пояса. Почему количество и расположение конечностей у дракона варьировало, сказать трудно.

Некоторые крылья при внимательном рассмотрении оказываются вовсе и не крыльями. Так, на средневековой немецкой картине «Святой Георгий спасает принцессу» отчетли-



## ДИСКУССИИ



## ДИСКУССИИ

во видно, что дракон растопырил ребра с натянутой между ними кожей. Похожее приспособление для полета имеет современная тропическая ящерица, именуемая летучим дракончиком. Может быть, не все драконы вымерли, некоторые просто измельчали? Так иногда случается с активно уничтожаемыми видами: кто затаился, тот и выжил. Измельчавшие чудища более не угрожают человеку и потому живут относительно

спокойно. Но мы не можем быть в этом уверены, потому что на той же картине у лап дракона изображен череп с торчащим носом. Очень я опасаясь, что художник был не силен в анатомии.

По-моему, о крыльях мы поговорили достаточно. Пора переходить к бескрылым драконам. Было бы в корне неверно рассматривать их как ящериц-переростков, пускай и огнедышащих. То есть были, возможно,



**13**  
*Разве эта голова не похожа на драконью?*

и такие — но взгляните на фреску XII века из Старой Ладogi, на которой под видом змия при святом Георгии изображено странное многоногое существо, подозрительно напоминающее гусеницу. А вот китайский дракон. Очень часто его изображают в типично гусеничной позе. Случайно ли это? Ведь позвоночным животным гораздо легче изогнуть свой хребет вбок, чем вверх. Кстати, некоторые современные гусеницы очень похожи на драконов. Может быть, между ними есть родство? Но если и так, то доказать его теперь нелегко.

В заключение мне бы хотелось сказать вот что. Драконы отличаются таким разнообразием строения конечностей и мест прикрепления крыльев и крыловидных отростков, что неместимы в компактную таксономическую группу. Скорее всего, драконы — понятие собирательное. Их родственников можно искать и среди рептилий, и среди насекомых (см. например, дракона на иконе из Старой Ладogi). А двуногие драконы вроде того, что на рисунке душил слона, могут состоять в родстве с сороками и галками, на которых они похожи страстью к собиранию сокровищ. Что же касается драконов, обладающих двумя парами ног и одной-двумя парами крыльев, то энтузиасты пока не обнаружили ни их предшественников на эволюционном древе, ни потомков. Однако драконология при нынешнем своем состоянии может удивить нас в любой момент. Средневековые изображения дают широкий простор для маневра. В конце концов, что такое дракон? Экзотическая внешность, зловонное (либо огненное) дыхание и отвратительный характер.



**8 и 9**  
*Китайского дракона изображают в классической позе гусеницы*



**10–12**  
*Эти гусеницы очень напоминают драконов, у некоторых можно углядеть мини-крылышки*





# Органический солнечный элемент

С.Алексеев

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Солнечные батареи из кремния хороши своей эффективностью: в среднем они превращают в электричество 20% падающего на них солнечного света, а в рекордных случаях удается получить и более высокие значения. Так, в Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН с помощью сложных многокаскадных батарей на арсенид-галиевых гетероструктурах достигнуты 35%. А плохо у кремниевой батареи то, что она, во-первых, жесткая, во-вторых, дорогая в производстве, в-третьих, получать кремний соответствующей чистоты сложно и мощностей нынешней кремниевой промышленности не хватает для обеспечения потребностей микроэлектроники. Поэтому если вдруг будет явлена политическая воля перейти на возобновляемые источники энергии, не считаясь с затратами (а солнечное электричество сейчас в три–пять раз дороже, чем атомное или углеводородное), и в связи с этим установить солнечными станциями всю площадь земных пустынь, то кремния на такой проект не хватит в принципе. Есть ли какой-то запасной вариант? Да, есть. Это органические солнечные батареи. Мы про них не раз говорили в рубрике «В зарубежных лабораториях». А системный взгляд на проблему можно составить на основании обзора, опубликованного в журнале «Российские нанотехнологии» за май–июнь 2008 года. Его подготовили сотрудники Института проблем химической физики РАН — кандидат химических наук Павел Анатольевич Трошин, доктор химических наук Римма Николаевна Любовская и член-корреспондент РАН Владимир Федорович Разумов. По материалам этого обзора и написана статья.

## С чего все началось

В том, что органические вещества способны поглощать лучи Солнца и затем вступать в фотохимические реакции, ничего удивительного нет — именно этим много сотен миллионов лет занимаются растения. Удивительно то обстоятельство, что возникающие в результате действия света свободные носители заряда — электроны и дырки — в искусственно созданных органических материалах оказались способными путешествовать на столь большие расстояния, что они могут создать на противоположных

границах органической пленки значительную разность потенциала и вызвать ток в электрической цепи. Первым на эту особенность обратил внимание Цзин Тан, первооткрыватель органических светодиодов, работавший в то время в американской компании «Истман Кодак». Он составил двухслойный элемент из фталоцианина меди, проводимость которого обусловлена дырками, и соединения перилена, обладающего электронной проводимостью (рис. 1). После поглощения кванта света фталоцианином в нем возникла дырка, а в перилене оказался лишний электрон. Они отнюдь

не спешили рекомбинировать друг с другом, а путешествовали каждый по своему слою. Конечно, не каждая пара жила достаточно долго, чтобы добраться до края слоя, но один процент падающего излучения превращался в электричество, о чем Цзин Тан и рассказал в своей статье «Two-layer organic photovoltaic cell», вышедшей в журнале «Applied Physics Letters» (т. 48, 1986 год).

Несмотря на кажущуюся несущественность повода — всего-то один процент, о чем тут говорить, — статья привела к тому, что ученые во всем мире стали пытаться создать аналогичные солнечные элементы и за двадцать лет немало преуспели, надежно увеличив эффективность в три раза. Поскольку органические солнечные элементы делать чрезвычайно легко (по сути, их можно печатать полиграфическим способом), сами полимеры не очень дороги, а батареи получаются в виде ленты, которую можно сворачивать в рулоны или наклеивать на стены в качестве обоев, — рекордных значений эффективности в 5–6% вполне достаточно для того, чтобы всерьез думать о реальных проектах по применению таких батарей. Если же эффективность удастся поднять хотя бы до 10%, в солнечной энергетике про-

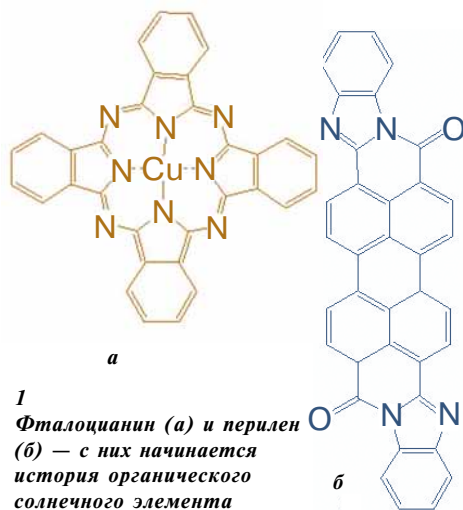
*На фото — Алан Хигер демонстрирует рулонную солнечную батарею на Международном симпозиуме по органической фотовольтаке в Лице, февраль 2008 г.*

изоидет настоящая революция. В отличие от дорогих, хотя и долговечных кремниевых, которые ставят только на крыши, дешевыми органическими можно раз в несколько лет отделять стены зданий, а площадь таких стен в городах чрезвычайно велика и во много раз превосходит площадь занятой под ними земли. Считается, что один киловатт-час электроэнергии, созданной эффективными органическими солнечными батареями, будет обходиться гораздо дешевле энергии, полученной на АЭС, на ТЭЦ или ГЭС, и составит 1–2 цента США или около 50 копеек.

## Как работает органическая батарея

Чтобы органическая солнечная батарея заработала, в ней должно быть два вещества с разным типом проводимости, соответственно донор и акцептор электронов. Свет, попав на молекулу донора, порождает в ней так называемый экситон — квазичастицу, представляющую собой возбуждение электронной плотности. Этот экситон может переходить с молекулы на молекулу и в конце концов оказывается в акцепторе. В результате у донора получается недостаток электрического заряда — дырка, а у акцептора, наоборот, избыток заряда — электрон. Чтобы это произошло, нужен контакт двух веществ. Контакт же можно организовать двумя способами: либо сделать слои из донора и акцептора, положив их друг на друга — тогда получится слоистая батарея, либо перемешать частицы донора и акцептора — получится объемный гетеропереход.

В слоистых батареях вероятность того, что носители заряда вернутся к границе раздела и рекомбинируют, невелика. Как правило, они успешно достигают электродов. В случае же объемного гетероперехода все зависит от микроструктуры фоточувствительного слоя: для получения оптимума нужно создать проникающие друг в друга сетки донорного и акцепторного материалов. Подбирая эти материалы, можно менять те или иные параметры элемента и надеяться, что очередной дизайн молекулы приведет к росту эффективности. Поскольку спосо-



1  
Фталоцианин (а) и перилен (б) — с них начинается история органического солнечного элемента

бов таких много, в руках исследователя должна быть своеобразная карта острова сокровищ, на которой отмечены как возможные пути, ведущие к успеху, так и ловушки на них. В настоящее время круг поиска новых материалов определился. Лидируют в этом списке системы с объемным гетеропереходом, в которых донорами служат электропроводящие полимеры, а акцепторами — различные производные фуллерена. Одна из самых удачных пар — поли-3-гексилтиофен (РЗНТ) и метанопроизводное фуллерена с длинным названием, за которым закрепилась аббревиатура РСВМ (рис. 2). Посмотрим, как исследователи шли к этому результату.

## Карта острова сокровищ

Итак, к хорошему элементу ведут множество путей. Правда, не факт, что любая тропа приведет к долгожданной цели: пока что большинство из них приводило искателей эффективного органического солнечного элемента в никуда. Основные же области, обозначенные на гипотетической карте острова сокровищ, связаны с тремя основными параметрами элемента: напряжением холостого хода, током короткого замыкания и фактором заполнения. Удача улыбается тому, кто, повышая один из них, при этом не снижает другой.

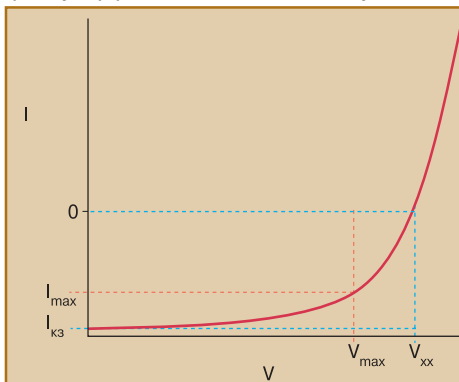
Например, напряжение холостого хода в органических батареях определяется разницей в энергиях верхней занятой

молекулярной орбитали донора и нижней свободной молекулярной орбитали акцептора (рис. 3). Есть, правда, ограничение — нельзя превышать разность в работе выхода электрона для катода и анода, которая составляет 0,9–1,1 В.

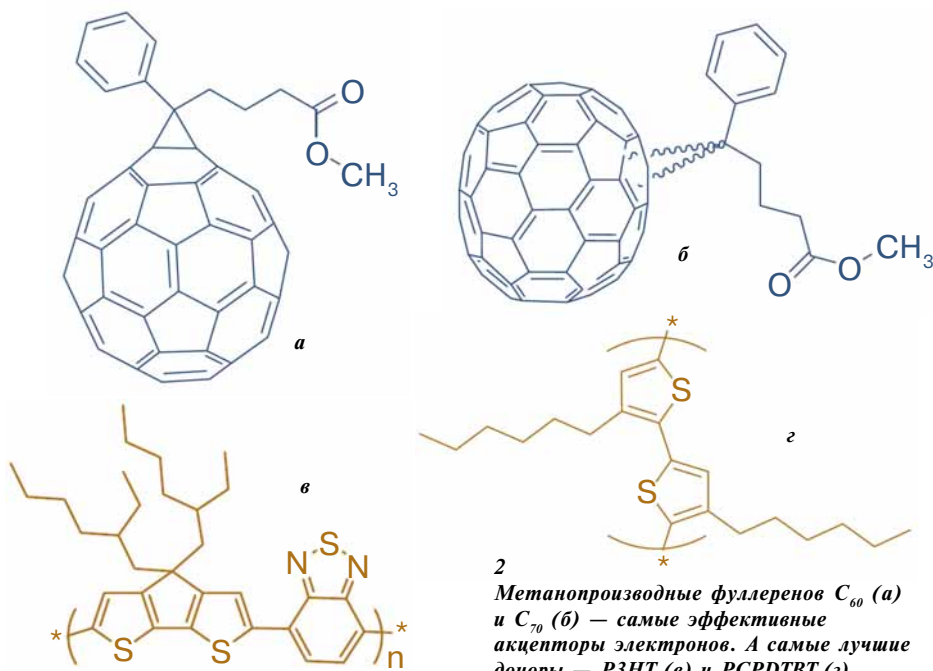
Чтобы увеличивать напряжение, следует понижать энергию верхней занятой орбитали (ВЗМО) донора и повышать энергию нижней свободной орбитали (НСМО) акцептора. Эта задача непростая: повысить энергию орбиталей того или иного вещества можно, добавляя новые функциональные группы, а они, будучи диэлектриками, плохо сказываются на проводимости электронов. Пока что лишь одной группе ученых из Голландии удалось синтезировать соединение фуллерена, имеющее более высокую энергию нижней свободной орбитали, о чем было напечатано в журнале «Organic Letters» за 2007 год. При этом напряжение действительно несколько увеличилось, однако про остальные параметры элемента ничего не сказано, и это заставляет предположить, что в целом свойства оказались неудовлетворительными.

Немалая трудность ждет и желающих пойти по пути понижения энергии верхней занятой орбитали донора: если при этом не снизить энергию его же нижней свободной орбитали, возрастет ширина запрещенной зоны между ними и уменьшится ширина спектра поглощения — не всякий квант света будет обладать достаточной энергией, чтобы перебросить электрон через запрещенную зону. Соответственно снизится ток.

Чтобы поднять ток короткого замыкания, нужно расширять спектр поглощения донора электронов. Для этого требуется уменьшить ширину его запрещенной зоны. Расчет показывает, что оптимальными свойствами будет обладать донор, у которого ширина запрещенной зоны составляет 1,2–1,6 эВ. Пока что лучшие материалы имеют зону около 2 эВ, демонстрируя рекордные значения эффективности. В середине 2007 года мировой лидер в разработке органических солнечных элементов нобелевский лауреат по химии 2000 года профессор Алан Хигер из университета Санта-Барбара (США) опубликовал в журнале «Nature Materials» данные о том, что на



Характеристика солнечного элемента — вольт-амперная кривая. Ее снимают при освещении элемента стандартным источником света, спектр излучения которого близок к солнечному, а полный световой поток составляет около  $1 \text{ кВт/м}^2$ . Примерно столько же энергии в единицу времени приходит от Солнца на квадратный метр земной поверхности при перпендикулярном падении солнечных лучей. На вольт-амперной кривой есть несколько характерных значений; напряжение холостого хода — при нем ток равен нулю; а также точка максимальной мощности энергии, которую можно снять с батареи, — в ней произведение тока на напряжение принимает наибольшее значение. Именно эта точка определяет реальную эффективность солнечного элемента. Коэффициент пропорциональности, связывающий максимальную снимаемую мощность энергии с произведением тока короткого замыкания на напряжение холостого хода, называется фактором заполнения. Это степень отклонения реальной вольт-амперной характеристики от идеальной. Если разделить максимальную мощность энергии на мощности световой энергии, то получится эффективность солнечного элемента.



2  
*Метанопроизводные фуллеренов  $C_{60}$  (а) и  $C_{70}$  (б) — самые эффективные акцепторы электронов. А самые лучшие доноры — РЗНТ (в) и PCPDTBT (г)*

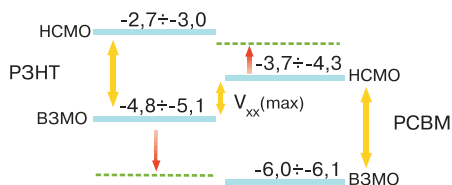
полимере с широким спектром поглощения ему удалось добиться эффективности 5,5%. Альтернативное направление — расширение спектра поглощения акцептора. Однако заметных успехов в этом направлении не достигнуто.

Третий путь — повлиять на фактор заполнения, который зависит от многих параметров. Важнейший из них — подвижность носителей заряда. Она изменяется в широких пределах. Например, подвижность дырок в полимерных донорах обычно составляет  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  см<sup>2</sup>/В·с, а иногда приближается к 1 см<sup>2</sup>/В·с. У акцепторов ситуация такая же. Лучший из известных органических полупроводников с электронной проводимостью — немодифицированный фуллерен  $C_{60}$ : подвижность электронов в его пленках достигает 8 см<sup>2</sup>/В·с. Присоединение функциональных групп к фуллерену сильно ухудшает электронотранспортные свойства. А без этих групп невозможно достичь нужных значений энергии орбиталей. В результате компромисса у лучших акцепторов, сделанных на основе фуллеренов, подвижность электронов составляет  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  см<sup>2</sup>/В·с.

Четвертый путь — воздействовать на микроструктуру. Этим путем можно идти, совершенствуя элементы с объемным гетероструктурным переходом: влияя на размер и взаимное расположение доменов из донора и акцептора. Как следует из теории, чтобы повысить плотность тока и фактор заполнения, нужно сделать раз-

мер доменов близким к длине свободного пробега экситонов. По грубым оценкам, эта величина составляет 5–15 нм. Если размер доменов сильно меньше этой величины, эффективность разделения зарядов не снижается (и даже может увеличиваться), но их транспорт затрудняется — каналы проводимости отсутствуют или разбиты на мелкие фрагменты. Если, наоборот, характерный размер оказывается более 100–500 нм, то площадь контакта донора и акцептора резко уменьшается и страдает фоторазделение электронов и дырок. Экситоны, рождающиеся в больших доменах донорного и акцепторного материалов, не успевают достигнуть границы и погибают внутри, не внося вклад в генерацию зарядов.

На морфологию пленок довольно долго не обращали внимания. Однако в 2001 году группа исследователей из Австрии и Голландии рассказали в журнале «Applied Physics Letters», что всего-навсего смена растворителя, используемого при производстве слоистого элемента, приводит к почти трехкратному росту эффективности — до 2,5%. Исследование с помощью атомно-силового микроскопа показало, что один растворитель давал весьма неоднородную пленку: в ней было много доменов размером более 100 нм и эффективность оказывалась существенно ниже, чем у однородной пленки с мелкими доменами. Однако на морфологии сказывается не только растворитель: измельчать



3  
*Синим цветом показаны энергетические уровни у нынешнего лидера среди органических элементов. А чтобы улучшить эффективность, нужно эти уровни изменить так, как отмечено зеленым цветом*

структуру можно и термической обработкой. Видимо, при этом происходит упорядочивание доменов.

## Материалы для солнечных элементов

Все эти подходы ученые испробовали при создании органических солнечных элементов. Напомним, что первыми были слоистые системы из фталоцианина металла и соединения перилена с эффективностью 1%. Развития эта система не получила, хотя попыток было много.

Следующей идеей оказалось использование фуллерена  $C_{60}$  в качестве акцептора — предполагалось, что его высокая подвижность зарядов существенно увеличит плотность тока. Нельзя сказать, что эти надежды до конца оправдались: хотя некоторые исследователи и рассказывали про систему из фталоцианина меди с фуллереном с эффективностью 3,6%, однако подтвердить это не удалось. Надежно зафиксировано 2,0–2,5% для системы из фталоцианинов меди и цинка с фуллереном. На этом пути встречались и серьезные разочарования. Например, в систему добавляли фталоцианин олова, который отлично поглощает свет в красной области спектра, а эффективность падала до исходного 1%. Добавка субфталоцианина бора позволила повысить напряжение холостого хода в два раза, зато упала плотность тока, и эффективность элемента выше 3% поднять так и не удалось.

По-видимому, наиболее перспективный подход к батарее слоистого типа — заменить фталоцианины металлов на другие органические доноры. Один из возможных подходов продемонстрировали две группы французских ученых, которые в своих статьях в журнале «Advanced Materials» за 2006 год предложили использовать соединения, в молекулах которых есть и донорные, и акцепторные участки. Примером такого полимера может служить замещенный трифениламин (рис. 4). В нем происходит внутримолекулярный перенос заряда от донорной три(4-(2-тиенил)фенил)аминовой системы к дициановинильным фрагментам. В результате спектр поглощения расширяется вплоть до 700 нм. Увы, из-за малого фактора заполнения (всего 25%) эффективность нового элемента осталась на



низком уровне — 1,85%. Однако, возможно, это значение все-таки удастся увеличить раза в два за счет изменения морфологии слоев. У элементов с такими полимерами интересная особенность: они не только превращают свет в электричество, но и сами служат источником чистого красного света при напряжении немногим больше 3 В. Поэтому следует ожидать, что интерес к таким системам возрастет. Однако нельзя забывать, что 3,8% — видимо, предел для слоистых элементов.

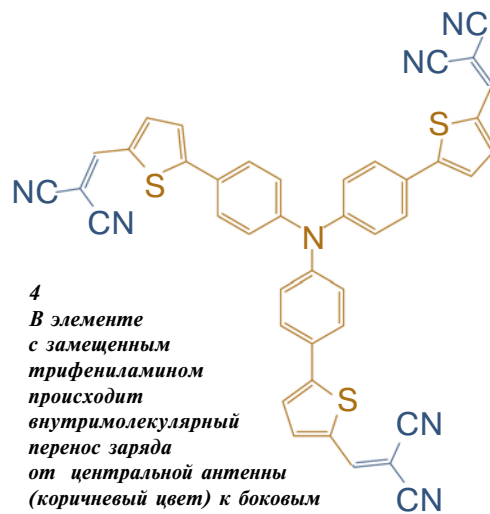
Возможно, поэтому слоистые солнечные элементы не привлекают особого внимания ученых, сосредоточивших усилия на элементах с объемным гетеропереходом. Они дают более широкие возможности управления морфологией фотоактивного слоя, а создавать их гораздо проще: технология подобна печати чернильным принтером.

В течение многих лет в таких элементах использовали систему из циклопропановых производных  $C_{60}$  и замещенного пара-фениленвинилена, при этом за счет тщательной оптимизации параметров системы достигли эффективности 2,6%. А выше она быть не может, поскольку близка к теоретическому максимуму. Ограничениями служат электронные уровни обоих материалов и узкий спектральный диапазон — 350–600 нм. Замена фуллереновой основы с со-

единения  $C_{60}$  на аналогичное соединение  $C_{70}$  увеличивает ширину спектра, и эффективность поднимается до 3%.

Сегодня считается, что циклопропановые производные фуллерена — лучшие акцепторы для такого типа батарей. Осталось создать более эффективный донор. Большие надежды связывают с поли(3-гексилтиофен)ом. Его важное преимущество — самоорганизация в пленках при повышенных температурах и образование так называемых ламинарных структур — стопок из наноламелл друг на друга полимерных цепей. В таких стопках подвижность дырок довольно высока — до  $10^{-2}$  см<sup>2</sup>/В·с, а более широкий спектр поглощения (до 700 нм) позволяет увеличивать и плотность тока. В итоге на системе из этого полимера с фуллереновыми производными достигнута эффективность 4%, а теоретический максимум — 4,5%.

Для дальнейшего повышения эффективности органического солнечного элемента необходимы полимеры-доноры, способные поглощать свет в еще более длинноволновой области, то есть за пределами 700 нм. Уже упомянутый рекорд в 5,5%, достигнутый группой Алана Хигера в 2007 году, поставлен на комбинации полимера PCPDTBT с метанофуллереном  $C_{70}$ . Впрочем, немалую роль сыграла морфология фотоактивного слоя: годом ранее группа австрийских и



4 В элементе с замещенным трифениламино происходит внутримолекулярный перенос заряда от центральной антенны (коричневый цвет) к боковым дициановинильным фрагментам (синий)

американских ученых сообщила в журнале «Advanced Materials» об эффективности той же системы в 3,2%. Хигер же использовал другой растворитель.

Не исключено, что путь к повышению эффективности органических солнечных элементов проходит через сочетание двух архитектур. Например, в Институте проблем химической физики РАН была предложена новая структура солнечной батареи: когда на пленку фталоцианина цинка наносится не слой акцепторного материала, как в обычных двухслойных батареях, а слой с объемным гетеропереходом, представляющий

## Батарейка из апельсина и черники



Фото В. Ф. Рауэмов

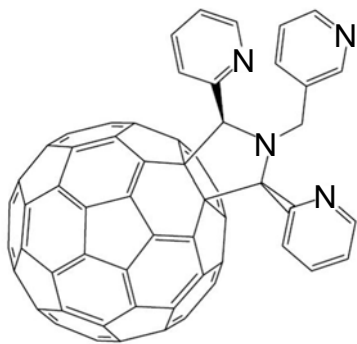
Михаэль Гратцель на Международном симпозиуме по органической фотовольтаике в Линце, февраль 2008 г.

Помимо гибких органических солнечных батарей или жестких кремниевых есть и промежуточный вид. Их называют ячейками Гратцеля в честь первооткрывателя — ученого Института химической физики в Лозанне (Швейцария) Михаэля Гратцеля, создавшего первый образец такой батареи двадцать лет назад. В ячейке между двумя электропроводящими стеклами расположены фотоактивный слой из пористого диоксида титана, на который нанесен краситель из жидкого либо твердого раствора электролита, обычно иодида калия. Свет попадает на частицу красителя, выбивает из него электрон, он попадает на диоксид и отправляется в электрическую цепь, а электролит доставляет его обратно к красителю. Эффективность ячеек Гратцеля достигает 10%, портятся они через два–три года, но стоят не дорого, поскольку и краситель, и диоксид титана — весьма распространенные вещества.

Одна из интересных особенностей такого элемента состоит в том, что в качестве красителей можно использовать природные соединения — антоцианы. Эти вещества придают цвет лепесткам некоторых цветов, коже плодов, а также осенним листьям. Физиологи растений не могут однозначно ответить, какова функция ан-

тоцианов. Многие считают их антиоксидантами, но есть мнение, что эти вещества участвуют в преобразовании солнечного света, когда из-за низкой температуры хлорофилл перестает работать (см. «Химия и жизнь», 2004, № 11). Как бы то ни было, антоциановые красители весьма стойкие: осенние листья могут храниться годами без изменения окраски.

Возникает понятное желание посмотреть, как работают антоциановые красители в солнечной батарее. Недавно такую попытку предприняли студенты из Университета Роуан (США) во главе с доктором Дарием Кузиаускасом. Они придумали простой способ извлечения красителей из бросового сырья — кожуры апельсинов, яблок и различных ягод, которые остаются после производства соков. В результате получились разноцветные солнечные батареи. «Эффективность такого солнечного элемента оказалась невелика, всего 0,5%, однако студенты были очень довольны возможностью поработать с красивыми веществами. «Говорят, что поднять эффективность можно за счет использования наночастиц диоксида», — рассказывает Дарий Кузиаускас. Действительно, чистые цвета природных красителей в желто-красной гамме весьма привлекательны, и такие ячейки вполне могут, будь их эффективность



5  
Возможно, пирролидинофуллерен  
поможет поднять эффективность  
до 7%

собой смесь соединений фуллерена и полисопряженного полимера. В нем генерация зарядов происходит как на границе между слоями, так и в самом слое с объемным гетеропереходом. Для достижения наилучших характеристик в этих устройствах используется смесь из пирролидинофуллерена (рис. 5), которые образуют комплексы на границе со фталоцианином, что способствует разделению зарядов и обычного метанофуллерена. Такие ячейки преобразуют свет в широком спектральном диапазоне 350–850 нм, то есть захватывают инфракрасную область, что позволяет

повыше, служить отделочными панелями для внешних стен здания, превращая их в генератор электричества.

Однако, начав использовать природные материалы, логично пойти до конца, а именно добавив фотосенсибилизаторы для расширения спектра поглощения. Ведь благодаря им борщевик

надеяются на достижение 7%. Для этого надо улучшить подвижность носителей заряда. Пока что двухслойные батареи с пирролидинофуллеренами дают лишь 1,8%, потому что пиридиновые группы мешают движению заряда.

Помимо соединений фуллеренов в солнечных элементах используют полупроводниковые нанокристаллы, например CdSe, помещенные в полимерную матрицу. Такие батареи называют гибридными, так как в них есть и органические, и неорганические полупроводники. Эффективность преобразования света в гибридных батареях сильно зависит от формы наночастиц, от способа их стабилизации в растворе и многих других факторов, в частности концентрации. Оптимальным материалом для матрицы оказался тот же поли(3-гексилтиофен) при концентрации CdSe около 10% по массе. При этом эффективность, как и при использовании производных фуллерена, оказалась 2–2,9%. Возможно, в ближайшем будущем будут найдены методы упорядочения наночастиц в матрице полимера, и тогда гибридный элемент станет конкурентом органическому.

## Тандемные батареи

Есть еще один способ повысить эффективность батареи: увеличить ее толщину. Дело в том, что обычно слои орга-

Сосновского настолько эффективно усваивает солнечный свет, что за считанные дни выбрасывает свой весьма не малый зонтик на двухметровую высоту. Кто знает, может быть, тогда эффективность антоциановых ячеек Гратцеля удастся повысить до нужного уровня.

Фото Rowan University



Американские студенты увлеченно выделяют антоцианы для создания солнечного элемента

## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

нического элемента очень тонки — 100 нм и менее. В результате элемент поглощает не более половины падающего на него света. А увеличить толщину сложно: возникает проблема транспортировки зарядов к электродам. В простейшем случае можно положить два одинаковых элемента друг на друга и поглотить весь свет. Однако наиболее перспективны тандемные батареи, преобразующие свет в широком спектральном диапазоне. В них нижняя ячейка преобразует свет в коротковолновой области, но прозрачна в длинноволновой, тогда как верхняя, наоборот, преобразует свет лишь в длинноволновом диапазоне. Примером может служить комбинация из нижнего элемента с объемным гетеропереходом и верхним слоистым из фталоцианина цинка с фуллереном C<sub>60</sub>. Однако описаны и эффективные тандемные солнечные батареи, верхняя и нижняя ячейки которых содержат смеси производных фуллерена с полисопряженными полимерами. Создатели рекордных батарей такого типа оценивают их эффективность в 5,7–6,5%, однако эти данные пока не подтверждены экспертами из центра стандартизации и вызывают сомнения у многих исследователей. Поскольку тандемная батарея на выходе дает ток короткого замыкания, равный минимальному из токов отдельных ячеек, а напряжение холостого хода представляет собой сумму их напряжений, основной недостаток таких батарей связан с необходимостью балансировать фототоки, генерируемые в каждой из ячеек. При этом изменение интенсивности падающего света или угла его падения нарушает баланс, и эффективность всей батареи падает.

Тем не менее указания на то, что эффективность более 6% все-таки может быть получена, вселяет немалые надежды на светлое будущее органических солнечных батарей. Сейчас нет сомнения в том, что в ближайшее время случится бум работ по новым фотоактивным полимерным материалам, и рекордные сегодня величины вскоре будут превзойдены.

Автор благодарит члена-корреспондента РАН В.Ф.Разумова за помощь в подготовке материала.





# Обратная задача энергетики

Л.Намер, И.Ильин

## Вид с высоты

Обычные для энергетики задачи – обеспечить энергию, необходимую для перемещения чего-либо (транспорт), нагрева чего-либо или осуществления фазовых переходов (отопление, плавление, испарение) и проведения химических процессов. Устройство, которое поставляет нам энергию, принято называть источником энергии, хотя с точки зрения физики оно является преобразователем. Для разработки упомянутых источников, как и для разработки всего на свете – от фломастера до «стелса», – нужно их испытывать. При этом выдаваемую энергию кто-то должен потреблять, имитируя эксплуатацию в тех или иных условиях.

В самом общем виде возможны три пути решения проблемы. Первый – самый естественный: отдать энергию реальным потребителям. Но сделать это может быть не просто: потребитель, возможно, хочет потреблять вовсе не тогда и не там, когда и где я собираюсь испытывать свой источник энергии.

Второй вариант – сбросить энергию в какой-то накопитель, емкость, аккумулятор, дабы использовать ее потом, либо даже транспортировать, передать ее туда, где потребитель находится. Этот вариант хорош тем, что технологии накопления, аккумуляции энергии разработаны и изучены, хотя и с другой целью. Дело в том, что некоторые источники энергии работают не тогда, когда человек желает потреблять. Например, солнечные эле-





менты вырабатывают энергию днем, и причем в ясную погоду, а коммунальное хозяйство желает потреблять больше вечером и зимой, и причем каждый день, а не только в те вечера, когда днем светило солнышко.

Наконец, третий вариант – потратить энергию на что-то пусть и ненужное, но позволяющее от нее «избавиться». Разумеется, в силу законов сохранения уничтожить энергию нельзя, но можно рассеять ее в окружающей среде так, чтобы она нам не мешала, убрать с глаз долой. Путь для этого, как следует из учебника физики, несколько, причем некоторые из них – те же, по которым можно идти, аккумулируя энергию.

Первый – закачать энергию в потенциальную энергию в поле гравитации, то есть поднять вверх груз. В принципе этот способ годится и для аккумуляции (с последующим извлечением энергии), и для утилизации – например, можно выкапывать горные породы со дна моря и выкладывать в виде «искусственных островов». Энергия, запасаемая таким способом, при тех же объемах устройств мала по сравнению с другими способами, а сам способ весьма неудобен – установка получается очень уж большая. Заметим, что на планете с высокой напряженностью гравитационного поля ситуация могла бы быть и иной.

Второй путь – закачать энергию в кинетическую энергию. Для хранения энергии применяют вращающийся маховик, но оставить его навсегда вращающимся нельзя. То есть запастись энергией таким способом можно, это действительно обсуждается. Но «закопать» энергию в маховике навсегда невозможно. Если не выбрасывать вращающуюся массу в космос...

Третий путь – закачать энергию в электрическое или магнитное поле. Аккумулировать энергию этим способом можно, причем плотность энергии, запасаемой в магнитном поле сверхпроводящего соленоида, оказывается достаточно велика, и этот способ также обсуждается. Но опять же, «закопать» энергию навсегда таким способом нельзя.

Четвертый способ – электромагнитное поле. Запастись в нем много энергии не удастся, но вот «закопать» можно. А именно – излучив ее в пустоту, в космос. Итак, вот один путь уничтожения энергии – мощная лампа: часть энергии поглотится окружающей средой и нагреет ее, часть уйдет в никуда.

Пятый способ – нагрев и фазовые переходы, плавление и испарение. Сегодня это основной способ сброса энергии и один из распространенных способов аккумуляции.

Шестой способ – химический: проведение эндотермических реакций.

Четвертый, пятый и шестой способы мы рассмотрим ниже.

И наконец, седьмой, самый хороший, но пока нереальный способ – превращение энергии в массу. То есть процессы, обратные тем, что идут в реакторах деления

или синтеза и соответствующих бомбах, а также синтез антивещества. Эти процессы в принципе осуществимы, но их КПД ничтожно мал – вся затрачиваемая энергия идет на нагрев среды аппаратурой, лишь малая ее часть превращается в вещество.

Итак, нам надо рассмотреть подробно три способа «уничтожения» энергии: излучение, нагрев и химия. Но сначала...

### Немного об источниках

Источник энергии в принципе может давать на выходе энергию механическую, тепловую и электрическую. Первое звучит непривычно, однако существуют устройства, предназначенные именно для сообщения объектам кинетической и потенциальной энергии. «Источниками энергии» их не называют, поскольку механическую энергию относительно сложнее хранить и транспортировать. Хотя цивилизация, энергетика которой именно механическая, – хороший материал для писателя, знающего школьную физику. Устройства, предназначенные для сообщения кинетической и потенциальной энергии, – это всякого рода метательные (пушки, арбалеты, катапульты и т. п.) и подъемные механизмы. Рассеять их энергию просто: ускорять и сбрасывать в пустынные районы или море, поднимать и ронять обратно. При этом, поскольку это не реальная эксплуатация, а испытания, поднимать и ускорять придется не те объекты, для работы с которыми на самом деле предназначено наше устройство, а некоторые муляжи, макеты. Разумеется, по некоторым параметрам (скорее всего – по массе и размерам) они должны совпадать с будущими реальными объектами.

Источник тепловой энергии – это устройство, которое способно что-то нагревать, плавить и испарять. Проблема поглощения энергии решается в этом случае просто: нагретое можно просто выкинуть вон, хотя разумнее, если это возможно, использовать его для отопления или чего-то подобного. Правда, при «выкидывании» тепловой энергии возникает так называемое тепловое загрязнение среды, но оно возникнет в любом случае. Его можно было бы избежать, если излучать энергию в космос, загрязняя почти бесконечные просторы Вселенной и сигнализируя иным цивилизациям, но и в этом случае уменьшить загрязнение более чем в два раза пока не удастся. Превратить энергию в массу со сколько-либо разумным «КПД» тоже не светит.

Так что реальная задача возникает, если мы имеем дело с источником электрической энергии. Что делать в этом случае, куда девать лишнюю электроэнергию? Хорошо бы, конечно, вогнать два штыря в землю и начать просто греть ее протекающим током. Жалко червей и корешки, но главная беда в том, что сопротивление земли изменяется на несколько порядков в зависимости от типа почвы и ее влажности.

## Светить не везде, но всегда

Максимальный КПД лазеров и светодиодов – около 50%. С точки зрения экономии электроэнергии важен каждый процент, но для нас важно совсем другое – раз КПД далек от 100%, то «высветить в никуда» удастся лишь около половины и наша нагрузка все равно должна уметь рассеивать большую мощность в виде тепла. Тепловой поток тем больше, чем выше температура нагревателя, следовательно, если мы не хотим строить целое здание, чтобы рассеять мегаватт, надо идти по пути увеличения температуры. Причем лампы накаливания, в отличие от светодиодов и лазеров, излучают большую часть мощности – хотя не в видимом диапазоне, а в инфракрасном (поэтому иногда и говорят, что у них мал КПД).

Большинство проводников при высоких температурах окисляется. Отсюда первое решение – лампы накаливания, скорее всего – галогеновые (у них меньше габариты) и газоразрядные. В принципе возможно было бы применение нагревателей из высокотемпературных оксидов, но у них сопротивление уменьшается с ростом температуры, что делает эксплуатацию весьма сложной. Галогеновые лампы бывают мощностью до 2 кВт, газоразрядные лампы – до 100 кВт, но их эксплуатация требует сложной схемы (обеспечение зажигания разряда), и им противопоказан режим изменяющейся мощности (напряжения). Галогенки в этом смысле неприхотливы, они не нуждаются в специальных схемах: есть напряжение – рассеивают мощность, нет – терпеливо ждут.

Теплоотвод в общем случае тем эффективнее, чем горячее охлаждаемое тело. Тут есть сложность: если увеличивать количество тепла, подводимого к охлаждаемой поверхности, при некоторой температуре на поверхности образуется паровая пленка, которая радикально уменьшает теплоотвод (так называемый кризис кипения). Борьба с этим явлением можно двумя способами: увеличивая скорость движения жидкости и переходя к охлаждению «водяным туманом» – потоком воздуха, несущим капли жидкости, вскипающие при попадании на охлаждаемую плоскость. Но если пока пренебречь этими хитростями, то получается, что выгодно использовать горячий излучатель – галогеновые лампы. А куда в итоге девать отводимую мощность? Можно обдувать лампы потоком воздуха, можно греть лампами воду, можно, наконец, ее испарять.

Заметим, что воздух в основном прозрачен для излучения галогеновых ламп с длинами волн 1–2 мкм, поэтому при охлаждении воздухом около трети излучения поглотится в атмосфере, остальное уйдет к далеким звездам. С водой ситуация иная: в слое в несколько сантиметров излучение заметно поглощается, а в слое в 0,5 метра – почти полностью. Поэтому облегчается решение проблемы с кризисом кипения.

Итак, представьте себе: бурлящий котел с водой, столб пара, причем этот столб сияет, ибо сквозь него уходит к далеким звездам свечение ламп. Осталась мелочь – экспериментально проверить, долго ли проживет галогенка в кипятке... Конечно, теплота испарения лития больше, чем у воды, почти на порядок, но у него выше стоимость, да и Гринпис будет против.

## Химический аккумулятор

Радикально иной способ хранения энергии – химический: проведение сильно эндотермических реакций. Очень «энергоемкий» процесс – разрыв химических связей. Сравним его со стандартным способом теплоотвода с

помощью воды. Один литр воды, нагреваясь на один градус, забирает 4,2 кДж. Если нагреть эту воду от 20°C до кипения, можно отнять уже 336 кДж. А если всю эту воду испарить, а пар выбросить, то к этим 336 кДж добавится 2256 кДж. Всего – около 2600 кДж.

Возьмем литр условного вещества с небольшой энергией диссоциации – 100 кДж/моль (для сравнения: энергия диссоциации связи Н–ОН равна 494 кДж/моль). Пусть плотность этого вещества равна 1 кг/дм<sup>3</sup>, а молярная масса – 100 г/моль. Тогда для диссоциации всех связей в 1 л (1 кг, 10 моль) вещества понадобится 1000 кДж тепловой энергии. Величина сравнима с получаемой при использовании в качестве теплоотвода воды. Однако здесь есть принципиальная разница: данное вещество, поглощая тепловую энергию, может нагреваться незначительно.

Какое же конкретное вещество можно использовать для отъема теплоты? Вот тут начинаются сложности, которыми, очевидно, и объясняется исключительно малая распространенность такого способа. Помимо того что вещество желательно использовать нетоксичное и некорродирующее, возникает проблема с продуктами диссоциации. Здесь есть только два пути. Первый – продукты диссоциации выбрасываются (например, в атмосферу). Второй – эти продукты вновь дают исходное вещество, которое возвращается в цикл.

Первый способ можно было бы применить в случае очень дешевого исходного вещества и нетоксичных продуктов. Здесь трудно предложить что-либо, кроме все той же воды. Однако для диссоциации воды (по уравнению  $2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ) всего на 5% требуется нагреть ее до 2400°C! Так что термическую диссоциацию использовать не удастся.

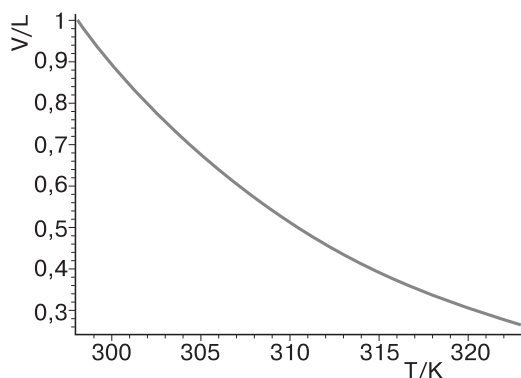
При использовании второго способа продукты диссоциации будут вновь соединяться (рекомбинировать) с образованием исходного вещества. Выбор конкретного вещества здесь тоже весьма ограничен. Мы уже видели на примере молекул воды, что для их диссоциации требуется нагрев до неприемлемо высокой температуры. Значит, энергия диссоциации химической связи в молекулах искомого вещества должна быть небольшой. И здесь трудно найти какое-либо вещество, кроме тетраоксида азота  $\text{N}_2\text{O}_4$ . При нагреве это вещество обратимо диссоциирует:  $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ . Димер  $\text{N}_2\text{O}_4$  – легко испаряющаяся жидкость, кипящая при комнатной температуре (21°C). Энергия связи N–N (57,3 кДж/моль) мала, так что уже при этой температуре в тетраоксиде присутствует достаточное количество мономера (диоксида азота), который окрашивает жидкость в желто-бурый цвет ( $\text{N}_2\text{O}_4$  бесцветен). Плотность паров вещества при комнатной температуре соответствует димеру, но быстро падает с повышением температуры, и при 140°C плотность пара соответствует практически чистому мономеру. Константа равновесия для этой системы хорошо известна, как и ее зависимость от температуры. При комнатной температуре и давлении 1 атм. смесь примерно на две трети состоит из димера и на треть – из мономера (при этом давлении отклонение системы от поведения идеального газа составляет менее 1%).

При обычных температурах смесь димера и мономера представляет собой газ. Равновесие  $\text{N}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$  в газобразной смеси устанавливается чрезвычайно быстро, в течение нескольких микросекунд. И если подводить теплоту с этой системы, то будет происходить главным образом не ее нагрев, а диссоциация связи N–N в димере, то есть сдвиг равновесия вправо. Это можно показать на таком примере. Если быстро сжать вдвое воздух, его

температура в соответствии с уравнением адиабаты повысится от  $T_1 = 25^\circ\text{C}$  до  $T_2 = 120^\circ\text{C}$ ! Для многоатомных газов повышение температуры будет слабее, трехатомный газ нагреется до  $94^\circ\text{C}$ . Однако в случае равновесной системы  $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$  любое повышение температуры неизбежно вызовет сдвиг равновесия вправо, в сторону диссоциации димера. При этом основная энергия будет идти на разрыв связи N–N и лишь небольшая ее доля – на нагрев смеси. Какой-то нагрев, конечно, неизбежен, без него невозможна диссоциация связи!

Численное решение дифференциального уравнения для адиабатического сжатия смеси  $\text{N}_2\text{O}_4$  и  $\text{NO}_2$  при начальной температуре  $25^\circ\text{C}$  дает следующий график (I.A. Leenson. J. Chem. Educat., 2000, vol. 77, № 12).

Из него видно, что быстрое уменьшение объема в два раза приводит к нагреву смеси всего на  $13^\circ\text{C}$ . И даже сжатие втрое приведет к дальнейшему повышению тем-



пературы всего на  $6^\circ\text{C}$ , хотя воздух при таком сжатии нагрелся бы до  $189^\circ\text{C}$ .

Итак, смесь оксидов азота, нагревшись весьма незначительно, поглотила тепловую энергию. Здесь возникает проблема: чтобы вернуть систему в исходное состояние, требуется снова сдвинуть равновесие влево. Для этого ее нужно охладить. Но реакция димеризации идет с выделением той самой энергии, которая была поглощена ранее. То есть охладить газовую смесь не так-то просто: она этому активно «сопротивляется». Точно так же сопротивляется охлаждению вода при температуре около  $0^\circ\text{C}$ , поскольку при ее замерзании выделяется теплота.

Что можно предпринять для сдвига равновесия в смеси оксидов азота? Очевидно, нужен достаточно длинный змеевик с большой поверхностью, выведенный за пределы тепловыделяющей системы и охлаждаемый водой или воздухом. Что же дает такая система с оксидами азота? Каковы ее преимущества перед таким стандартным теплоносителем, как вода? Судя по Химической энциклопедии, в качестве теплоносителей используют водяной пар, а также высококипящие жидкости и легкоплавкие твердые вещества: диэфиры азелаиновой кислоты, силиконовые и минеральные масла, дифениловый эфир в смеси с дифенилом, п-терфенил, сплав калия с натрием (температура плавления  $7^\circ\text{C}$ ) или жидкий литий (теплоносители в ядерных реакторах; перспективным считается и использование рубидия), расплавы солей и др. Но в качестве охлаждающих сред применяют почти исключительно воду и атмосферный воздух. Преимущество оксидов азота в том, что при сравнительно малой массе эта смесь может забрать много тепловой энергии и почти не нагреется. К существенному недостатку сле-



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

дует отнести ее токсичность и коррозионность (оксиды азота реагируют даже с медью). Тем не менее есть сведения о применении этой системы в качестве теплоносителя в ядерных реакторах.

### Электрохимический поглотитель энергии

А если надо отводить не тепловую энергию, а электрическую? Конечно, с помощью активного сопротивления электрическую энергию можно со 100%-ной эффективностью превратить в тепловую и таким образом свести задачу к предыдущей – как в известной задаче про чайник, плиту и спички. Заметим также, что термодинамика позволяет очень эффективно превращать разные виды энергии в тепловую, а вот обратный процесс... Что еще можно предложить? Попробуем тот же прием – разрыв химических связей. Как мы помним, 1 л воды, нагретый от  $20^\circ\text{C}$  и полностью испаренный при температуре кипения, «уносит» 2600 кДж. А если эту воду разложить электролизом на водород и кислород? Конечно, для повышения электропроводности в воду придется добавить электролит, например щелочь или нейтральную соль – сульфат натрия и т. п.

И вот на катоде идет реакция  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ , а на аноде – реакция  $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ , суммарная реакция разложения воды:  $2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ . Из электродных реакций следует, что для разложения шести молей (108 г) воды требуется 4F электронов, где F – постоянная Фарадея, равная примерно 96500 Кл/моль. Итак, для разложения 1 литра воды потребуется  $96500 \cdot 4/0,108 = 3,57 \cdot 10^6$  Кл. Какую энергию придется затратить? Это зависит от напряжения на электродах: энергия  $E = UIt = UQ$  (U – напряжение, I – ток, t – время, Q – заряд). Пусть  $U = 10$  В, тогда на электролиз 1 л воды потребуется  $3,57 \cdot 10^7$  Дж = 35700 кДж – почти в 15 раз больше, чем на нагрев и испарение воды, и в 100 раз больше, чем на ее нагрев до кипения. Нужно только позаботиться, чтобы в ходе электролиза раствор сильно не нагревался. Для этого нужно по возможности снизить плотность тока, то есть взять электроды большой площади, а расстояние между ними уменьшить, чтобы снизить сопротивление раствора и тепловыделение в нем. Таким образом, разложение воды электролизом – процесс в смысле поглощения энергии намного более эффективный, нежели ее испарение.

Авторы благодарят Д.Бергельсона за постановку задачи.





# Истаять в пламени дуги

**Д**ва любознательных брата-школьника решили посмотреть, что будет, если засунуть ножницы в электрическую розетку. Посыпались искры и перегорели пробки. Отец мальчиков, маститый физик, отругал братьев и объяснил, что они устроили короткое замыкание.

Оправившись от испуга, мальчики вознамерились устроить «длинное замыкание». Собрали в доме куски провода, соединили их между собой и концы гирлянды засунули в розетку. Результат был тот же. А недавно убеленный сединой профессор подключил к проводам металлическую пластинку — и получил «широкое замыкание», да такое, что загорелись провода. Профессору пришлось тушить пожар.

С ранних лет человеку известно, что короткое замыкание — это очень опасно и может привести к пожару. При этом иногда забывают, что это явление в некоторых случаях бывает и полезным. Один из таких случаев — электросварка, инициаторами внедрения которой в восьмидесятых годах позапрошлого столетия были наши соотечественники Н.Славянов и Н.Бенардос. Попробуем разобраться во вреде и пользе короткого замыкания.

От коротких замыканий и от скачков напряжения электрическую цепь защищают плавкие предохранители. Не будь их, бытовая электротехника и приборы часто выходили бы из строя. Плавкий предохранитель представляет собой не очень толстую металлическую проволоку. При прохождении по ней тока больше допустимого проволока плавится. Остывая, жидкий металл под действием сил поверхностного натяжения образует шарики внутри корпуса предохранителя. В результате электрическая цепь разрывается. Если самодельный предохранитель, именуемый в быту «жучком», изготовить из проволоки большого диаметра, он при скачках



Художник М.Златковский

напряжения не плавится, техника выходит из строя, может загореться проводка.

А что произойдет, если предохранитель сделать, наоборот, из очень тонкой проволоки? Да тоже ничего хорошего, и вот почему. Такая проволока не только расплавится током, но и испарится. Термоэлектроны, ускоренные электрическим полем между концами ранее замкнутой электроцепи, ионизируют атомы металла. Внутри корпуса предохранителя возникает электрическая дуга, температура в которой достигает нескольких тысяч градусов. В конце концов вместо защиты от пожара такой «жучок» может привести, наоборот, к пожару.

При электросварке короткое замыкание применяют с пользой для дела. Надо сказать, что тривиальная, казалось бы, работа электросварщика зачастую требует не менее точной и верной руки, чем профессия ювелира или, скажем, нейрохирурга. Ведь как происходит процесс электросварки хотя бы в самых общих чертах? Сварщик подносит к металлической поверхности электрод, на который подается высокое напряжение. В качестве второго электрода выступает собственно металлическое изделие. Когда расстояние между этой поверхностью и электродом становится критическим, фактически происходит короткое замыкание: возникает электрическая дуга, металл плавится и склеивает свариваемые детали между собой — образуется один стежок будущего сварного шва. Казалось бы, все просто. Но! Стоит сварщику чуть задержать руку или поднести элект-

род слишком близко, как вместо стежка будет дырка. Особенно много такого рода брака получается в тех случаях, когда сваривают между собой тонкие детали. Если же немного «недодержать» электрод, то стежок вообще не получится и дырявым будет сам шов.

Изобретение, которое предложили и сейчас патентуют сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук Б.Н.Швилкин и его коллеги из Московского технического университета связи и информатики, позволит в значительной степени решить эти проблемы и надежно сваривать между собой даже тонкостенные металлические детали. Суть метода вот в чем. Вместо одного электрода у сварщика их будет два, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. А тонкая металлическая проволока между электродами станет залогом того, что нагрев металла в месте будущего стежка будет строго дозирован, а, значит, шов получится самого высокого качества.

Вот как объясняет механизм процесса Б.Н.Швилкин: «Когда ток проходит по проволочке, он разогревает катод, то есть один из электродов. При этом сама проволочка, а она очень тонкая, толщиной несколько микрон, сильно нагревается, плавится и в конечном счете испаряется. Нагретый при прохождении тока катод испускает термоэлектроны. В электрическом поле между электродами они ионизируют атомы металла, которые появляются при испарении тонкой проволочки. Эти ионы, в свою очередь, бомбардируют катод и еще более повышают его температуру. Однако атомы испарившегося однократно металла проволочки вскоре исчезают, не разогрев катод до той температуры, когда образуется стационарная дуга. Но и этой, более низкой, чем при обычной электросварке, температуры оказывается достаточно для сварки тонких металлических пластин. Когда же вся проволочка испарится и израсходуется весь ее материал, цепь размыкается, а там, где проволочка касалась

# Об атоме, химическом элементе и ложных друзьях переводчика



НОУ-ХАУ

металлической поверхности, образуется ровный, аккуратный стежок, надежно соединяющий детали между собой. Так, используя плавление проволочек электрическим током, можно перейти к сварке металлов.

Между прочим, оказалось, что у этого вида сварки есть две весьма полезные особенности. Во-первых, можно подобрать условия, чтобы стежок был не точечным, а линейным, то есть его длина была чуть больше, чем у соединяющей электроды проволочки. Скажем, при длине проволоки 0,5 см длина стежка будет 0,55 см. А во-вторых, выяснилось, что металл гораздо лучше плавится по краям свариваемых деталей, поэтому шов получается тонким и ровным.

Интересно, что новый метод позволяет сваривать между собой разные металлы, в том числе с существенно отличающимися температурами плавления. «Мы пробовали сваривать пластины из никеля, латуни и даже меди, которая сваривается, как известно, не очень хорошо, а также сталь с алюминием, — продолжил Борис Николаевич. — При этом толщина свариваемых деталей, как оказалось, может составлять доли миллиметра, а проволочку можно использовать толщиной от десятых до сотых долей миллиметра».

Наконец, для достижения эффекта достаточно приложить сравнительно небольшое напряжение. В воздухе при атмосферном давлении зажечь дугу между раздвинутыми на один сантиметр электродами можно при высоком напряжении — более 30 тысяч вольт. Однако если между катодом и анодом разместить проволочку диаметром 0,05 мм и приложить к электродам напряжение всего сто вольт, этого окажется достаточно, чтобы сварить между собой, например, две стальные бритвы. Так что метод еще и весьма экономичен.

Кандидат химических наук  
**О.О.Максименко**



*Был Кочубей богат и горд,  
Его поля обширны были.  
И много, много конских морд,  
Мехов, пшеницы первый сорт  
Его потребностям служили.*



ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ

А.С.Пушкин. Полтава.

Пер. с русского на английский и обратно

Наверняка многие люди искали определение слову «атом». И находили — например, в Химической энциклопедии: «Атом — наименьшая частица химического элемента, носитель его свойств». Если читатель достаточно зануден, то после этого он искал определение элемента и находил опять же в энциклопедии: «Химический элемент — совокупность атомов с определенным зарядом ядра». После этого ничего не остается, как отложить книгу и надолго задуматься: как в уважаемую энциклопедию, а также в огромное количество уважаемых учебников попала пара циклических определений — ведь это противоречит элементарным правилам логики.

Автор этих строк, будучи очень занудным читателем, поинтересовался, а как обстоят дела с этими определениями в англоязычной литературе. Английский научный словарь «Penguin» дает следующее определение атома (переведено все, кроме слова element): «Атом — мельчайшая частица of an element, существующая самостоятельно». Далее там же смотрим, что же такое element: «Элемент — вещество, которое никаким способом не может быть разложено на два или более веществ».

Очевидно, что английское слово element должно переводиться на русский язык как «простое вещество», но никак не «химический элемент». Такой же перевод следует из толкового словаря «Collins»: «Element — вещество, состоящее из одного типа атомов». А как же по-английски будет «химический элемент»? Тоже element. И это подтверждает англоязычная «Википедия», в соответствии с которой «химический элемент — это тип атома со своим атомным номером». Только понятие «элемент» крепко спутано с понятием «простое вещество».

Так, в одном из учебников авторы рассуждают о «химических свойствах, в том числе валентностях of the elements». Поскольку валентность — это атрибут химического элемента, но никак не простого вещества в русскоязычном понимании, очевидно, что речь здесь идет об элементе. А вот «химические свойства» может относиться как к химическому элементу, так и к простому веществу в русскоязычном понимании.

Любопытство повело автора этих строк дальше — во французский словарь. Во французской «Википедии» встречаем следующее определение атома: «Атом — мельчайшая частица d'un corps simple, способная химически связываться с другими. Corps simple в буквальном переводе с французского — простые тела. Именно так Менделеев в своих «Основах химии» называл простое вещество. То есть во французской «Википедии» и в английском научном словаре атом определяется через простое вещество. Как видно, при переводе с французского путаницы между понятиями «элемент» и «простое вещество» не возникает. Ибо определение элемента («element chimique») в буквальном переводе с французского — совокупность атомов, содержащих одинаковое число протонов в ядре. То есть ровно то же самое, что и по-русски.

Для полноты картины осталось заглянуть в немецкую «Википедию». Там понятие «Chemisches Element» определяется как «вещество, далее не делимое химически». То есть с немецкого, как и с английского, слово Element следует переводить как «простое вещество». К сожалению, автор не может ничего сказать об определении «химического элемента» в немецком языке, поскольку владеет им недостаточно.

Таким образом, в английском языке одним и тем же словом обозначаются понятия «элемент» и «простое вещество» (element), а во французском — понятия «вещество» и «тело» (corps). Русский язык в этом направлении продвинулся дальше всех — каждому понятию четко соответствует свой термин. Что не мешает авторам учебников и энциклопедий эти понятия путать. А появилась путаница, судя по всему, из-за неверного перевода слова element с английского или немецкого языка. Где и когда эта ошибка возникла в первый раз — увлекательная тема для историков химии.

**Д.Жилин**



## ХИМИЯ НЕФТИ

### Бензин с меткой

*Ученые из Института химии нефти СО РАН (Томск) разработали простой метод маркировки автомобильного топлива, очень полезный для криминалистов и очень вредный для жуликов. С его помощью можно будет идентифицировать бензин не менее надежно, чем человека по отпечатку пальца ([golovko@ipc.tsc.ru](mailto:golovko@ipc.tsc.ru)).*

В основе метода введение в состав бензина ничтожно малого количества специальных маркеров. Изюминка метода в том, что ничего чужеродного, нетипичного в бензин добавлять не надо. Все свое, родное, только в необычных количествах. А чтобы обнаружить своего среди своих, нужно использовать специальную методику, которую разработал исследователь С.Нехоршев с коллегами под руководством доктора химических наук, профессора А.М.Головко.

Суть метода на первый взгляд довольно проста. Любой бензин, в том числе и автомобильный, — смесь углеводородов, главным образом таких, в молекулах которых от пяти до десяти атомов углерода. Это самая легкая из жидких фракций нефти. Но есть в бензине и углеводороды подлиннее, чей скелет состоит из двадцати и более атомов. Их, конечно, мало, но они имеются всегда. Так вот, если в исходный бензин добавить известное количество таких длинных углеводородов с заранее известной длиной цепи, то они станут уникальной меткой этой партии бензина, по которой определить его источник можно будет наверняка. Правда, обычным способом эту метку не разглядишь. Но если пробу должным образом подготовить, то сделать это не составит труда.

Исследователи начали с того, что тщательно проанализировали обычный автомобильный бензин и выяснили, сколько в нем сравнительно длинных *n*-алканов (предельных углеводородов, в молекулах которых атомы углерода связаны между собой в длинные неразветвленные цепочки). Оказалось, что в бензине марки А-92 *n*-алканов с длиной цепи от 15 до 28 атомов углерода действительно очень мало — от сотых до

десятитысячных долей процента. При этом чем длиннее углеводород, тем меньше его в бензине, что понятно — будь их много, это был бы не бензин, а керосин или даже мазут.

Затем начинается самое интересное. Авторы добавили в бензин немного *n*-тетракозана (в его молекуле 24 атома углерода). Совсем чуть-чуть — 20 мг на 1 кг бензина, и попробовали выпарить бензин в токе теплого воздуха, причем выпарить основательно, так, чтобы масса образца уменьшилась в 15 или даже в 700 раз! А потом проанализировали остаток. Аналогичный опыт исследователи провели с исходным, немеченым бензином.

Оказалось, что обычный анализ в принципе позволяет увидеть разницу в содержании С-24 между исходным и помеченным образцами, но она не бросается в глаза. Ведь абсолютное содержание этого вещества в бензине ничтожно — приходится искать малое на фоне огромного. Зато после испарения большей части образца в меньшей его части не заметить тетракозан практически невозможно! На хроматограмме маркированного бензина, упаренного в 700 раз, пик тетракозана возвышается над остальными, словно Эйфелева башня над Парижем, в пору ее молодости, разумеется.

Поскольку, как установили авторы, маркировать бензины можно разными *n*-алканами, от С-20 до С-30, то теперь ничего не стоит добавить в бензин прямо на производстве следовое количество этих веществ (в каждую партию — смесь индивидуального состава), и дело в шляпе! Такая маркировка будет скрытой, устойчивой, и обнаружить ее будет просто, причем как в самом бензине, так и в его остатках после хранения или



даже в продуктах сгорания. А это, в свою очередь, поможет криминалистам решить целый ряд задач. Например, выявить каналы реализации фальсифицированного и ворованного бензина. И если понадобится, установить, каким именно бензином пользовались преступники, например, при поджоге.

## экология

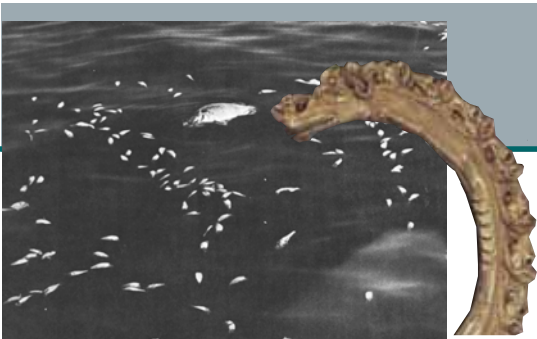
### Электронный язык в сточной воде

*Химики Санкт-Петербургского государственного университета вместе с коллегами из римского университета Тор Вергата разработали автоматическую систему для анализа сточных вод. Это так называемый электронный язык — массив из нескольких электрохимических сенсоров, с помощью которых можно автоматически и быстро определять содержание в воде различных ионов, таких, как ион аммония, нитраты, нитриты, карбонаты, ионы тяжелых металлов и многие другие ([andrew@kl13930.spb.edu](mailto:andrew@kl13930.spb.edu)).*

Каждый год люди тратят на разнообразные нужды больше трех миллионов кубических километров пресной воды. Значительную ее часть после использования приходится чистить. Сделать чистую воду из грязной куда труднее, чем наоборот, так что приходится строить специальные предприятия по очистке городских и промышленных стоков. Но как убедиться в том, что цель достигнута, очистка прошла успешно и вода вновь хотя бы безопасна, то есть соответствует нормам? Ведь стоки — это сложные системы, содержащие множество компонентов органической и неорганической природы, и выявлять их все по отдельности практически невозможно.

Обычные методы рекомендуют определять несколько стандартных параметров: pH воды, химическое и биологическое потребление водой кислорода, содержание в ней солей жесткости (кальция и магния) и некоторых анионов, электропроводность, вязкость и так далее, а также содержание в воде целевых компонентов, если известно, что они там наверняка есть. Все эти мето-





## ТЕХНОЛОГИИ

# На пляж с дозиметром

*Уникальное устройство – дозиметр ультрафиолетового излучения – разработали и запатентовали ученые из Института проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. Новый прибор позволяет точно измерить полученную человеком дозу ультрафиолета, причем в любом диапазоне этого опасного для здоровья излучения (vdz@ipu.ru).*

ды или сложны, или трудоемки, или дороги, или требуют очень много времени для проведения анализа – или все сразу. В то же время для быстрой оценки качества воды зачастую нужен ответ на один вопрос: чистая вода или грязная и если грязная, то насколько? Решить эту проблему позволяет система из нескольких потенциометрических и амперометрических сенсоров, разработанная доктором химических наук А.Легиным и его коллегами из питерского и римского университетов. Работает эта система примерно по тому же принципу, что и человеческий язык: не выделяя каждый из компонентов вкуса, но создавая целостный образ вкуса, присущий напитку, блюду или, скажем, лекарству. Она так и называется по аналогии – электронный язык.

В данном случае ученые выбирали и создавали набор сенсоров так, чтобы их отклик на компоненты раствора позволял отличить грязную воду от чистой и показывал степень загрязненности воды, то есть эффективность ее очистки. В конечном счете у них получилась ячейка объемом в 100 мл с набором из нескольких электродов, похожих по принципу действия на электрод для определения pH, снабженная с одной стороны насосом для подачи образца и промывки системы, а с другой, на выходе, – компьютером. Последний с помощью специальной программы сначала формировал на основе сенсорных данных «образы» чистой и грязной воды на примере эталонных растворов. А затем уже на основе данных, полученных сенсорами для анализируемых образцов, относил эти образцы к разряду чистых или грязных. Интересно, что ученые в качестве образцов чистой воды использовали не какую-нибудь идеально чистую, а водопроводную воду. А вот промывали систему все-таки дистиллированной.

Одно жаль – систему ученые сделали для завода по очистке городских стоков Рима, на них же ее и опробовали. Оказалось, что электронный язык с легкостью отличает сточную воду от очищенной и позволяет оценить степень ее очистки. А кроме того, определяет концентрации вышеуказанных веществ, причем в хорошем согласии с традиционными методиками. За Рим мы, конечно, рады...

«Сердце» новинки, то есть собственно предмет изобретения, – это новый чувствительный к УФ-излучению приемник, так называемый УФ-Z-сенсор, который позволяет радикально упростить восприятие и суммирование ультрафиолета. Если в традиционных, применяемых во всем мире аналогах приходится использовать не только приемник УФ-излучения, но и усилитель сигнала, его интегратор и запоминающее устройство, то российский сенсор позволяет объединить эти функции и реализовать подход «три в одном». Этим и определяется уникальность прибора: технологии производства измерителей-накопителей УФ-излучения нет ни у одной западной компании, производящей электронные приборы.

Z-сенсор представляет собой полупроводниковую *p-n*-структуру – пластину кристаллического кремния с некоторыми добавками. Она способна воспринимать и «копить» УФ-излучение. Принцип действия сенсора довольно прост, за исключением тех деталей, которые позволили авторам запатентовать дозиметр в России, США и других странах. Под действием ультрафиолета в полупроводниковой структуре изменяется проводимость, а на величину этого изменения влияют интенсивность излучения и время облучения. «Происходит как бы накопление квантов УФ-излучения, хотя на самом деле копятся, конечно, не кванты, а сгенерированные электроны», – объясняет руководитель работы доктор технических наук, профессор В.Зотов.

Измеритель проводимости пластины (омметр), включенный в цепь, градуирован так, чтобы измерить суммарную дозу облучения за известный промежуток времени. В результате

сенсор измеряет, накапливает и запоминает общую дозу ультрафиолета, причем для этого ему не нужно внешнее электропитание.

Интересно, что напряжение требуется только тогда, когда нужно считать информацию (величину суммарного УФ-облучения во времени). Воспринимать излучение структура может и без источника питания. А когда приходит время узнать результат, полупроводник автоматически включается в цепь источника постоянного напряжения. И суммарная доза ультрафиолета появляется на экране: либо в единицах накопленной дозы облучения, выраженных в Вт/м<sup>2</sup>с, либо в относительных единицах, соответствующих полученной дозе. Для особо забывчивых авторы предусмотрели звуковой сигнал: если суммарное облучение приблизилось к опасной дозе, прибор запищит, предлагая обладателю спрятаться от источника излучения. Например, уйти с пляжа.

Между прочим, не все знают, что передозировка ультрафиолета не просто опасна, но и грозит разными бедами в зависимости от диапазона излучения. Если так называемый А-ультра-



фиолет (с длинами волн от 320 до 400 нм) вызывает скорее косметические проблемы – способствует старению кожи и образованию темных пятен и веснушек, то В-УФ (280–320 нм) чреват уже повышением риска онкологических заболеваний – карциномы и меланомы. Поэтому важно иметь возможность измерить не только суммарное УФ-облучение, но и облучение в разных УФ-диапазонах. Новый дозиметр позволяет сделать и это. Достаточно использовать фильтры, которые будут отсекают лишний ультрафиолет, и сенсор определит дозу облучения в интересующем диапазоне излучения. Это и позволит вести себя на пляже так, чтобы потом не было мучительно больно. В прямом смысле слова.

## ТЕХНОЛОГИИ

### Чистящий лед

*Чистить стены и прочие грязные поверхности можно будет льдом. Необходимую для этого технологию разработали московские специалисты из технологической компании «ПУЛЬСАР-ИНЖИНИРИНГ» (vkochergin@ipuls.ru)*

Здания и памятники, мосты и самолеты, вагоны и турбины – что общего между всеми этими столь разными объектами? Ответ прост: все они со временем покрываются слоем грязи, которую необходимо убирать. Методов очистки поверхностей люди изобрели уже предостаточно: от использования щеток и наждака до пескоструйных и гидроструйных машин. Однако применение сильной струи воды или раствора чистящего реагента далеко не всегда уместно и эффективно, а хорошо известная «пескоструйка» крайне вредна для здоровья работников, да и возни с песком много: купи его, привези, а потом еще и утилизируй после использования.

Этих проблем можно избежать, если в качестве абразива использовать временные песчинки – крошечные гранулы замороженной воды. Оказывается, такие градинки чистят загрязненные поверхности не хуже, чем струя песка или металлической дроби, а убирать после очистки их не надо – при ударе о поверхность они превращаются в водяную пыль. Технологию, в которой реализован этот гибридный подход к проблеме, разработал коллектив ученых под руководством А.В.Бухарова при участии российской технологической компании «ПУЛЬСАР-ИНЖИНИРИНГ» (Москва).

Принцип технологии, которую авторы назвали «Градобой», прост. Обыч-

ная водопроводная вода подается в модуль образования гранул, где с помощью дозатора разделяется на одинаковые мельчайшие капельки и замерзает при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$ . В результате получаются мириады круглых твердых и очень холодных шариков льда диаметром около трехсот микрон. Под действием сжатого воздуха микроградины, что называется, пулей летят к обрабатываемой поверхности, формируя мощную струю огромной очистительной силы. Заметим, именно очистительной, но ни в коем случае не разрушительной. Потому что все ледяные микрогранулы, в отличие от тех же песчинок, идеально круглые и лишены острых кромок, царапающих очищаемый материал.

Кроме того, большое значение имеет и очень низкая температура ледяного абразива. По мнению разработчиков, резкая разница температур между градинами и материалом поверхности оказывает шоковое термическое воздействие на поверхностный слой, благодаря чему грязь отслаивается лучше и качество очистки повышается.

Новая технология наряду с традиционными задачами – эффективное удаление промышленной грязи, ржавчины, органических веществ, остатков старой краски и лака с поверхностей – должна упростить процесс очистки и снизить его себестоимость. Испытания установки «Градобой» показали, что ее легко использовать и обслуживать, что она позволяет обрабатывать даже самые труднодоступные участки различных конструкций, не разбирая их на части. И еще один очень весомый плюс: установка не наносит вреда ни тому, что чистят, ни тому, кто чистит, ни окружающей среде (во всяком случае, грязного песка, как после работы пескоструйки, не остается). Правда, установка, включающая в себя

мощный холодильник на  $-70^{\circ}$ , изначально покажется не слишком дешевой. Но ведь и преимущества «Градобоя» велики, в том числе и экономические, и экологические. Так что выбирать по-прежнему приходится, как и с хлестоматийными раками: «по три рубля, но маленькие, или по пять – но большие».



## БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

### Странный полимер

*Люди выращивают лен с незапамятных времен, но до сих пор узнают о нем что-то новое. Специалисты Казанского института биохимии и биофизики КНЦ РАН и ВНИИ растениеводства им. Н.И.Вавилова (Санкт-Петербург) уже не первый год исследуют полимер галактан, который входит в состав клеточной стенки льняных волокон. Ученых интересуют особенности строения полимера и его влияние на качество волокна. Их работу поддерживают программа Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология» и РФФИ (gorshkova@mail.knc.ru).*

Волокна льна-долгунца в своем развитии проходят несколько стадий: они растут в длину, затем утолщаются их клеточная стенка, а потом они созревают. На этапе утолщения клеточной стенки в ее составе появляется галактан. Российские ученые определили его структуру. Остов полисахарида состоит из последовательно чередующихся мономеров галактуроновой кислоты и рамнозы. К рамнозе присоединяются боковые цепи, состоящие из молекул галактозы. Длина их может быть различной, иногда до нескольких десятков галактозных остатков. К тому же часть боковых цепей имеет разветвления. Структура галактана у разных растений сильно варьирует именно за счет боковых цепей.







Исследователи проанализировали 23 различных генотипа льна из коллекции ВНИИ растениеводства им. Н.И.Вавилова. В их число входили разные сорта и линии льна-долгунца, а также линии льна-межеумка. У межеумка стебель начинает ветвиться примерно с середины – этим он отличается от долгунца, стебли которого ветвятся только у самой верхушки, и от сплошь ветвистого кудряша. Через 35–45 дней после посева, когда лен быстро растет, ученые брали для анализа наружную часть стебля, в которой уже начали утолщаться волокна. Они разработали методику, позволяющую анализировать галактан на той стадии, когда полимер уже полностью синтезирован, но еще не встроен в клеточную стенку. Затем, после созревания льна, качество его волокна проверяли по стандартным методикам, соответствующим ГОСТу.

Содержание галактана в различных образцах льна различалось в несколько раз, а боковые цепочки полимера содержали от 5 до 41 единицы галактозы. И содержание галактана, и средняя длина его боковых цепей не зависели от генотипа льна и были практически не связаны с гибкостью, прочностью и линейной плотностью льняных волокон. Это странно для специфического полимера клеточной стенки льняных волокон, но исследователи полагают, что галактан, видимо, выполняет какую-то неизвестную пока функцию.

Ученые проанализировали 56 образцов полимера. Определяя длину их боковых цепей, они обнаружили удивительную подробность. Оказывается, боковые цепи – продукт блочного строительства. Принято считать, что растения синтезируют полисахариды, присоединяя к цепочке по одному моносахариду. Но синтез галактана, видимо, происходит иначе. Его боковые цепи состоят из семи звеньев, девяти, двенадцати и так далее, то есть молекулы галактозы присоединяются к боковой цепочке полимера блоками. Если так, то, вероятно, и вся молекула, а не только боковые цепи собирается из блоков. Механизм этого процесса пока неясен. Однако странный полимер, специфичный для льняных волокон, но не влияющий при этом на их качество, остается в центре внимания исследователей. И возможно, скоро мы узнаем что-то новое про одну из древнейших сельскохозяйственных культур.

## физиология

### Кому нужна упитанность будущей мамы?

*О том, что будущая мать должна во время беременности хорошо питаться, знают все. Однако не всем известно, что упитанность матерей по-разному сказывается на сыновьях и дочерях. Эти данные получили специалисты Института систематики и экологии животных СО РАН, экспериментируя на водяных полевках при поддержке РФФИ и Российской государственной программы по поддержке ведущих научных школ (galinanazarova@mail.ru).*

Как влияет физическое состояние матери в период беременности и вскармливания малышкой на рост, здоровье и продолжительность жизни потомства? Ученые исследовали этот вопрос на полевках институтского вивария. Самок регулярно взвешивали и полученные результаты сравнивали с теоретически ожидаемой массой тела. Затем исследователи проследили судьбу 257 грызунов, родившихся в ходе этого эксперимента.

С первых дней беременности самки полевок начинают накапливать жир. В ходе лактации (вскармливания потомства) они его тратят. Эти жиры во время кормления служат дополнительным источником не только энергии, но и воды, в которой остро нуждается кормящая самка. Чем упитаннее полевка на момент спаривания, тем больше жира она может накопить. Мышечный жир собирается в специальных депо матки, яичников и почек, а не висит складками на боках и пузе.

Оказалось, что упитанность матери положительно влияет на массу тела ее дочерей на протяжении всей их жизни, а на массу сыновей – только до десятидневного возраста. Масса тела отца тоже сказывается, но лишь до возраста трех недель. Такая разница удивительна: вклад матери в развитие и вскармливание малышкой неизмеримо больше. Чем жирнее мама, тем больше у нее молока и тем оно питательнее. Потому и дети у упитанных самок растут быстрее.

Физические кондиции матери влияют не только на размер потомков. Дочери жирненьких полевок размножа-

ются чаще, чем дочери худощавых матерей. Репродуктивный успех сыновей от жирности родительницы не зависит, зато зависит продолжительность жизни. Дольше всех живут те самцы полевок, чьи матери во время бере-



менности имели упитанность ниже средней, а в период лактации – выше средней.

Но не жирностью единой живы полевки. На рост их потомства влияет календарный месяц рождения. Детеныши, рожденные в начале сезона размножения (то есть в марте), в первые месяцы жизни развиваются быстрее и сохраняют это преимущество во взрослом состоянии. Имеет значение и размер выводка. Сыновья в большом помете рождаются мелкие, а на размер дочерей количество детенышей в помете не влияет. Вероятно, для самцов условия развития в больших выводках менее благоприятны, чем для самок, и это проявляется уже в эмбриональном периоде. Когда юные полевки начинают питаться самостоятельно, отрицательное воздействие большого выводка сказывается на размере всех детенышей, а в более старшем возрасте разницы не видно. Кроме того, многочисленный выводок сокращает жизнь сыновьям, но не дочерям. Чем больше в выводке сыновей, тем они мельче и тем крупнее их немногочисленные сестры.

Физическое состояние материнского организма очень важно для продолжения рода. Оно влияет на массу тела, готовность к размножению и продолжительность жизни потомков. Влияние это зависит от пола детенышей. Отдельные закономерности, обнаруженные новосибирскими исследователями, свойственны и некоторым другим видам млекопитающих. Есть вероятность, что они справедливы и для человека.







# Мои первые шаги в космонавтике



Доктор  
технических наук  
**В.П.Селезнев**

## Мобилизация сил

В Академии Жуковского сложилась интересная традиция: каждый преподаватель должен был, кроме основных курсов, читать лекции по своей тематике, лично разработанной, выстраданной и развиваемой им как новое научное направление. У меня такой тематикой, или «хобби», была астрономическая навигация и комплексные системы навигации.

Это были 50-е годы. Мы, преподаватели, хорошо знали о том, что в стране идет активная работа по ракетной технике. Но о космонавтике разговора почти не было, так как это было еще далекой перспективой. Однако «наверху» уже было принято решение сказку сделать былью. Академии наук поручили начать работы в этой области и в первую очередь разыскать среди ученых тех, кто мог бы участвовать в этом деле. Об этом мы не знали.

Итак, за два года до пуска первого искусственного спутника Земли начались поиски нужных людей. Уполномоченный представитель Академии наук (сотрудник Ленинградского института электромеханики АН СССР Виктор Павлович Петров) приехал в Москву и обратился в штаб ВВС с просьбой – помочь ему найти нужных специалистов. В штабе переполошились: у них таких не нашлось.

Тогда начали искать в частях и академиях ВВС. Откликнулась только ВВИА им. Жуковского – там нашелся один «звездочет», который занимался астронавигацией. (Это увлечение автора в академии, мягко говоря, не приветствовали: считали бесполезным прожектерством, пока на космическую тематику не стали выделять большие деньги, а руководителей работ награждать. – *Примеч. ред.*) Для этого срочного и фантастического дела меня пригласили в штаб на экстренное заседание под председательством главкома ВВС. В.П.Петров доложил о том, что в ближайшие годы предполагается штурм космоса и для этого нужно решить множество проблем, в частности создать космические навигационные системы и автopilоты. Для всех присутствующих это было полной неожиданностью. Маршал обратился к нам с вопросом: «Ну что, академики, можете ли вы предложить что-либо для космических кораблей?» Я сказал, что некоторые проблемы навигации и управления космическими летательными аппаратами в Академии Жуковского рассматривались, но конкретные разработки можно показать только в наших научных лабораториях. Было принято решение: направить Петрова в академию.

Виктора Павловича у нас встретили с почестями и приказали мне ознакомить его с лабораторией астронавигации. Я стал демонстрировать ему нашу технику. Такого набора новейших образцов астроориентаторов не было ни в одном учебном заведении страны. Объясняя принципы действия этих устройств, я заметил, что их нельзя рекомендовать для установки на космические

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

корабли, так как у всех авиационных астроориентаторов применяется маятниковая вертикаль, которая в условиях космического полета (в невесомости) не работает. Петров удивился и спросил: «Что же делать?» Мне пришлось рассказать ему о моих задумках. Петрову они понравились, и, обсуждая их, мы пришли ко мне домой и долго разговаривали.

Итак, деловой контакт был налажен. С этого момента у нас началась непрерывная и весьма упорная работа в космонавтике. Петров в первую очередь организовал мою встречу с президентом АН СССР академиком М.В.Келдышем. Узнав, что я специализируюсь по астрономической навигации, Мстислав Всеволодович попросил изложить мои взгляды на перспективы развития таких систем при использовании их на космических летательных аппаратах. При этом он сказал, что специалистов в этой области «держит за горло» одна проблема: как при невесомости определить направление вертикали (вектор силы тяжести); без этого навигация невозможна. Я объяснил ему, как можно было бы определять вертикаль в условиях невесомости, основываясь на свойствах гироскопов, а также некоторых особенностях орбитального полета КЛА.

– Но можно ли реализовать эту идею на практике? – спросил академик.

– Подобных систем в мире еще не существует, – ответил я, – но для реализации есть все основания: нужно создать гироскопическую платформу, которая будет сохранять угловую ориентацию вертикали относительно этой системы координат, а для этого необходима информация о координатах местонахождения КЛА на орбите и скорости его движения.

– Но все эти данные обычно имеются, так как полет по орбите прогнозируется с высокой точностью по законам небесной механики.

– Если такая информация будет на борту КЛА, – продолжал я, – то «система астрокинематической навигации» (это мое название) выполнит все поставленные задачи.

– Похоже, что эта тайна небесной механики вами раскрыта, – с удовлетворением произнес Келдыш. – Поздравляю вас с удачной идеей и советую немедленно приступить к ее реализации. Всю необходимую помощь со стороны АН СССР я гарантирую.

Чтобы убедиться в выполнимости моих предложений и приобрести сторонников, которые смогут поддержать нас на всех этапах тернистого пути – от идеи до конструкции системы навигации, Келдыш предложил обсудить все это на ученом совете одного из НИИ Академии наук.

В скором времени предложение Келдыша было осуществлено. В НИИ, который возглавлял академик Борис Николаевич Петров, на ученом совете был заслушан мой доклад о научных основах построения систем астрокинематической навигации КЛА и после обсуждения одобрен и рекомендован для использования в космонавтике.

В Ленинграде по указанию М.В.Келдыша в 1955 году

была создана научная группа под руководством В.П.Петрова для реализации моих предложений – 28 человек, все выпускники Ленинградского политехнического института. На первой встрече с ними я рассказал о предстоящей работе и, желая заинтересовать молодых людей, пообещал им, что в течение первой недели помогу каждому из них подготовить заявку на изобретение. Кроме того, поскольку наша работа будет творческой и результаты сразу будут внедряться, то ее участники в течение двух-трех лет смогут защитить диссертации. На себя я взял научное руководство, а на Петрова возложили «пробивание» научных результатов в практику. Мои предложения были встречены с восторгом и, конечно, с некоторым недоверием. Пришлось поднатужиться и помочь им разработать 28 заявок на изобретения, а лично для себя в соавторстве с Петровым – еще несколько штук.

В Комитете по изобретениям такая куча заявок, поданных одновременно от одной организации, вызвала удивление. Больше половины из них получили отказ – видимо, на всякий случай. Пришлось подключить к этому делу самого Келдыша. Он при мне по телефону устроил головомойку председателю госкомитета, и нам прислали авторские свидетельства по всем заявкам. Замечу еще, что все участники этой группы в течение трех лет защитили кандидатские диссертации, а одна из них – талантливая девица – докторскую. Работа ленинградской группы В.П.Петрова завершилась успешно. Теоретические результаты и макеты астрокинематической системы были рассмотрены и приняты комиссией АН СССР во главе с М.В.Келдышем, в составе которой были академики Б.В.Раушенбах и А.Ю.Ишлинский.

Вскоре произошло еще одно событие.

## Первое «учредительное» собрание деятелей космонавтики

Мне сообщили, что я приглашен в президиум АН СССР на специальное заседание как специалист по космической навигации. При этом мне рекомендовали подготовить некоторые соображения о перспективах развития этого вида техники. В назначенный срок в президиуме собрались представители науки и промышленности (министры, руководители фирм и др.). «Главный теоретик» М.В.Келдыш (так его называли газеты, без указания фамилии) открыл заседание и изложил программу освоения космоса в нашей стране и планы США в этой области. Он заявил, что США в ближайшие годы готовят запуск космического объекта, предполагая обогнать нашу страну на 10–15 лет. Главный теоретик поставил от имени правительства задачу: Академии наук вместе с промышленностью следовало сделать рывок вперед и запустить первый искусственный спутник Земли (ИСЗ) раньше США на 2–3 года – это будет для них большой неожиданностью.

Затем он обратился к присутствующим:

– Есть вопросы?

Первый вопрос задал какой-то министр (кажется, радиосвязи):

– Как же спутник будет летать вокруг Земли без крыльев?

Стало ясно, что многие ничего не знают о космонавтике. Главный крикнул и спросил аудиторию:

– Кто читал книги Циолковского?

Многие наклонили головы и потупили глаза.

– Все ясно, – сказал Главный, – давайте рассмотрим основы космонавтики.

Он взял кусочек мела (до этого он рисовал на доске схему ИСЗ) и начал излагать основы этой науки:

– Вообразите, что я брошу камень в горизонтальном направлении с некоторой скоростью – он полетит по параболической траектории и упадет на землю. Всем это ясно?

Все закивали головами.

– Теперь, – продолжил Главный, – я брошу камень сильнее, и он полетит дальше и также упадет на землю. Нет возражений? – спросил он. Возражений не было. – Наконец, я брошу камень с первой космической скоростью, около 8 км/с, тогда он будет тоже падать, но так, что его траектория охватит весь земной шар. При этом сила тяготения будет уравниваться центробежной силой. И если космический аппарат будет лететь в космической среде с такой же скоростью, то крылья ему будут не нужны.

Убедившись, что все поняли и вопросов больше нет, Главный заявил, что курс космонавтики закончился и мы можем штурмовать звездное пространство («курс» продолжался около трех минут). Все радостно стали аплодировать, усвоив азы небесной механики. А дальше пошел деловой разговор.

Первым выступил генеральный конструктор С.П.Королев. Он заявил, что его фирма хоть сегодня готова поставить ракету с полезным грузом в 200 кг. Эту цифру Главный записал на доске. За ним выступил второй ракетчик, который начал плакаться, что ему нужно еще два-три года для создания требуемых ракет. Третий ракетчик (очень известный и почитаемый) сказал, что на его шее висит груз – обслужить всю земную поверхность, кроме территорий стран Варшавского договора, по крайней мере, тройным ударом; однако, если потребуется, он поможет решить поставленную задачу.

После этого выступали министры. Связист заявил, что поставит на спутник радиостанцию весом более одной тонны. Приборист – что вес измерительной техники не превысит 800 кг. Аналогичные «вклады» сделали представители других министерств. Потом наступила моя очередь изложить научные и технические проблемы, которые требовалось решить в области космической навигации и ориентации космического корабля.

Главный записывал все предложения на доске, а потом подвел итог. Оказалось, что вес предложенной «начинки» не помешался даже в пульмановский вагон! Вывод был такой: наша промышленность страшно отстала и американцы вполне обоснованно предполагают обогнать нас на 10–15 лет. Но нам требовалось решить поставленную задачу: за год-два преодолеть отставание и



1

1959. В.И.Селезнев на занятиях с летчиками



осуществить запуск искусственного спутника Земли раньше, чем это сделают в США. Дальнейшие события показали, что эту задачу удалось выполнить.

В Академии наук был создан Совет по проблемам космонавтики. Его возглавил академик Б.Н.Петров, в состав этого Совета включили и меня. На заседаниях обсуждались в основном проблемы автоматизации и навигации КЛА.

Ко мне обратились М.В.Келдыш и С.П.Королев с предложением перейти работать из Академии Жуковского в ракетный НИИ. Однако командование ВВС отвергло это предложение. В дальнейшем мне пришлось работать в роли консультанта и совместителя, наблюдая, как мои изобретения и научные разработки внедряются и используются на космических объектах.

Накопленный в этой области опыт оказался очень полезным не только для выполнения научных работ в Академии Жуковского, в ОКБ и в НИИ промышленности, но и для подготовки космонавтов. Встречи с космонавтами и обучение их новым курсам в дальнейшем позволили мне реализовать запас своих знаний, а также изучить загадочные явления, с которыми сталкивался человек в космическом полете (об этих явлениях будет рассказано в следующем номере журнала. – *Примеч. ред.*).

## В царстве ракетостроения

Этот период в развитии космонавтики был решающим: научные организации и опытно-конструкторские бюро напряженно трудились над созданием ракетно-космической техники, чтобы вывести летательные аппараты в звездное пространство. Трудно себе представить, сколько научных и инженерно-конструкторских проблем пришлось решать в эти горячие дни. О событиях того времени многое можно узнать из книг Ярослава Кирилловича Голованова. Кое-что из этих космических забот досталось и на мою долю.

На фирме С.П.Королева возникли трудности: созданная ими ракета-носитель могла вывести на орбиту спутник весом не более 200 кг, а разработать его не удавалось. Фирмы-смежники не желали сдаваться и предлагали явно непригодную по весу аппаратуру. Для разрешения этого научно-технического конфликта Келдыш направил меня к Королеву. Надо было найти приемлемое решение.

Попав на территорию фирмы в Подлипках, я был приятно удивлен: многие ее сотрудники оказались моими однокашниками, в довоенное время мы вместе учились в МВТУ им. Баумана. Сергей Павлович встретил меня очень приветливо и сразу же предложил участвовать в работе фирмы в качестве научного консультанта. Я согласился. Вместе с его заместителями мы рассмотрели функциональные схемы вариантов искусственного спутника и состав их оборудования. Я заметил, что многие комплексы, предназначенные для КЛА, почти полностью копируют оборудование самолетов, в то время как их задачи различны. Значит, можно все лишнее убрать, а оставить только необходимое. «Оптимальный минимум», – пошутил Королев. Подсчет суммарного веса оборудования и самой конструкции ИСЗ показал, что можно уложиться в пределы 80–120 кг. Это полностью устраивало ракетчиков. Такую удачу Королев предложил «отметить», что мы и сделали на должном уровне.

Напомню: первый ИСЗ, запущенный 4 ноября 1957 года, вписывался в установленные весовые пределы – 87 кг.

## Маленькие тайны производства

Беседы с Королевым иногда прерывались оперативными действиями: к нему в кабинет врывались без разре-



шения его сотрудники и с жаром отчитывались, объяснялись, оправдывались, требовали и т. п. Иногда генеральный срывался, начинал ругать своего подопечного, не стесняясь в выражениях. А одного электрика он сперва вытолкнул за дверь, а потом побежал за ним «расхлебывать кашу» в какой-то цех. Во время отсутствия С.П. мне удалось более внимательно осмотреть его кабинет. На стене против стола висела в деревянной, слегка ободранной рамке какая-то невзрачная фотография. Присмотревшись, я обнаружил удивительную вещь: на фото были запечатлены три человека в серых полосатых халатах с грустными лицами. Не сразу я узнал двоих: Андрея Николаевича Туполева и самого Королева.

На письменном столе под плексигласом лежала любопытная «Инструкция начальнику». Из 10 пунктов этой инструкции мое внимание привлек пункт 7, в котором отмечалось: «Начальник не должен думать, что он умнее своих подчиненных». Вернувшись в кабинет, Сергей Павлович ответил на мои вопросы. Оказывается, фотография на стене – это память о ГУЛАГе, где он и его соратники были в ссылке и работали над проектами новой техники. «Отличные условия для творчества», – горько пошутил он. А относительно пункта 7 «Инструкции» сказал:

– Я никогда и не думаю, что умнее своих подчиненных.

Когда же я заметил, что он только что жестоко отчитал своего электрика и упрекнул его в неумении решать практические задачи, Королев рассмеялся:

– Без хорошего пинка работа не закипит! А этот «несчастный электрик» – лучший в ракетной отрасли специалист по электрическим машинам.

Отмечу, что генеральный конструктор, кроме профессионального таланта, отличался необычными дипломатическими способностями, когда возникала необходимость защищать интересы фирмы в высших эшелонах власти.

Однажды, когда я беседовал с Королевым, неожиданно, явно в расстройстве, появился его заместитель Василий Павлович Мишин (впоследствии, когда Королева не стало, он возглавил эту ракетную фирму).

– Сергей Павлович! – воскликнул он. – Наши дела провалились! Правительство отказало нам в финансировании проектов космических ракет.

Что было дальше и как Королев взаимодействовал с «высшими эшелонами власти», он мне рассказал позже.

## Космическая дипломатия

– Если вы обещаете не раскрывать моих дипломатических секретов, то попробую объяснить кое-что, – сказал он, когда я спросил, как они добились финансирования программы по развитию космической техники. – Вот первый пример. Вы, наверное, заметили, что после доклада Василия Павловича о результатах своего похода «наверх», я попросил его подробно охарактеризовать отношение

каждого члена Политбюро и правительства к нашим просьбам. При этом я составлял список, где отмечал мнение каждого из них. Имея такой «банк данных», я попросил правительство о новой встрече, чтобы покаяться в грехах. В назначенный срок, примерно через неделю после разгрома, я предстал перед властью имущими и стал благодарить их за то, что они наконец объяснили нашему В.П.Мишину, что он ничего не понимает в экономике, не представляет роль космонавтики в народном хозяйстве и т. п. При этом я упоминал, используя свои записки, все критические замечания, высказанные в адрес ОКБ, восхищался и благодарил за мудрость и прозорливость каждого, за их советы и рекомендации. Руководители покрывали, улыбались, поглядывали друг на друга, показывая тем самым свое великое предначертание, знание интересов народа и мудрость.

После моей покаянной речи все бывшие критики и противники космонавтики начали меня успокаивать, ободрять, предлагать свою помощь и поддержку.

– Что же получилось в итоге? – спросил я.

– Результат был прекрасный! Растроганные и умиленные руководители не только одобрили все наши проекты, но еще и добавили значительную сумму «на ускорение научно-технического прогресса».

Замечу, что такой способ обвести вокруг пальца может быть использован при всех формах власти.

– А вот и второй пример, – продолжил Сергей Павлович. – Не так давно правительство решило наградить наше ОКБ. Для того чтобы это мероприятие выглядело как все-народный праздник, я предложил Никите Сергеевичу Хрущеву устроить митинг на центральной площади в Подлипках, где будет присутствовать много народу – жители поселка и сотрудники ОКБ. Идея торжественной встречи с народом очень понравилась Хрущеву, и он дал указание к такому-то сроку готовить митинг.

– Это был обычный митинг? – спросил я. – В чем же заключалась «изюминка»?

– Сейчас поймете, – улыбнулся Сергей Павлович. – К назначенному часу большая кавалькада правительственных машин прибыла в ОКБ, а затем почетные гости направились на площадь и разместились на трибуне. Наши мастера постарались – трибуна получилась, как у Мавзолея на Красной площади. Площадь была заполнена народом, а на крышах ближайших домов уселись любопытные мальчишки. Первым выступил Никита Сергеевич, который в своей традиционной пламенной речи поздравил коллектив ОКБ с победами в космонавтике, а также с тем, что нашей Родине удалось показать кузькину мать американцам. За ним Председатель Президиума Верховного Совета СССР Леонид Ильич Брежнев, как обычно, по бумажке прочитал Постановление о правительственных награждениях сотрудникам ОКБ. После ответной речи главного конструктора и секретаря парткома ОКБ слово дали представителю народа.

– И в этом заключался секрет всей операции? – спросил я.

– Вы угадали, – согласился Королев, – из толпы на трибуну поднялся «человек труда» – типичный рабочий: высокого роста, волосы кудрявые с проседью, пышные усы и клинообразная борода. Подобный образ рабочего мог украсить любой кинофильм, посвященный классовой борьбе и победе пролетариата в мировой революции. Он развернул плечи, поправил усы и стал четко и громко благодарить партию и правительство за заботу о благе народа, за внимание и поддержку рабочего класса, который не пожалеет сил и даже жизни, чтобы обеспечить победу на всех трудовых фронтах, включая космонавти-



2

*Ноябрь 1959. Автор постигает премудрости астронавигации (на обороте надпись: «В дебрях науки»)*

ку. Затем он обратился лично к Хрущеву: «Дорогой Никита Сергеевич! В вашем лице мы видим будущее нашей счастливой Родины, построившей социализм. Но посмотрите вокруг себя: вы видите старые бараки, дома – развалюхи, грязные улицы и оборванный народ. Мы живем в нищете и полной убогости, а люди всего земного шара почитают нас, как строителей коммунизма и покорителей космоса. Помогите нам выбраться из этой трясины!»

– Но ведь это удар по престижу Генерального секретаря ЦК КПСС и всей советской власти, – удивился я.

– Вот именно, – согласился Сергей Павлович. – Хрущев был обескуражен, а на трибуне возникла паника. Хрущев, топя ногами и махая руками, начал выкрикивать проклятия в адрес руководства ОКБ. Митинг был сорван, а разъяренная власть, прихватив с собой несчастное руководство ОКБ, устремилась в здание управления фирмой.

– И вам здорово попало? – спросил я.

– Выше всякой меры, – ответил Сергей Павлович. – Обрушив на нас поток ругательств, Никита Сергеевич приказал уволить все руководство ОКБ. Но Леонид Ильич воспротивился и предложил вначале наградить, а потом уволить. Рассвирепевший Хрущев заявил, что уволить нас – мало! Надо наказать! Эти идиоты только и думают о своей ракетной технике, а о благе народа не заботятся! «Я сейчас подготовлю соответствующий указ!» – сказал Брежнев. «Вот именно, указ! – прокричал Хрущев. – Пишите: «В связи с историческим успехом ОКБ развернуть массовое строительство жилого городка в Подлипках и обеспечить всех жителей благоустроенными домами, магазинами, школами, больницами, театрами и всем прочим». Пусть руководители ОКБ все это видят и мучаются совестью, как вопреки их воле наша партия и правительство решили проблему строительства социализма в этом городе».

И действительно, вышел указ о строительстве и реконструкции города, работы начались в больших масштабах, и теперь можно полюбоваться на красивые дома и улицы «столицы ракетостроения».

– Это здорово! – воскликнул я. – Но как удалось организовать этот цирк?

– Готовясь к этому митингу, мы выбрали главное действующее лицо – мастера одного цеха, который по внешнему виду соответствовал классическому образцу рабочего времен революции, подготовили ему текст выступления, заставили его несколько раз прорепетировать, и, как видите, «представитель народа» с блеском выполнил свою задачу. За этот успех он был мною награжден: получил квартиру в новом доме и премию.

Вот такие уроки космической дипломатии мне любезно преподавал Сергей Павлович Королев.

Обсуждая проблемы развития космонавтики, Королев не раз отмечал, что теперешние заботы – это только начало космической эры. Мы должны готовиться к пилотируемым полетам не только вокруг Земли, но и к далеким звездным мирам. Надо изучать физические возможности космонавтов в таких полетах, а также начинать крупномасштабные астрономические исследования. Для этого потребуются весьма совершенные системы космической навигации и пилотирования.

– Именно в этой части нам нужна помощь с вашей стороны, – говорил он мне.

## У другой фирмы тоже трудности

Руководитель другой фирмы Владимир Николаевич Чаломей также пригласил меня «посоветоваться о том о сем».

– Наша фирма, – сказал он, – должна обеспечить известных «потребителей» ракет тройным ударом. У нас возникла проблема: ударить-то мы можем, есть ракеты и соответствующие бомбы, а вот найти цели и попасть точно в них оказалось весьма затруднительно. Нас подводит низкий уровень развития навигационной техники – в этом суть проблемы. Помогите нам разобраться с этим вопросом. Кстати, – заметил он далее, – у нас на фирме работает Сережа – сынок Никиты Сергеевича Хрущева. Именно он интересуется решением этой проблемы, а его папаша не откажет нам в помощи.

Мы договорились, что для ведущих специалистов будут организованы курсы повышения квалификации в форме целевых лекций, консультаций, деловых игр. Так я провел у них несколько циклов лекций, это продолжалось около трех лет. Поскольку моим слушателям нужны были глубокие знания по конкретным вопросам, я применил своеобразный методический подход: в начале занятий проводил опрос слушателей и определял актуальные для них научные проблемы и первоочередные вопросы, чтобы во время лекции обсуждать и пытаться решать их. Вначале слушатели относились к такой манере обучения недоверчиво: опасались, что у лектора не хватит умения экспромтом отвечать на их неожиданные вопросы. Но, к счастью, все обошлось, и занятия приобрели форму «мозгового штурма» и «деловых игр», где ведущий, пользуясь системным методом, помогает участникам вместе находить оптимальные решения. Подобная школа творчества всем пришлась по душе. Потом я таким же образом проводил занятия по повышению квалификации специалистов ОКБ А.Н.Туполева, В.М.Мясищева, П.В.Цибина и других генеральных конструкторов. Подобный опыт обучения кадров был принят за основу и в Учебном центре повышения квалификации работников авиационной промышленности, который позднее, в 1977 году, мне поручили создать и возглавить.

Активное взаимодействие ученых-исследователей с создателями ракетно-космической техники позволило в кратчайшие сроки решать важнейшие проблемы космонавтики и тем самым ускорить освоение космического пространства.



## Деловой ученый совет

В ОКБ Королева существовал ученый совет, который не только контролировал и определял направление и развитие ракетно-космической науки и техники, но и работал как специализированный совет по защите диссертаций. В его составе было 14 академиков, в том числе и президент АН СССР М.В.Келдыш, а также главные конструкторы новой техники с учеными степенями докторов технических наук.

Чем же отличалась работа этого совета с таким мощным научным потенциалом? Замечу, что в составах ученых советов обычных НИИ, ОКБ и вузов не всегда бывает даже один академик. Когда мне первый раз поручили выступить в роли оппонента на заседании этого совета, я был очень польщен этой высокой честью. После доклада соискателя ученой степени председатель дал слово мне. По установленным высшей аттестационной комиссией традициям и регламенту, оппонент должен прочитать свой отзыв с замечаниями и обосновать свое мнение: достоин или нет соискатель присвоения ему ученой степени. Такая процедура обычно занимала 15–20 минут.

Когда я взял текст своего отзыва и начал читать, то председатель прервал мое выступление:

– Читать мы все умеем, какова оценка этой работы?

Я сказал, что работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а соискатель достоин присвоения ему ученой степени.

– Вот и хорошо, – заключил председатель, – а каково мнение других оппонентов?

Два других оппонента, не выходя на трибуну, ответили, что они полностью со мной согласны.

– Есть ли у членов совета другие мнения? Есть ли вопросы? – обратился председатель к присутствующим на заседании. В зале был слышан легкий шумок, но никто не выступил.

– Если никто не возражает, – продолжал председатель, – то прошу ученого секретаря оформить результаты голосования. Не будем тратить время на работу счетной комиссии, она свою работу выполнит и без нас. – А затем поздравил соискателя с успешной защитой.

Вот это да! Вся процедура завершилась за десять минут, вместо двух-трех часов, как это обычно бывает на других ученых советах. Мне стало понятно: в этом ученом совете работают специалисты единой ракетно-космической тематики, поэтому им знакомы все ее проблемы, они быстро в них разбираются и, заслушав доклад, практически сразу оценивают предложенную соискателем диссертацию.



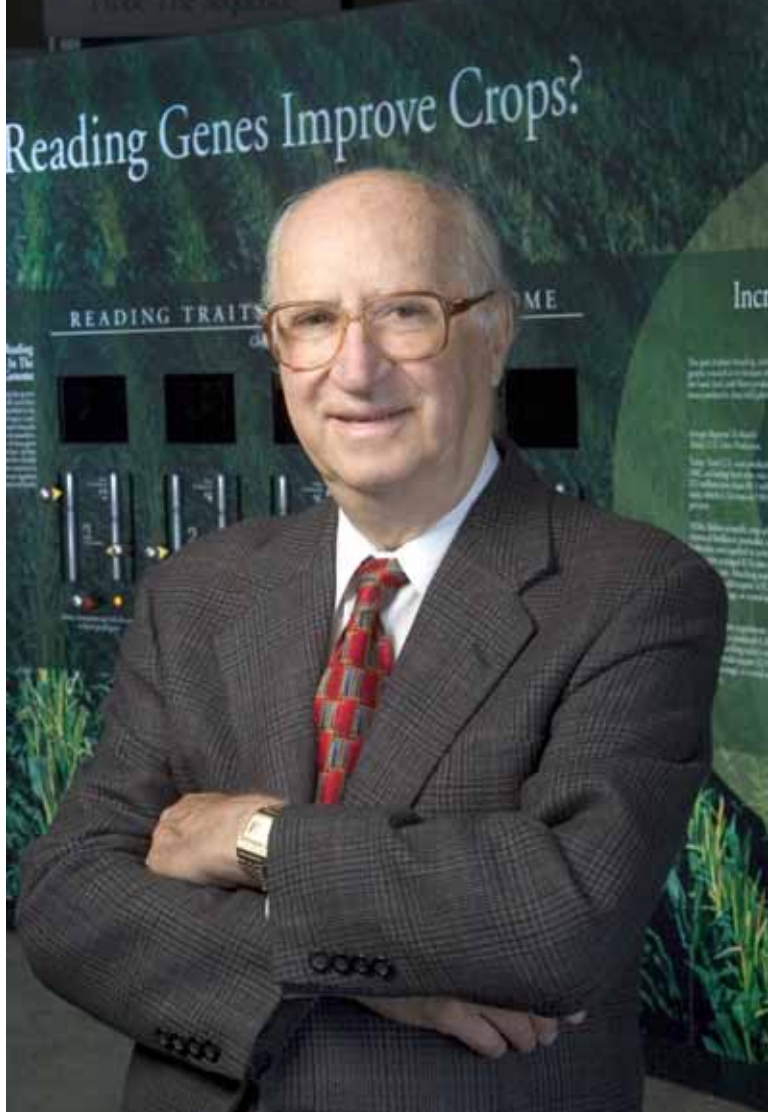


# Полвека «перчаточной» модели

**Дэниел Кошланд**

Калифорнийский университет  
в Беркли, США

*Химик-органик по образованию, Дэниел Кошланд (1920–2007) участвовал в Манхэттенском проекте – под руководством Гленна Сиборга трудился в чикагской Металлургической лаборатории над выделением плутония. После войны занялся биохимией и внес значительный вклад в энзимологию. В течение десяти лет возглавлял общенаучный еженедельник «Science», автор более 200 редакционных комментариев в нем. В статье «Катализ в живой природе и в пробирке», опубликованной в сборнике «Горизонты биохимии» (М.: Мир, 1964), он писал: «Когда мы думаем о горизонтах в науке, мы пытаемся разглядеть ту точку в смутно различимом будущем, где мир реальности встречается с миром мечты... точку пересечения линейной экстраполяции строгой науки с гиперболическими фантазиями научного воображения». Одному такому пересечению Кошланд и посвятил свое эссе. Публикуется в переводе Л.Каховского.*



В середине 50-х годов я работал в Брукхейвенской национальной лаборатории (Нью-Йорк), где изучал мышечный фермент гексокиназу. Он катализирует перенос фосфатной группы с АТФ на одну из гексоз, а именно глюкозу. Эта реакция фосфорилирования протекает практически во всех организмах, поскольку служит необходимым звеном метаболизма глюкозы.

И вот, размышляя над ней, я был озадачен таким «детским» вопросом: почему вода, которая в данной реакции может служить заменителем глюкозы и которая присутствует в несравнимо большей концентрации, не становится субстратом гексокиназы? Я начал думать о роли воды вообще и пришел к заключению, что главная трудность живых систем состояла не в том, чтобы активировать воду, когда это нужно, а в том, чтобы предотвратить реакции с  $H_2O$ , если они не требуются.

В те годы в области ферментативного катализа царила давно выдвинутая Эмилем Фишером (1852–1919) концепция «ключа и замка» с ее понятием «шаблона». В ней взаимодей-

ствующие молекулы рассматривали как твердые тела, причем часть одного из них служила слепком части другого (комплементарность).

Значит, рассуждал я, участвующие в реакции группы атомов фермента и субстрата уже изначально, до их контакта, должным образом ориентированы. Но ведь та химическая группа, которую несет «настоящий» субстрат, может встречаться у множества других молекул, например воды. И эти «лжесубстраты» будут занимать активные центры ферментов, что приведет к разным побочным реакциям, то есть к губительным для живых клеток последствиям. А поскольку такой неразберихи в них не возникает – ферментатом удается каким-то образом сохранять свою избирательность, – я все более склонялся к необходимости ревизии теории Фишера.

Важную эвристическую роль при разработке новых представлений сыграла пришедшая мне в голову аналогия с перчаткой: в исходном виде этот предмет туалета может быть свернут или смят и, только будучи надет на руку, совпадает с ней по форме. Я предположил, что между энзимом

(эластичной перчаткой) и субстратом (умеренно податливой кистью) имеют место похожие отношения: вместо контакта жестких болванок идет взаимная подгонка лабильных молекул, при этом фермент сильно изменяет свою форму, а субстрат переходит в напряженное состояние.

Ясно, что тогда  $H_2O$  уже не сможет заменить глюкозу, поскольку маленькой молекуле воды не удастся вызвать в громоздком белке нужный конформационный переход. Снимались и другие трудности старой концепции. В общем, я был воодушевлен успехами «перчаточной» модели, которую назвал «теорией индуцированного соответствия». Теперь предстояло сделать следующий шаг – вынести ее на суд специалистов.

Я понимал, какое это рискованное дело: ведь о молодом исследователе обычно судят по его первым публикациям. Если они удачны, то его считают способным и перед ним открываются радужные перспективы. И наоборот, его дальнейшая карьера может пойти кривь и вкось из-за одной-двух слабых работ. Но я уже



настолько поверил в свою идею, можно сказать, проникся ею, что решил обязательно ее обнародовать.

Помню, сначала я сделал доклад на одной конференции. Его встретили сдержанными аплодисментами, которые я расценил просто как проявление вежливости. Когда я спросил коллегу-энзимолога, что он думает о реакции аудитории, он сказал: «Дэн, если твоя теория окажется верной, ты не сможешь утверждать, что никто из слушателей не поверил в нее».

А вот журналы отнеслись к ней неодобрительно – они возвращали мою статью с примерно такой формулировкой: «Теория Эмиля Фишера уже много лет считается основополагающей, и ее не могут опровергнуть голословные утверждения никому не известного молодого биохимика из недавно созданной лаборатории». Наконец все же нашлось издание, которое согласилось опубликовать мою работу. Выйдя в свет в 1958 году, она привлекла внимание, и я получил много приглашений обсудить ее.

Принятие теории индуцированного соответствия шло хотя и медленно, но верно. Настоящий же перелом наступил после того, как в 60-х годах методом рентгеновской кристаллографии в лабораториях Томаса Стейца (Йель) и Уильяма Липскомба (Гарвард) расшифровали фермент-субстратные комплексы гексокиназы и карбоксипептидазы. Их данные подтверждали правильность моей модели, которая прояснила и другие явления, основанные на взаимном узнавании молекул, скажем, взаимодействии гормонов с рецепторами.

**Т**еперь, полвека спустя, когда эта теория вошла в учебники биохимии, поучительно оглянуться назад и проследить, как ересь превращалась в общепринятое знание.

Я вспоминаю возмущение, а затем подавленность, которые охватывали меня, когда очередной журнал отклонил мою рукопись. Конечно, новая гипотеза всегда встречает сопротивление. Но если она логична и проливает свет на плохо понятные факты, то должна, мне кажется, сразу получить хотя бы скромное поощрение: нужно

чуть-чуть уравнивать силы противоположных сторон.

Нестандартные подходы столь же необходимы для научного прогресса, как мутации для биологического. Впрочем, когда мутаций слишком много, они ведут к вырождению, о чем говорят эксперименты с особо подверженными мутагенезу линиями бактерий. Поэтому должны быть и ограничения, которые дадут возможность отобрать редкие полезные новшества.

В научной сфере отделять зерна от плевел призваны рецензируемые журналы и ведомства, выделяющие гранты. Однако они могут стать слишком консервативными, поскольку им легче зарубить смелую идею, чем пойти на какой-то риск. Когда в 1985 году я стал главным редактором «Science», личный опыт, полученный в молодости, часто побуждал меня вставать на сторону нонконформистов. Загвоздка в том, что в сегодняшних исследо-

ваниях с их широким фронтом и возросшей специализацией очень трудно отличить невероятную истину от заблуждения.

Остается надежда, что само многообразие журналов и фондов, конкуренция между ними защитят нас от ведущего к застою монополизма и что яркая мысль, не понятая в одной редакции, найдет признание в другой. Вообще, наука – саморегулирующаяся система, в которой все ценное так или иначе пробивает себе дорогу. Мы же обязаны делать все от нас зависящее, чтобы максимально ускорить этот процесс.

Так что не будем отвергать с порога новые идеи. Даже если они грозят пошатнуть нашу любимую догму.

«Nature» (2004, т. 432, с. 447)



*Архив «Химии и жизни» за 42 года – это более 50 000 страниц, рассказывающих о современной науке, о том, как ее делают, кто ее делает и зачем, а также антология фантастики и собрание великолепных рисунков. Электронный архив дает возможность поиска по ключевым словам и смысловым конструкциям.*

*Предупреждаем: архив защищен от копирования, можно переписывать только отдельные статьи и рисунки, но не весь диск.*

*Стоимость – 1350 рублей с учетом доставки.*

*Узнать подробности и заказать архив*

*можно на сайте журнала*

*www.hij.ru*

*и по телефону (499) 978-87-63.*







1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20  
21 22 23 24



# Том Первый

Ирина Истратова



ФАНТАСТИКА

Художник Е. Силина

— Ну же, открывай! — поторопил Павел Александрович. Ксюша стояла перед большой коробкой, обернутой подарочной бумагой. Брови насуплены, руки сжаты в кулачки и засунуты в карманы нарядного платья.

— Не хочу. Вы обещали мне котенка.

Елена Владимировна посмотрела на мужа и негромко сказала:

— Надо было его достать из коробки, я же говорила.

— Кого?

Павел Александрович улыбнулся.

— А ты открой и увидишь.

— Ну ладно. Но я хотела котенка, — хмуро напомнила Ксюша и дернула за кончик золотистой ленты.

В коробке лежал кот. Дымчатый полосатый кот с пушистым хвостом и желтыми глазами, вытянувшийся в прыжке, словно его выхватили из потока времени и запаяли в пластик. На коробке было написано:

## **A-Tom®**

зарегистрированная торговая марка компании Artificial Pets

Искусственный Том — выбор современного человека! Он станет настоящим другом ребенку и не доставит проблем родителям.

\* Встроенный нейропроцессор последнего поколения

\* Способность к обучению

\* Функция импринтинга

\* Дружественный интерфейс

\* Тонкая настройка поведения по Wi-Fi

\* Самостоятельно заряжается от универсального зарядного коврика

\* Специально разработанное меховое покрытие не вызывает аллергии

\* Полимерно-гелевая мускулатура придает движениям Тома естественность и приятна на ощупь

+ абсолютно бесплатно 6 одноразовых мышей в подарок!

— Папа, я хотела настоящего.

— Твой кот лучше настоящего, — ответил Павел Александрович, помогая извлечь Тома из пластиковой упаковки. — Надо только его включить. Сейчас читаем инструкцию...

Ксюша взяла Тома на руки, заглянула в широко открытые неподвижные глаза, провела рукой по жесткой спине и печально проговорила:

— Ну ладно. Будешь моим котом, Том? Ой! Он посмотрел на меня!

И хотя кот, которого Ксюша от неожиданности уронила на пол, не приземлился на четыре лапы, как настоящий, а с громким стуком упал на бок, он тут же зашевелился и встал; его движения не отличались изы-

ществом, но все же это были движения пусть неуклюжего, но живого существа, а не робота. Том обвел взглядом комнату, задерживаясь на фигурах и лицах людей, потом подошел к Ксюше, потерся о ее ногу и заурчал.

— «Чтобы включить Тома в режиме импринтинга, — прочел Павел Александрович, — возьмите его на руки, погладьте и скажите; «Том, я твой хозяин». Хм! А как вам это: «Чтобы погладить кота, проведите рукой по его спине в направлении от головы к хвосту».

— Том, пойдём, я покажу тебе нашу квартиру, — сказала Ксюша.

Елена Владимировна разглядывала рекламный буклет «Аксесуары для Тома (приобретаются отдельно)».

— Боже мой! Машина для чистки кота!

— Тут написано: «Не стирайте Тома в стиральной машине», — откликнулся Павел Александрович.

— И, Боже мой, как дорого! Ну, мы что-нибудь придумаем. А вот это можно купить. — Елена Владимировна показала мужу разворот следующего содержания:

Сменные шкурки для Тома всего за 29<sup>90</sup>.

Любые расцветки и фактуры.

На фотографии были изображены коты рыжие и белые, сиамские и персидские, в тигровых и леопардовых шубах, в кислотном прикиде и в клеточку, а один — с портретом улыбающегося малыша на боку.

— Будем стирать шкурку, — предложила Елена Владимировна. — Думаю, ей ничего не сделается. В случае чего купим новую. Так. «Многоразовый мышонок А-Джерри...»

— Мама! — в комнату вбежала возбужденная Ксюша с котом на руках. — Дай Тому мышку!

Елена Владимировна с некоторой брезгливостью взяла в руки упаковку с одноразовыми мышами. Они лежали в углублениях, словно куски пластилина или замороженные пирожки, и в отличие от Тома были выполнены грубовато.

— Как они включаются?

— «Чтобы включить одноразовую мышку, — процитировал Павел Александрович с усмешкой, — извлеките ее из упаковки и активируйте». Ну прости, Лена, не обижайся. Дай посмотрю. Вот, вроде бы так.

Павел Александрович положил мышку на паркет, и она побежала, механически стуча лапками. Том прыгнул с Ксюшиних рук и кинулся в погоню. Искусственная мышка двигалась очень быстро, по прямой, если этому ничто не мешало, и умела огибать препятствия. Время от времени она случайным образом меняла курс, но все равно ее поведение, на взгляд человека, было довольно предсказуемым. Казалось, Том тоже это заметил — теперь он бросался ей наперерез. Но мышку

была быстрее и успевала увильнуть. Тогда Том устроил засаду на столе. Бум! Он обрушился сверху, под его лапами хрустнуло. Мышь с тихим жужжанием выползла из-под Тома, проковыляла полметра и остановилась. Том тронул ее лапкой. Мышь дернулась и затихла. Том взял ее зубами и понес из комнаты.

На кухне кот остановился перед мусорным ведром, встал на задние лапы и выбросил мышью в ведро. «Неорганические отходы утилизированы», — загорелась надпись на дисплее. Том смотрел на дисплей и урчал.

— Кстати, — сказал Павел Александрович, листая инструкцию, — «не утилизируйте Тома в домашнем утилизаторе».

Одноразовые мыши быстро закончились. Ксюша выпрашивала А-Джерри. Павел Александрович научил ее делать мышку из бумажки и веревочки — дочь только вздыхала.

Павел Александрович зашел на поисковый сервер, задумался. Если набрать «недорогие мыши для искусственного кота» — пожалуй, найдется одна реклама. И Павел Александрович набрал в строке поиска: «заменитель искусственных мышей».

[Драйвера Прошивки Обучалки Описания Скачать Бесплатно для бытовой техники и искусственных животных](#)  
2. Теперь Том умеет охотиться на **живых** мышей, птиц и насекомых.

... **заменитель** фирменной утилиты настройки кота.  
[www.awares.ru/neurowares/apets/atom\\_download.html](http://www.awares.ru/neurowares/apets/atom_download.html)

Пройдя по этой ссылке, Павел Александрович попал на страничку загрузки модифицированной программы для обучения нейропроцессора Искусственного Тома.

Основные отличия от официальной программы

1. Снято ограничение срока жизни.
2. Теперь Том умеет охотиться на живых мышей, птиц и насекомых.
3. Разблокирован доступ ко всем нейроблокам.
4. Добавлена функция воспроизведения MP3-файлов.

Способ установки

Скачайте и установите на свой компьютер заменитель фирменной утилиты настройки кота. В окне утилиты откройте вкладку «Переобучение», укажите папку, в которую вы скачали модифицированную программу обучения. Отправьте кота в спящий режим и нажмите кнопку «Загрузить по Wi-Fi».

— Что это за срок жизни? — недовольно пробормотал Павел Александрович и открыл инструкцию к Тому.

«**Внимание!** — было написано там мелким шрифтом. — *Ресурс работы Тома составляет 3 года. По истечении этого периода Том автоматически отключится, и его необходимо утилизировать. Внимание! Не утилизируйте Тома в домашнем утилизаторе.*»

— Хорошо придумали — каждые три года покупать нового кота, — возмутился Павел Александрович, щелкая по ссылке «Скачайте». — Иди сюда, Том! Спи, Том.

Оказалось, вокруг много маленьких существ, которых можно ловить. Некоторые из них летали — с ними было

сложнее. Но Том учился, и у него получалось все лучше. Существа были одноразовые; Том выбрасывал их в домашний утилизатор или в урны на улице. На урнах при этом загорались большие буквы: «СПАСИБО!» Тому очень нравилось смотреть на них.

Ночью кот сворачивался в клубочек на зарядном коврик рядом с роботом-пылесосом. От стирок его искусственный мех сваялся и местами вылез; под мышкой проступила надпись «Made in China». Павел Александрович пытался заказать для Тома новую шкурку, но их уже сняли с производства.

Вышла следующая версия искусственного кота — А-Том II. Новый Том работал на азотоводородном топливном элементе со съёмным картриджем, который раз в месяц надо было заправлять на автозаправке или в заправочном автомате в супермаркете (так когда-то, когда Павел Александрович был маленьким, в гастрономах автоматы наливали подсолнечное масло в бутылки). Том Второй поддерживал постоянную температуру тела и был теплым на ощупь. Его мышечные волокна делали из нанотрубок, шерсть на загровке могла становиться дыбом. Но такая шкурка не подходила для Тома Первого.

Том был создан для охоты: он умел замирать в абсолютной неподвижности и от него не пахло хищником. Одноразовых живых существ вокруг становилось все меньше. На засыхающем тополе, который рос во дворе, свила гнездо старая осторожная ворона. Это была опасная дичь. Она сбросила Тома с дерева и всего исколевала, но кот придушил ее, дотащил до урны и только тогда упал.

В фирменном сервис-центре «А-Pets» чинить Тома отказались. Павел Александрович с трудом нашел через Интернет частного мастера и теперь ехал по адресу; Том, завернутый в пакет, лежал в его портфеле.

Мастер встретил Павла Александровича в проходной. Это был высокий человек лет сорока, сутулый, с обильной сединой в густых волосах.

— Олег, — представился он, протягивая для рукопожатия широкую худую ладонь.

— Павел.

— Паспорт захватили? Давайте, надо выписать пропуск.

Когда-то это здание занимал научно-исследовательский институт. Институт существовал и по сей день, но словно бы мумифицировался — жизненные процессы остановились, только и осталось, что каркас и ритуал: режим секретности, пропуска, лаборатории, сотрудники которых работали здесь же в фирмах, и хорошо если эта работа имела хоть какое-то отношение к институтской тематике — тогда можно было пристегнуть ее к отчетности.

Олег провел Павла Александровича через стерильное царство стекла, пластика и металла, освещенное диодными лампами, с видеокамерами, биометрическими терминалами и турникетами, затем — по полутемным, запутанным коридорам с рядами обшарпанных дверей, по техническому этажу под сплетением облезших труб, мимо больших агрегатов в пыльных чехлах, сквозь раздевалку с выцветшими плакатами, изображающими людей в костюмах химической защиты.

— Проходите, пожалуйста. — Олег толкнул хлипкую дверь со старинным кодовым замком.

Павел Александрович сощурился, ослепленный светом из огромного окна.

— О, черт! — Олег кинулся к окну, на бегу двинув ногой по полуоткрытому ящику тумбочки; Павел Александрович успел разглядеть десятка два сотовых телефонов. За стеклом на подоконнике рядом сидели воробьи.

— Воробьеботы! — ругался Олег, опуская жалюзи. — Всюду суют свой нос, а?

— Простите, — сказал Павел Александрович, — где здесь туалет?

— Метров двадцать назад по коридору. Кота оставьте.

— Я быстро, — сказал Павел Александрович.

Закрывшись в кабинке, Павел Александрович достал карманный компьютер — беспроводная связь работала — и открыл страницу поиска.

#### [Город получил в подарок миллион искусственных воробьев](#)

...речь, мэр символически выпустил **искусственного** белого голубя.

**Искусственные воробьи** будут не только уничтожать насекомых-вредителей...

[www.megapolisnow.ru/news/276890.html](http://www.megapolisnow.ru/news/276890.html)

#### [Журнал «Думай сам»: новости и аналитика](#)

Город получил миллион **искусственных воробьев** — сколько миллионов получили чиновники?

...благоустройство города, выселение асоциальных элементов», — заявил **Ю.С.Воробьев**.

[www.dumajsam.ru/index.html?100863](http://www.dumajsam.ru/index.html?100863)

Олег надел резиновые перчатки и осторожно извлек Тома из пакета. Сквозь дыры в шкуре виднелись белые пластиковые кости, шерсть слиплась и побурела от вытекшего геля. На столе были разложены инструменты, похожие одновременно на слесарные и на хирургические. Павел Александрович отвернулся и стал разглядывать стеллаж. Нижний ярус занимали какие-то полуразобранные приборы, компьютеры, опутанные трубками систем охлаждения, биноклярный микроскоп, картонные коробки, заполненные деталями роботов. На полках стояли и лежали толстые потрепанные книги в бумажных переплетах, посвященные неалгоритмическому программированию. Тихо шуршали компрессоры.

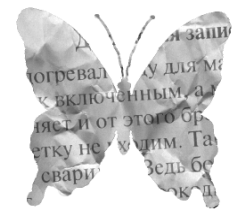
— Я подлатал вашего кота. Но по-хорошему ему давно пора на свалку.

— Понимаете, у меня маленькая дочка... — Павел Александрович вздохнул. Подумал: «А ведь Ксюша уже не маленькая».

— Тем более. Вы в курсе, что тут за аккумулятор? Когда начнет разрушаться электролит, мало не покажется. В нем, во-первых, загерметизирован литиевый электрод, и, если внутрь попадет кислород из воздуха, ваш кот сгорит или взорвется. Во-вторых, добавки, понижающие температуру стеклования, для увеличения электропроводности... Вся эта гадость полезет наружу.

— Взорвется?! — возмутился Павел Александрович. — И как они такое вообще продавали?

— Ну, три года вы могли не волноваться, верно? — усмехнулся Олег. — Хотя «А-Pets», по-моему, перестраховались. Следите, не станет ли кот часто бегать на перезарядку. Может, обойдется, может, он просто от-



## ФАНТАСТИКА

ключится, и все. Но лучше примите меры.

— Что же делать? Вы можете заменить аккумулятор на новый?

— Только вместе с котом. Аккумулятор распределен по всему телу: в костях, в голове, в пустотах туловища.

— А если как-нибудь переписать моего Тома в Тома Второго?

— Я бы не советовал. Видите вытяжной шкаф? Я Второго вскрываю только там. Рвутся мышечные волокна — разлетаются нанотрубки. А топливные элементы на гидразине? Эх! Лучше подарите ребенку настоящего котенка.

— Спасибо, — сказал Павел Александрович. — Сколько я вам должен?

— Она жила здесь? — спросила Алена, осматривая обстановку.

— Нет, это квартира досталась мне от родителей, — ответил Павел Александрович. — А ты мы решили не делить.

Алена поджала губы.

— Очень благородно.

Она сняла с полки электронную фотографию в рамочке, на которой молодой Павел Александрович обнимал улыбающуюся Елену Владимировну, а на переднем плане стояла Ксюша с котом на руках.

В комнату, прихрамывая, вошел Том, остановился, пристально посмотрел на Алену.

— Это мой кот Том. Том, это моя жена Алена. Теперь она твоя новая хозяйка.

— Ну уж нет! — фыркнула Алена. — Такой облезлый — ужас! А у меня аллергия на искусственную шерсть. Почему бы твоей дочери не взять его себе? Это ведь ее кот.

Павел Александрович замялся.

— Ну, Ксения уже взрослая, другие интересы... А мне кот нравится.

— Павлик, ты посмотри на него! А если гости придут? Нет, надо избавиться от всякого старья и сделать приличный ремонт.

Алена нажала на кнопку сброса, и фотография в рамке сменилась изображением корзины с цветами.

Павел Александрович нашел предлог остаться дома. Опять не смог себя пересилить. В этих молодежных компаниях ему было неуютно. Разговоры казались пустыми, часто — непонятными. Он ощущал себя морально устаревшим девайсом, не поддерживающим современных протоколов.

Он снял с антресолей большую коробку из-под обуви. Бережно вынул Тома и зарядный коврик, включил в сеть.

— Проснись, Том.



Пока Том заряжался, Павел Александрович достал оттуда же, с антресолей, зачитанную бумажную книгу, пачку сигарет, пепельницу. Перевел кондиционер в режим вентиляции, отключил глупый домашний компьютер, чтобы не звонил «01», закурил. Хотел задернуть штору — рука схватила пустоту. Плюнул, развернул кресло спинкой к окну. Сквозь затемненное стекло с поляроидным нанопокрытием смотрели воробы.

Том подошел, поднял морду, заглянул в глаза, потерся о ногу.

— Ты совсем не изменился, Том.

Павел Александрович отложил книгу, взял кота на руки, стал медленно гладить. Том заурчал. Все было почти как прежде. Казалось, стоит только сделать мысленное усилие, и прошлое, спрятанное в глубинах настоящего, вернется. Том, нарядный и неуклюжий, навострит уши, из коридора донесется детский смех, и даже... может быть, Лена подойдет и встанет за спиной, опустит руку на плечо.

Это было мучительное переживание...

Павел Александрович раздавил сигарету в пепельнице.

— Хватит, — сказал он. — Сколько можно? Пршлому место на свалке.

Он начал с книжки. Потом в мусорное ведро отправился зарядный коврик.

Долго заворачивал Тома в пакет, обматывал скотчем — словно так ему легче отправиться в последний путь. На экране загорелось предупреждение:

Ошибка утилизации		
Невозможно утилизировать объект в домашнем утилизаторе.		
Отправить объект в центр утилизации?		
Да	Нет	Помощь

Палец Павла Александровича на секунду замер над «Да» и опустился на кнопку «Помощь».

Справка
Стоимость утилизации объекта составляет 2 550 <sup>00</sup> .
Заккрыть

— Какого черта? Это в пять раз больше, чем я за него заплатил!

Павел Александрович положил Тома в портфель, решительно надел пальто и вышел на улицу.

Чтобы выкинуть искусственного кота где-нибудь за городом, требовалось сначала попасть на вокзал. Толпа профильтровывалась сквозь пропускные пункты, медленно втягивалась в створы магниторезонансных интроскопов, и повсюду стояли омоновцы в зеркальных шлемах, с ног до головы в тяжелой броне, под которой с трудом угадывалось человеческое существо.

Сначала, толкаясь в очереди, Павел Александрович чувствовал только раздражение. Потом ему вдруг отчего-то стало не по себе. Он достал карманный компь-

ютер и в строке поиска ввел: «Выбросить искусственное животное (последствия | ответственность | опасно | арестуют)».

[Власть наконец признала: искусственные животные опасны](#) | Гринпис России

...принят закон, запрещающий **выбрасывать искусственных животных...**

...большие штрафы или привлечены к уголовной **ответственности...**

[www.greenpeace.org/russia/ru/news/9726021](http://www.greenpeace.org/russia/ru/news/9726021)

[Искусственные животные — неуправляемые террористы-смертники?](#)

...взрывом **выбросило** из автомобиля. Пока никто не взял на себя ответственность...

...или мыш, пронесет свою **опасную** начинку сквозь любые кордоны?

[www.megapolisnow.ru/news/530034.html](http://www.megapolisnow.ru/news/530034.html)

[Опасные рецепты — 8](#)

...купи в аптеке или распотроши **искусственное животное**. Их сейчас много выбрасывают.

[sdelajbum.livejournal.com](http://sdelajbum.livejournal.com)

Высоко подняв плечи, Павел Александрович шел по пустынной улице. Рука, сжимающая ручку портфеля, заоченела. Он склонил голову к поднятому воротнику, а ветер бросал мокрый снег в лицо, под ноги, в залитые водой выбоины асфальта, на сырые, разрушающиеся фасады зданий в длинных темных потеках. Окна лестничных площадок были разбиты и заделаны фанерой. Уже смеркалось, но нигде не горел свет. Бронированные жалюзи, опущенные на витрины магазинов, расписаны граффити. Живые затаились в своих убежищах от холода и опасности, разлитой во влажном воздухе, и только искусственные воробы механически сновали по улице, подбирая размокшие окурки. «ПАС БО! ПАС БО! ПАС БО! — вспыхивали дисплеи на урнах. — ПАС О! ПАС О!»

Влажный ветер пронесился сквозь трехмерное рекламное табло, снег завихрялся и вспыхивал в лазерных лучах. «Новая революционная технология! Больше никакой утомительной замены топливных элементов!» Красивая женщина, улыбаясь, высыпала из коробки кошачий корм, и кот устремлялся к миске, благодарно скользнув вдоль изящной ноги. «А-Том® III обожает эти хрустящие кусочки, приготовленные из наполненных водородом нанотрубок!»

Кто тут покупал искусственных животных? Здесь экономили на свете и воде, не могли скопить на капитальный ремонт, на вечернее освещение улиц. Во всей округе не было ни одного заправочного автомата. Возможно, реклама могла заинтересовать владельцев автомобилей, но они мчались по магистрали на предельной скорости, стремясь скорее миновать эти гиблые места. Свет фар расплывался в сыром снежном мареве, сочился сквозь ресницы сощуренных глаз, и огни сливались в сплошной поток. Казалось, это сияющая река времени течет мимо темных берегов прошлого.

Городские власти давно обещали принять меры. В ближайшее время собирались поставить блокпосты, чтобы в благополучные районы не проникали отсюда наркоманы, уличные грабители, торговцы контрафактной про-

дукцией, безработные, недовольные и просто люди непрезентабельного внешнего вида. Но пока... Павел Александрович собирался воспользоваться ситуацией.

В подземном переходе, укрывшись от непогоды, стояла женщина в бесформенном пуховике и дутых сапогах. В тусклом, мерцающем свете с трудом можно было разглядеть табличку: «Скупка б/у техники». Под потолком и на ступенях сидели воробьи. Редкие прохожие спешили мимо. Падали и гулко разбивались о выщербленный пол крупные тяжелые капли.

— У меня А-Том один, — отрывисто сказал Павел Александрович. — Сколько?

— На ходу?

— Что? А! Да.

— Продемонстрируйте.

Павел Александрович долго распаковывал Тома, женщина равнодушно наблюдала. Синеватые тени лежали на плохой коже, помада казалась черной.

— Том, проснись. Пройдись вон до лестницы и обратно.

Удивленно оглядываясь, кот заковылял по лужам.

— Семьдесят, — сказала женщина.

— Сто.

— Вы, похоже, не понимаете.

В ее руках появился какой-то предмет. Павел Александрович отпрянул. Эхо хлопка прокатилось по пустынному коридору; оседая, закружилось сине-серое облако конфетти.

— Они пока на это ведутся. — Женщина кивнула в сторону воробьев, которые разлетались, унося бумажки. — Так вот. Это вы мне платите деньги — не я вам.

— Разве?

— Давайте начистоту. Хотите пристроить животное?

— Ладно, — сказал Павел Александрович, — ладно. А тут нет ничего незаконного? Что вы с ним сделаете? Я не хочу проблем.

— Ну что вы! — Она недобро улыбнулась. — Ваш кот тихо-мирно доживет свой век на природе. О нем позаботятся. — Женщина достала из кармана фотографию. — Видите, это питомник для искусственных домашних животных. Само собой, на содержание требуются деньги.

Фотография была бумажная, и при таком освещении почти ничего разглядеть не удалось. Какой-то дом, деревья... Павел Александрович отсчитал купюры. Хотел было погладить Тома напоследок. Сунул руку в карман, отвернулся.

— Ну, прощай, Том. Тебе там будет хорошо.

Темной ночью к пропускному пункту подъехал фургон. Водитель опустил стекло, автоинспектор молча принял объемную пачку, позвонил по сотовому, махнул кому-то рукой. Фургон проехал сквозь туннель интраскопа и помчался по шоссе. Свернул на грунтовку. Позади остались водородные автозаправки, круглосуточные магазины, охраняемые коттеджные поселки. Потянулись заросшие кустарником поля. По небу неслись низкие тучи, зарево мегаполиса окрашивало их в розово-серый цвет. Круглая оранжевая луна прорывалась в прорехи, и по схваченной морозом дорожной грязи змеились глубокие, причудливые тени.

Фургон остановился на поляне, из кабины вышли двое, распахнули задние двери.



## ФАНТАСТИКА

— Будем выгружать?

— Зачем? Сейчас включу их, выйдут сами.

Засветился экран компьютера. Из глубины кузова слышался стук. Куча хлама на полу зашевелилась, распалась, и странные, изломанные существа стали вылезать из фургона. Спрыгнула на землю птица с одним крылом, похрустывая, ускакала в кусты. По подернутой инеем траве прошуршал паук. Высыпались и разбежались мыши. Хромые, облезлые, скрипящие кошки и собаки разбрелись в стороны, падая и вставая, подволакивая лапы, и исчезли во мраке леса.

— Ну вот! Улики скрылись с места преступления.

В темноте раздался смех...

Том попал в странное место: много деревьев, кустов, нет домов и людей, и беспроводная сеть недоступна. Он не смог уловить сигнала от зарядного коврика и переключился в режим экономии аккумулятора. Это было обидно, но, даже охотясь по часу-два в сутки, Том за эти дни наловил столько одноразовых существ, сколько за всю предыдущую жизнь. Он складывал их в кучки и представлял, как красиво загорался бы дисплей утилизатора.

В поисках точки доступа Том продвигался все дальше. Часто наткнулся на трупы мышей, белок и птиц, пойманных другими котами, на останки более крупных животных: зайцев, лис, видимо ставших жертвами искусственных собак. Однажды Том увидел мертвого волка, затем лося. Кто бы мог убить такого гиганта?

Раздалось злобное шипение, и навстречу Тому, выгнув спину, выскочил рыжий кот. Шерсть у него на загривке стояла дыбом. Из дыры в животе на землю капала дымящаяся жидкость, словно так искусственный кот метил свою территорию. Том попятился. Рыжий бросился вперед. Том уступал в скорости, силе, координации. Металлические когти Второго рассекли ему ухо, клыки рванули плечо. Том упал, перекатился, получая новые раны, и побежал.

Он брел вдоль газовой магистрали, привлеченный радиоизлучением от коррозионных датчиков на лежащих под землей стальных трубах. По старому газопроводу гнали водород с атомных электростанций, наводороженная сталь расслаивалась и становилась хрупкой. Сигналы, которые ощущал Том, были ему незнакомы и только дразнили чувства. Сигнала от зарядного коврика не было.

Том посадил аккумулятор. Ему хотелось лечь, свернуться и заснуть, только надо было найти безопасное место. Какую-нибудь железобетонную нору, в которую забивается, чтобы умереть, искусственный зверь.

Шкура на боках висела клочьями и дымилась.

И на многие километры вокруг не было никого живого.



# Арахис

**Орех ли арахис?** Второе название арахиса – земляной орех, и все же это бобовое растение, травянистое и однолетнее. Но, в отличие от других бобовых, плоды арахиса вырастают под землей. Створки арахисовых бобов жесткие и не раскрываются, поэтому похожи на ореховую скорлупу. Сетчатый рисунок этой «скорлупы» напоминает паутину, и название «арахис» происходит, вероятно, от греческого «арахна» – паук.

**Как плоды арахиса попадают под землю?** У арахиса весьма необычные цветы. Почти все они самоопыляемые. Цветков много, но плоды дают только самые нижние. Завязь оплодотворенного цветка разрастается и образует длинный стержень, так называемый гинофор. Сначала он растет вверх, но через 5–6 суток изгибается к земле и уходит в нее на глубину 8–10 см. Там и созревают цилиндрические бобы с перехватами. В каждом бобе от двух до четырех удлинённых семян, покрытых оболочкой. Арахис – растение жарких стран, а под землей его плоды надежно укрыты от сухого и жаркого воздуха.

**Где выращивают арахис?** Родина арахиса – Южная Америка. По данным археологов, индейцы выращивали его еще в I тысячелетии до н. э. В XVI веке арахис завезли в Европу и Китай. Европейцы сразу начали выращивать необычное растение в своих колониях с тропическим климатом. Во время работорговли арахис попал из Америки в Западную Африку и быстро там прижился. Поскольку в самой Европе арахис не выращивали, а привозили из разных мест, в том числе из Китая, его долгое время называли китайскими орехами.

Относительно недавно ученые вывели холодостойкие сорта арахиса, и теперь его сажают в более северных районах, в том числе на юге Европейской России и Украины, в Закавказье и Средней Азии.

**Как собирают арахис?** При сборе урожая с арахисом обращаются как с картошкой – выкапывают вилами, плугом или картофелекопателем. Бобы сразу же отря-

хивают от земли и сушат, чтобы на них не появилась плесень. Обычно сушка продолжается 2–6 недель, в зависимости от погоды и состояния растений. И только когда влажность семян станет ниже 15%, бобы механизированно отделяют от побегов.

**Какие вещества есть в арахисе?** Семена арахиса содержат 40–60% масла и 20–37% белка. Масло на 80% состоит из ненасыщенных жирных кислот, употребление которых значительно снижает уровень холестерина в крови. Белкам арахиса свойственно оптимальное соотношение аминокислот, и поэтому организм человека хорошо их усваивает. Кроме того, арахис содержит минеральные вещества, витамины А, D, E, B1, B2, PP, E, биотин, полиненасыщенную линолевую кислоту и фолиевую кислоту, которая способствует росту и обновлению клеток, а также полифенолы – антиоксиданты.

**Какие продукты делают из арахиса?** Мы привыкли есть семена арахиса, сырые или жареные. Жареный или подсушенный арахис предпочтительнее, потому что его семена легче очистить от кожицы, богатой грубыми пищевыми волокнами, которые сдерживают расщепление не только белков, но и крахмала. Недавно американские ученые обнаружили, что полезнее всего вареный арахис. Дело в том, что его семена содержат мощные антиоксиданты изофлавоны, предотвращающие развитие онкологических заболеваний, диабета и ишемической болезни сердца. А в вареном арахисе, оказывается, содержание изофлавонов раза в четыре выше, чем в других вариантах этого лакомства. «Вареный арахис» звучит непривычно, но ведь это боб. Варим же мы горох и фасоль.

Арахис – маслянистое растение. Из тонны семян получают от 225 до 320 кг масла, по качеству сопоставимого с оливковым. Арахисовое масло используют главным образом в маргариновой, консервной и кондитерской промышленности и в аптечной практике. Худшие его сорта применяют в мыловарении.

После отжима масла остается жмых, богатый жирами и белком. Из него делают халву, добавляют в дешевые сорта шоколада, торты и конфеты. Жмых размалывают в муку, которую подмешивают к пшеничной, чтобы обогатить выпечку белком. В последние годы научились выделять из жмыха отдельные белки, которые используют для производства искусственного молока и мороженого. И наконец, популярна арахисовая паста, состоящая в основном из размолотых семян арахиса.

**Чем полезен арахис?** Арахис не только очень вкусен, но и полезен. 20–25 семян в день нормализуют функции кровеносных органов и разглаживают морщинки. Как вспомогательное средство арахис рекомендуют при повышенном содержании холестерина, бессоннице,



сильной утомляемости, а также при ожирении. Арахис весьма богат антиоксидантами – веществами, защищающими клетки организма от воздействия опасных свободных радикалов. Кроме того, арахис способен компенсировать дефицит белка, помогает при диатезе, успокаивает при повышенной нервной возбудимости и тонизирует при упадке сил.

**Что такое арахисовая диета?** Говорят, что арахисовая диета помогает сбросить лишний вес, и многие голливудские звезды с нее не слезают. Однако трудно понять, как можно похудеть, если ешь продукт, наполовину состоящий из масла: 100 граммов арахиса содержат 571 ккал.

На самом деле арахисовые диеты требуют употребления овощей, зернового хлеба, вареной нежирной курицы или рыбы, причем в небольших количествах. А арахис играет отвлекающую роль. Чтобы худеющий не озверел от голода, ему разрешают раз в день съесть две ложки арахисовой пасты, например на завтрак, с чашечкой кофе. Арахис – очень сытная еда, и даже небольшое его количество дает чувство сытости. В день человек получает не больше ложки растительного масла, что совсем немного, учитывая остальную его рацион.

**Всем ли арахис полезен?** Мы помним, что чрезмерное употребление арахиса может пагубно сказаться на талии. Но это еще полбеды. Многие люди страдают аллергией на арахис, случается, что больные умирают от анафилактического шока или впадают в кому. Исследователи насчитали в арахисе около тридцати белков-аллергенов. Не исключено, что процессы, которые увеличивают аромат и срок годности арахиса, а именно созревание, прожаривание и обработка, увеличивают и его аллергенные свойства. Размышляя о причинах болезни, некоторые исследователи предполагают, что она может быть связана в том числе с использованием арахиса в детском питании. Если очень маленьким детям, которые еще не в состоянии полностью переварить все компоненты арахиса, давать такое питание, то организм отреагирует на эти компоненты и разовьется аллергия.

**С какими продуктами сочетается арахис?** Кажется, со всеми. Во всяком случае, в кондитерских изделиях и мороженом он прекрасный компонент. Кроме того, существует огромное количество рецептов салатов, сэндвичей, супов и вторых блюд, в которые добавляют арахисовую пасту.

Арахис придает любому блюду неповторимый вкус и аромат. Поскольку растение это тропическое, то и блюда из него зачастую готовят экзотические. Попробуем выбрать несколько рецептов, которые можно приготовить из более-менее обычных продуктов.

На первое будет острый гороховый суп с арахисом. стакан сухого гороха замочите на 8–10 часов. В большой кастрюле потушите в масле измельченные головку репчатого лука и три зубчика чеснока, добавьте горох, четыре стакана воды, две столовые ложки соевого соуса, полчайной ложки перца чили и варите под крышкой на медленном огне часа три, пока горох не станет мягким. Потом его надо растолочь толкушкой или измельчить в блендере, чтобы получилось пюре, и густо посыпать рубленым арахисом и зеленым луком

На второе приготовим свинину с сыром и арахисом. Мякоть свинины (400 г) надо разрезать на кусочки и обжарить на сковороде в сливочном масле по три минуты с каждой стороны. Потом свинину приправляют солью, черным и красным перцем. В сковородку выкладывают измельченные половинку луковицы, зубчик чеснока и высыпают арахис, очищенный и поджаренный, и все слегка подрумянивают. Затем вливают 100 мл бульона или белого вина и тушат на маленьком огне шесть минут. В получившийся соус добавляют тертый сыр, мелко нарезанный зеленый лук и подают с рисом.

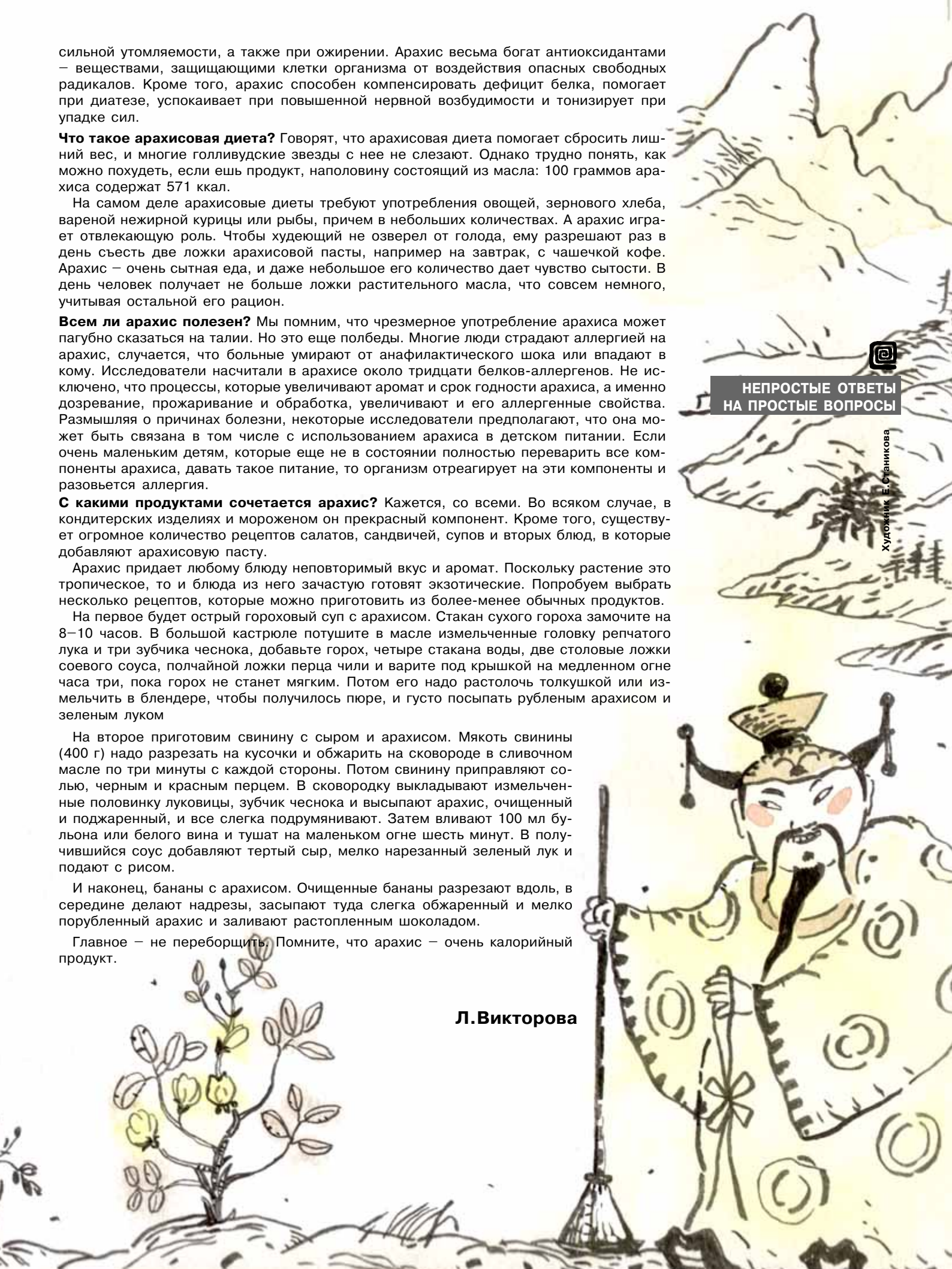
И наконец, бананы с арахисом. Очищенные бананы разрезают вдоль, в середине делают надрезы, засыпают туда слегка обжаренный и мелко порубленный арахис и заливают растопленным шоколадом.

Главное – не переборщить. Помните, что арахис – очень калорийный продукт.

Л. Викторова

НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ  
НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ

Художник Е. Станикова





КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Тайны открытой печати

«Есть такие вредные издатели, которые принципиально не желают открывать доступ к статьям, опубликованным в их журналах. А ведь какая польза вышла бы всему научному сообществу и особенно авторам статей, если бы все тексты можно было свободно читать, не оплачивая безумно дорогую подписку. Сколько гениальных открытий в результате оказалось под сукном, то есть в платных архивах», — примерно так сетуют на окружающую действительность сторонники свободного доступа к научным статьям.

Издателей понять можно: они несут затраты по редактированию статей, подготовке рисунков, по подготовке «бумажного» издания, содержанию сайтов в Интернете и прочему. А вот что выгоднее авторам? Действительно ли свободный доступ к тексту статьи увеличивает их научный престиж в виде индекса цитируемости?

Это предположение решил проверить дипломник Корнеллского университета Филип Дэвис («British medical journal», 9 августа 2008 года). Опыт он поставил вместе с коллегами, среди которых были три университетских профессора. Исследователи случайным образом открыли доступ всем желающим к 247 статьям в 11 научных журналах, издаваемых Американским физиологическим обществом, которые были опубликованы в период с января по апрель 2007 года, и затем в течение года следили за статистикой обращения к ним, а также за индексом цитирования.

Как и следовало ожидать, открытые статьи стали чаще загружать с сайта, нежели те, что предназначались только для подписчиков. Например, число загрузок полных текстов выросло на 89%, а число загрузок текста в формате pdf — на 42%. Но не стоит обольщаться: в 83% и в 5% случаев соответственно их загружали не читатели, а интернет-роботы поисковых систем, которые регулярно осматривают сеть в поисках свободного содержания. А уровень цитирования свободный доступ вообще не увеличил, даже наоборот: в течение года число ссылок на открытые статьи составило 59%, в то время как средний индекс по выбранным журналам за этот период — 63%.

Может быть, время исследования (всего один год) оказалось слишком коротким и повышение цитируемости наступит позже. А может, проблема в другом: большинство настоящих ученых и так уже имеет доступ ко всем статьям, которые могут их заинтересовать. Поэтому перевод в открытый формат увеличил читаемость за счет людей, не имеющих отношения к науке или, во всяком случае, не входящих в число постоянных авторов научных журналов — именно так объясняют свои данные, которые идут вразрез с предыдущими исследованиями, авторы работы.

Если статья кому-то интересна, то она, открывая или закрытая, найдёт путь к своему читателю. Вот, скажем, «Капитал» Карла Маркса вышел в первом издании тиражом всего-то в тысячу экземпляров...

С.Анофелес

Пишут, что...



...полосы помех на спутниковых снимках могут быть предвестниками землетрясений («Исследования Земли из космоса», 2008, № 3, с.88—92)...

...благодаря данным, полученным с помощью российско-турецкого 1,5-метрового телескопа РТТ-150, найдено девять рентгеновских источников, отождествленных с активными ядрами галактик («Письма в Астрономический журнал», 2008, т.34, № 6, с.403—411)...

...полная невидимость макроскопических объектов, то есть отсутствие рассеяния ими электромагнитных лучей с любыми длинами волн и во всех направлениях, принципиально невозможна («Природа», 2008, № 6, с.3—10)...

...штат Калифорния приостанавливает деятельность компаний, которые выполняют генетическое тестирование по желанию клиента («Nature», 2008, т.453, № 7199, с.1148—1149)...

...эндогенные ретровирусы чаще встречаются в геноме домашних свиней, чем у дикого кабана, и это необходимо учитывать при селекции свиней с целью получения животных-доноров для ксенотрансплантации («Генетика», 2008, т.44, № 6, с.789—797)...

...проведен молекулярно-генетический анализ эпидемических штаммов вируса гриппа А, изолированных на территории РФ с 1995 по 2007 год («Молекулярная генетика, микробиология и вирусология», 2008, № 2, с.27—32)...

...среди зубных имплантатов из никелида титана наилучшей биосовместимостью обладают те, поверхность которых модифицирована ионами молибдена и циркония («Бюллетень экспериментальной биологии и медицины», 2008, т.145, № 6, с.707—713)...

...адсорбционные свойства шунгита обусловлены взаимодействием органических молекул с активными центрами его кремниевой и углеродной

составляющих («Коллоидный журнал», 2008, т.70, № 3, с.384—391)...

...источником метана в бореальных лесах может быть разложение древесины трутовыми грибами («Прикладная биохимия и микробиология», 2008, т.44, № 3, с.330—332)...

...многолетний злак вейник надземный можно использовать для рекультивации полигонов твердых бытовых отходов («Физиология растений», 2008, т.55, № 3, с.453—464)...

...у сихотинского и остроконечного рододендронов в Приморском крае осенью иногда наблюдается вторичное цветение («Сибирский экологический журнал», 2008, т.15, № 2, с.353—358)...

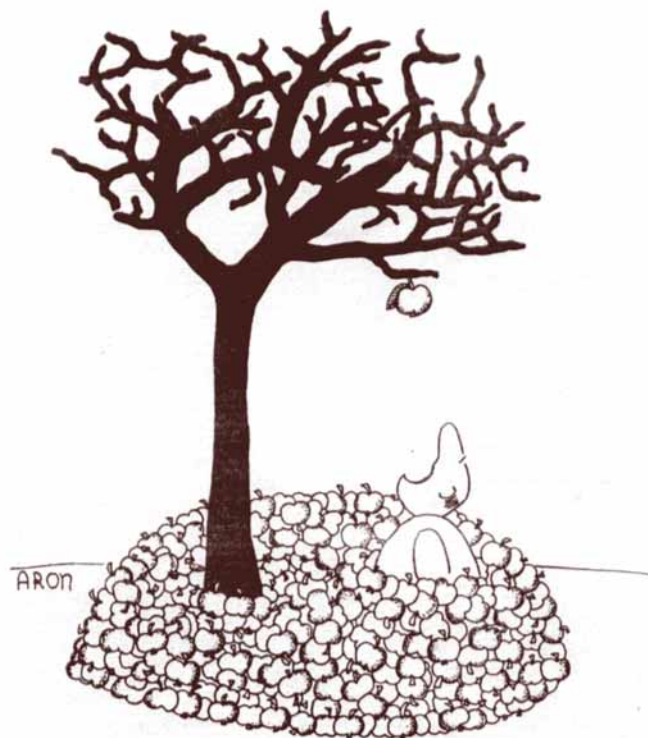
...статистика показывает, что дети не всегда воспроизводят в своих собственных семьях особенности супружеских отношений в родительской семье («Психологический журнал», 2008, т.29, № 3, с.41—47)...

...урбанизация диких видов птиц протекает на популяционном уровне: лишь после формирования устойчивой городской популяции у птиц появляются индивидуальные адаптации («Журнал общей биологии», 2008, т.69, № 3, с.207—219)...

...в группах желтого суслика с повышением плотности особей возрастает разнообразие социальных ролей («Успехи современной биологии», 2008, т.128, № 3, с.307—320)...

...миграционные пути восстановленных северокавказских зубров имеют много общего с таковыми у абorigineного вида, полностью истребленного («Зоологический журнал», 2008, т.86, № 7, с.760—768)...

...по результатам библиометрического анализа журнала «Успехи химии» три самые продуктивные российские научные организации — ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова, МГУ им. М.В. Ломоносова и ИХФ им. Н.Н. Семенова («Вестник РАН», 2008, № 6, с.490—499)...



## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Гнилой персик и здоровое яблоко

Почему персик гнивает за неделю, а яблоко при благоприятном раскладе может пролежать в холодильнике аж до Нового года? Эту тайну раскрыли ученые из Католического университета в Лёвине (Бельгия), которые с помощью расположенного в Гренобле Европейского синхротронного источника сумели заглянуть внутрь яблока и персика.

Синхротронное излучение возникает в циклическом ускорителе заряженных частиц, когда электроны в нем разгоняют до скоростей, близких к скорости света. В зависимости от набранной энергии от такого электрона исходит или ультрафиолетовый свет, или рентген, или гамма-фотон. Особенность синхротронного рентгеновского излучения в том, что его можно сфокусировать в пятно микроскопического диаметра и фактически получить сканирующий рентгеновский микроскоп. С помощью такого микроскопа бельгийские ученые и построили трехмерное изображение внутренности обоих плодов с точностью до микрона.

Оказалось, что главное различие между ними — в устройстве воздушных каналов. Они нужны для того, чтобы плод мог дышать всеми своими тканями, и проходят в пространстве между клетками. У персика каналы тонкие, они пронизывают всю его мякоть, образуя сетку. У яблока же никакой сетки нет, а есть лишь цепочки пещерок неправильной формы. В результате персик дышит гораздо лучше, чем яблоко.

Интенсивное дыхание на ветке вполне оправданно, и не случайно персик нежнее и ароматнее многих других фруктов. А вот во время хранения оно совершенно неуместно: чем больше кислорода проходит внутрь плода, тем быстрее разлагаются клетки. Поэтому здоровое яблоко с более твердой и менее воздухопроницаемой мякотью дольше радует глаз и язык, чем открывший всю свою внутренность свежему воздуху сладкий персик.

А. Мотыляев





# О верности и ревности



А.Л.МИХЕЕВОЙ, Томск: *Причиной синдрома Марфана, о котором так много писала «Химия и жизнь», являются мутации в гене фибриллина, локализованном в 15-й хромосоме человека.*

М.В.КОШКЕВИЧ, Москва: *Кадионы — это реагенты для определения кадмия из группы диарилтриазенов.*

Ларисе Л., вопрос из Интернета: *Мы согласны, что поддержание оптимальной влажности воздуха в жилых помещениях — не самая важная проблема, и все же увлажнитель в быту может быть весьма полезен, например, когда в квартире есть маленький ребенок или кто-то страдает легочным заболеванием.*

Г.Н.ФИЛИППОВОЙ, Карачаево-Черкессия, пос. Орджоникидзевский: *Разбавить загустевшую олифу нельзя, так как ее загустение — химический, а не физический процесс; что касается борьбы с зацветанием воды, то, если бассейн декоративный, можно поместить в него немного торфа в полотняном мешочке, а если вы в нем купаетесь, то лучше потратиться на фильтр или специальный реагент.*

Н.Н.КУСТОВСКОМУ, Санкт-Петербург: *Манильская пенька — это волокна растения абака, или текстильного банана *Musa textilis*; сегодня ее используют не только для производства канатов, устойчивых к соленой воде, но и для изготовления специальных видов бумаги, например для чайных пакетиков.*

К.С., Ульяновск: *Вы напрасно думаете, что «ни у одного народа не возникало представлений о происхождении человека от обезьяны» — обезьяну считали своим предком некоторые тибетские племена, и не только они.*

ВСЕМ ЧИТАТЕЛЯМ: *Обращаем внимание, что спустя всего три дня после того, как журнал со статьей «Как нам обустроить Сочи» вышел из печати, В.В.Путин принял решение о переносе олимпийских объектов из буферной зоны заповедника.*

ПИСАТЕЛЯМ-ФАНТАСТАМ: *Конкурс фантастики «Химии и жизни» начнется, как обычно, осенью; правила и требования к рассказам, а также результаты прошлого конкурса можно найти на сайте Максима Мошкова «Самиздат», <http://zhurnal.lib.ru/h/hij2007>; рассказы авторов, не публиковавшихся у нас прежде, вне конкурса не рассматриваются, поэтому не надо присылать их в редакцию.*

**К**ак мы уже поняли, неправда, что супружеская верность — чисто искусственное понятие, порождение человеческой культуры. Тесные и длительные отношения супругов в природе встречаются. Японцы хэйанского периода слагали стихи в честь утки мандаринки и ее селезня, которые стряхивают друг дружке иней с крыльев — поэты, правда, не знали, что супружеская преданность более характерна для гусей и лебедей, чем для уток. Вообще, стихи стихами, а у самих хэйанских аристократов единственная любовь до гроба не была в моде. Принц Гэндзи, воспетый Мурасаки Сикибу, став министром, построил дом, где нашли приют все дамы, «чьи судьбы оказались связанными с его судьбой». Дом получился большой.

В природе стратегию блистательного Гэндзи реализуют многие кавалеры. Сколько дам сумеешь завоевать и сколько выводков прокормить — столько партнерш и получишь: «Химия и жизнь» в октябре 2006 года писала о том, как ловко управляет со своими обязанностями зимородок-многоженец. Все знают о гаремах бабуинов и морских львов. Среди человекообразных обезьян подобный вариант отношений встречается у го-



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ЛЮБВИ

рилл. У орангутанов самец также защищает территорию и самок от других самцов, но за исключением брачного периода эти обезьяны не собираются в тесные группы, а живут порознь. Интересно, что владелец территории и гарема отличается от «неудачника», украдкой нападающего на чужих самок, чисто внешне — только у орангов-султанов имеются характерные щечные жировые наросты и длинная шерсть. Самцы шимпанзе, объединившись, защищают группу самок от посторонних, но не друг от друга — хотя внутри группы могут возникать устойчивые парные связи, особенно между старшими животными, да и сцены ревности случаются... А вот гиббоны, наши самые дальние человекообразные родичи, моногамны, и оба родителя заботятся о детеныше вместе.

Конечно, любому мужчине свойственно желать, чтобы самка принесла потомство только ему и больше никому, но бродить вокруг дамы, рыча и топорща гриву, — не единственный способ этого добиться. Промискуитетное поведение обыкновенных котов вошло в поговорку, однако вопль, который испускает кошка в самый ответственный момент, вызван отнюдь не восторгом. Пенис кота повреждает ткани влагалища партнерши — это, по мнению ученых, должно снизить вероятность контактов с другими котами. (Однако любой кошководитель подтвердит, что вероятность никогда не снижается до нуля...) Менее жестоко поступают самцы некоторых бабочек — они опечатывают половые пути самки особой пробкой, которую В.В.Набоков поэтично именовал «поясом верности». Впрочем,

половые отношения беспозвоночных — отдельная тема.

А все-таки как обстоят дела с верной любовью у водоплавающих птиц, не в стихах хокку, а в протоколах наблюдений? Учитель Конрада Лоренца Оскар Хейнрот писал о гусях, что супружеская верность — их видовая норма. Однако Лоренц и его коллега Хельга Фишер убедились, что гуси очень часто отклоняются от этой нормы, причем измены одного из партнеров явно причиняют другому немалое огорчение. «Возмущившись моим разочарованием, — пишет Лоренц, — Хельга сказала бессмертные слова: «Чего ты от них хочешь? Ведь гуси тоже всего лишь люди!»

**Е.Котина**



2-я выставка  
«Международная  
химическая ассамблея –  
**ICA-2008**»



**1 - 3 октября**

[www.ica-expo.ru](http://www.ica-expo.ru)

Россия, Москва,  
Центральный  
выставочный  
комплекс  
«Экспоцентр»

**Организатор:**  
**ЗАО «Экспоцентр»**  
при содействии  
**ЗАО «Росхимнефть»**

**Официальная  
поддержка:**  
- Министерство  
промышленности  
и энергетики РФ  
- Российский  
Союз химиков



123100, Россия, Москва,  
Краснопресненская наб., 14  
Тел.: (495) 255-37-94, 255-37-38  
E-mail: [chemica@expocentr.ru](mailto:chemica@expocentr.ru),  
[mezvist@expocentr.ru](mailto:mezvist@expocentr.ru)  
[www.ica-expo.ru](http://www.ica-expo.ru),  
[www.expocentr.ru](http://www.expocentr.ru)

