

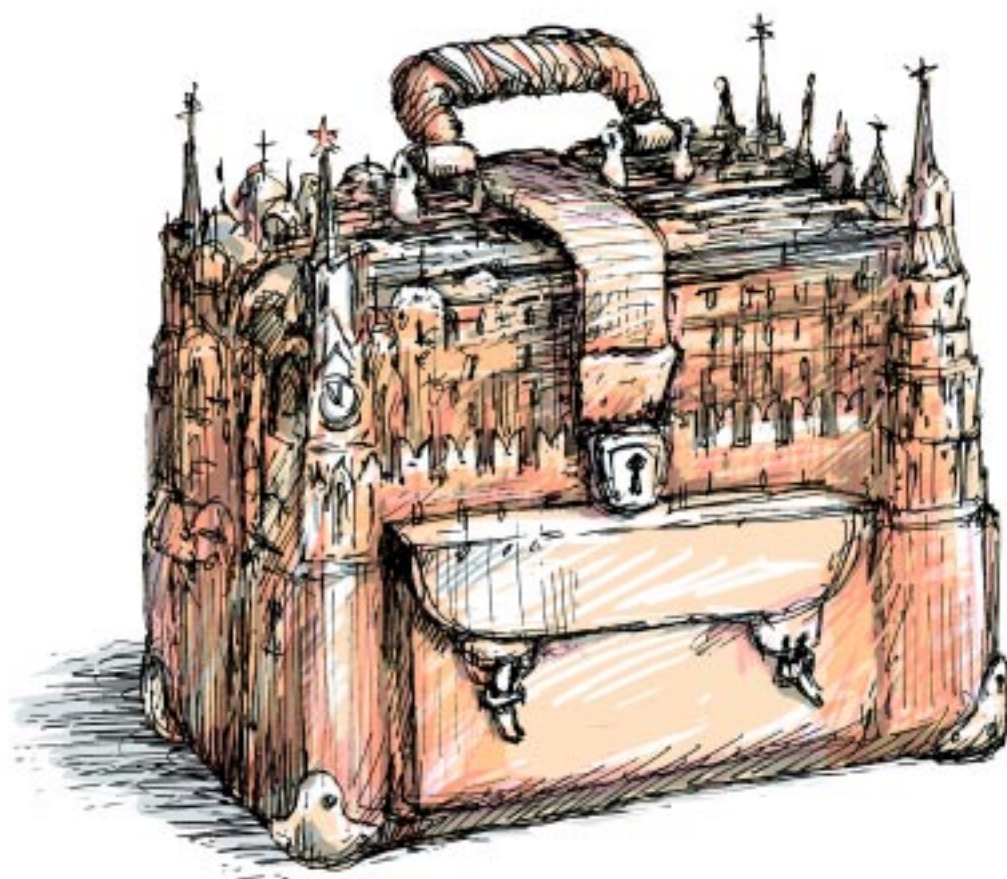


XXI век

Ж

2
2008

ЖИЗНЬ И ВМЕСТЕ



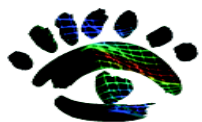




Химия и жизнь
Ежемесячный
научно-популярный
журнал

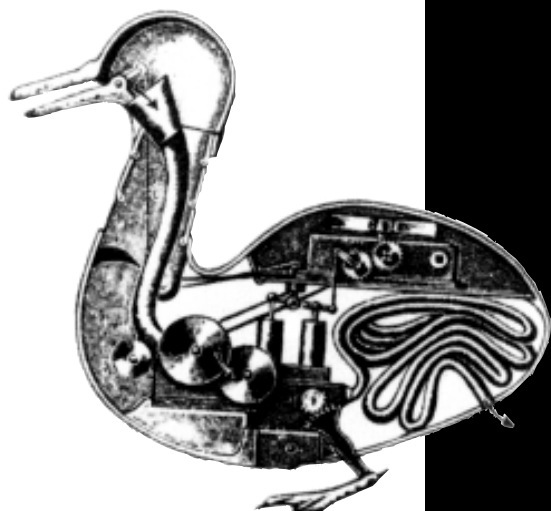
2
2008

*Новости нельзя разбрасывать,
как навоз, с ними надо
обращаться экономно.*



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А. Кукушкина

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
картина неизвестного художника при дворе Карла VII
«Февраль». Зимой все процессы замедляются,
даже свет становится серым и вялым. А может,
это только кажется? Ответ вы найдете в статье
«Медленный свет: за фасадом сенсации».*





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. Баблицкая-Каменева
textmaster@informnauka.ru

Подписано в печать 4.2.2008

Адрес редакции:

105005 Москва, Лефортовский пер., 8

Телефон для справок:

(495) 267-54-18,

e-mail: redaktor@hij.ru

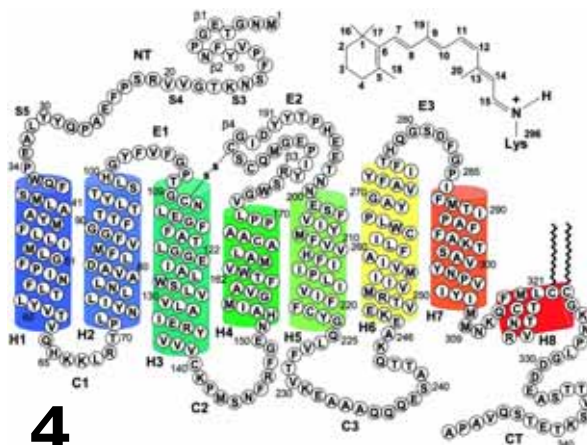
Ищите нас в интернете по адресам:

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

<http://www.informnauka.ru>

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

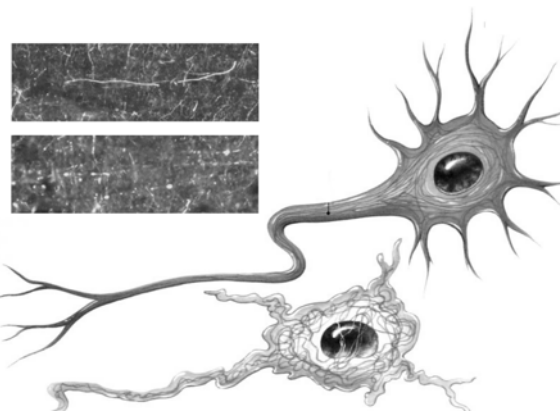
© АНО Центр «НаукаПресс»



Химия и жизнь

4

Когда пожилые люди ворчат, что в их молодости небо было голубее, они не выдумывают, а констатируют факт, подтвержденный современной наукой.



16

Холестерин, который СМИ привычно именуют «молекулой-убийцей», на самом деле совершенно необходим организму.

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

М.А.Островский

ГЛАЗ И СОЛНЦЕ, ИЛИ ФОТОХИМИЯ ЗРЕНИЯ 4

Н.Л.Резник

ТРИ ТОЧКИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА 10

ИНФОРМНАУКА

НОВАЯ НЕФТЬ НА СТАРОМ МЕСТЕ 14

ПОЛИМЕР ВМЕСТО ФАРФОРА 14

ЗАПАХ СМЕРТИ 15

ВОДА В НАШЕМ ТЕЛЕ 15

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

А.Р.Кудинов, Н.В.Кудинова

О ПОЛЬЗЕ ХОЛЕСТЕРИНА 16

РАССЛЕДОВАНИЕ

Г.Г.Комиссаров

НОВОЕ УРАВНЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА 20

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Е.Б.Александров, В.С.Запасский

МЕДЛЕННЫЙ СВЕТ: ЗА ФАСАДОМ СЕНСАЦИИ 26

О.В.Космачевская, К.Б.Шумаев, А.Ф.Топунов

ГЕМОГЛОБИНЫ — БЕЛКИ-МНОГОБОРЦЫ 34

ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

Л.В.Каабак

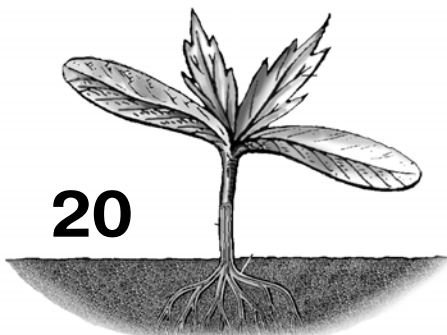
«ЭФФЕКТЫ БАБОЧКИ» В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА 38

РАССЛЕДОВАНИЕ

Г.В.Эрлих, Г.В.Лисичкин

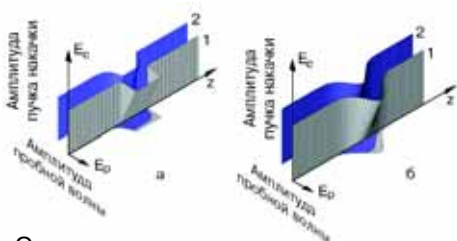
НАУКА В РОССИИ И В МИРЕ: ПОПЫТКА БЕСПРИСТРАСТНОГО РАССМОТРЕНИЯ 44

20



Уравнение фотосинтеза — $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{углеводы} + \text{O}_2$ — знают наизусть даже школьники. Но нет ли в нем ошибки?

26



Остановить световую волну — бесспорно, красивая идея. А вот то, что свет действительно был остановлен, — это спорно.

38



В 40-е годы XX века американские фермеры обратились в департамент сельского хозяйства с просьбой: нельзя ли каждый год вызывать массовое размножение репейницы?

В номере

10

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Почему кодон САС соответствует именно гистидину, а не, например, пролину? Вопрос не праздный: по сути, это вопрос о том, случайно ли возник генетический код земных организмов и мог ли он быть иным. Похоже, роль случайности в его формировании была сильно преувеличена...

14

ИНФОРМНАУКА

О новой нефти в отработанных месторождениях, о полимерных высоковольтных изоляторах и про воду в нашем теле.

44

РАССЛЕДОВАНИЕ

Поражает даже не столько мизерность суммы расходов на одного исследователя в нашей стране по сравнению с другими странами, сколько то, что Россия занимает достаточно высокое место по показателям эффективности науки. Непостижимый феномен русской жизни, один из многих.

52

КНИГИ

Основатель рентгеновской кристаллографии белка Макс Перутц отказался от рыцарского звания, так как полагал, что это помешает его научному общению. А в отношении соавторства придерживался заповеди: «Ты не должен забирать у молодого сотрудника то, что ему принадлежит».

58

ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ

Эту фотографию видели все. Но не все знают историю ее появления. «Он показал мне язык, будучи уверен, что я не успею, — вспоминал впоследствии фотограф ЮПИ Артур Сассе. — Но я успел!» Вот в таких условиях мы, научные журналисты, и работаем.

ИНФОРМНАУКА

ТРОМБЫ МОЖНО ЛЕЧИТЬ СНАРУЖИ	51
СРЕДСТВО ПРОНИКНОВЕНИЯ В КЛЕТКУ	51

КНИГИ

Л.Каховский	
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ГЕММЫ МАКСА ПЕРУТЦА	52

ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

Макс Перутц	
БОЛЕЗНЬ, О КОТОРОЙ ЗАБЫЛИ	54

ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ

И.А.Леенсон	
ИСТОРИЯ С ЯЗЫКОМ.	58

ФАНТАСТИКА

Вячеслав Козлов	
ПАРАДОКС МАМКИНА	60

НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ

Л.Викторова	
СОЛЬ	68

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ЛЮБВИ

Е.Котина	
О БЕССМЕРТИИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ	72

ИНФОРМАЦИЯ	32, 33, 43
-------------------	------------

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	24
----------------------------------	----

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	70
-------------------------	----

ПИШУТ, ЧТО...	70
----------------------	----

ПЕРЕПИСКА	72
------------------	----

Глаз и Солнце,

или

Фотохимия зрения

«Глаз нельзя понять, не зная Солнца. Вот почему глаз солнечен, по словам поэта» — так заканчивает свою замечательную книгу «Глаз и Солнце» академик С.И.Вавилов. Напечатанная впервые в 1927 году, она выдержала более десяти изданий и до сих пор остается лучшим популярным рассказом о переплетении судеб двух наук — физиологии зрения и физики света. На современном витке спирали познания метафора «солнечность глаза» наполнилась еще более глубоким смыслом. В чем же его «солнечность»?

Именно благодаря Солнцу (точнее, спектру его излучения) сформировались спектральные характеристики светочувствительных зрительных пигментов, запускающих процесс зрения. Поэтому та часть солнечного излучения, которую мы видим, и названа «видимым светом».

Наименьшая порция света — квант. В ходе биологической эволюции зрительная клетка достигла предела чувствительности, допускаемого квантовой теорией света. Палочки (клетки, ответственные за сумеречное зрение у позвоночных животных и человека) могут ответить сигналом всего на один поглощенный квант. Получается цепочка: один квант — поглотившая его молекула зрительного пигмента — одна возбужденная клетка сетчатки (палочка) — зрительный сигнал. Но чтобы распознать еле заметную вспышку света, одного кванта недостаточно. Нужно около 10–20 квантов, тогда сигналы от 10–20 палочек суммируются и передаются в мозг, в его зрительные центры. Благодаря этому механизму человек способен различать на ночном небе очень слабые звездочки — шестой, а в некоторых случаях даже седьмой и восьмой величины. Доходящий от звезд до Земли свет — это всего лишь 10^{-12} – 10^{-14} от полного солнечного света. Таким образом, наша зрительная система (глаза и мозг) может эффективно работать в огромном диапазоне освещенностей — от почти полной темноты до яркого солнечного дня.

Глаз животных и человека как нельзя лучше приспособлен для восприятия именно естественного солнечного света, который и сформировал «под себя» органы зрения всех животных — от самых примитивных беспозвоночных до высших позвоночных.

Вот почему глаз и в самом деле солнечен!

Зрительный пурпур, он же родопсин

Пурпур — цвет величественный и торжественный, цвет восхода солнца и кардинальских мантий. За 1600 лет до н. э. в Древнем Египте и на острове Крит пурпуром окрашивали одежды. В Древней Ассирии и роскошной Ви-

Академик РАН,
доктор биологических наук

М.А.Островский

Институт биохимической физики РАН им.Н.М. Эмануэля

зантии пурпурный цвет был символом могущества и знатности. Римляне награждали победителя пурпурной лентой, и лишь сам император имел право облачаться в тогу такого цвета. Мореплаватели и купцы платили жизнью, добывая в далеких экзотических странах моллюсков, которые давали царственную краску. Но древние не подозревали главного: пурпур — не только и не столько цвет могущества и знатности, это цвет уникального светочувствительного вещества, дарующего способность видеть. Речь идет о зрительном пигменте, которому первооткрыватели присвоили звучное имя «зрительный пурпур». Сегодня он по-научному называется «родопсин».

В 1851 году немецкий физиолог Генрих Мюллер извлек из лягушачьего глаза сетчатку и просто, без всяких приборов, взглянул на нее. Она оказалась розовато-пурпурной. Однако это любопытное наблюдение не привлекло особого внимания ученых. Лишь через четверть века австриец Ференц Болль повторил опыт Мюллера и написал в короткой статье 1876 года: «Вытащенная из глаза розовая сетчатка на свету выцветает, становится белесой. Выцветание должно быть как-то непосредственно связано с процессом зрения». (Сегодня это явление называют «обесцвечивание».)

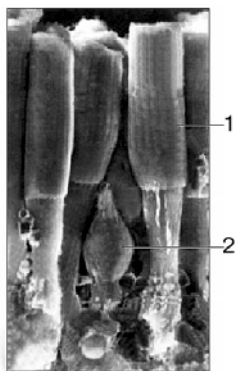
Статья Ф.Болля положила начало систематическому изучению зрительных пигментов. С тех пор и по сей день светочувствительный зрительный пурпур, или родопсин, остается одним из самых интересных и подробно изучаемых белков.

А теперь короткая анатомическая справка. Глаз — это сфера, заполненная стекловидным телом (рис. 1). Ее заднюю внутреннюю поверхность выстилает сетчатка. Сетчатка никоим образом не фотопленка, а сложнейший нервный центр.

1
Структура глаза
и сетчатки



Как говорил великий испанский гистолог конца XIX века Сантьяго Рамон-и-Кахал, сетчатка — это «часть мозга, помещенная в глаза». Наружный ее слой состоит из 120 миллионов палочек и от 4 до 6 миллионов колбочек. Палочки действительно похожи на палочки, точнее, на цилиндры, и они ответственны за сумеречное, черно-белое зрение (рис. 2). Они очень чувствительны к свету, но не способны различать цвета (вот почему говорится, что ночью все кошки серы), а днем глаз воспринимает все цвета видимого спектра. Отвечают за это уже не палочки, а колбочки сетчатки глаза, содержащие синие, зелено- и красочувствительные зрительные пигменты.



2
Электронная фотография палочек
и колбочек:
(1) — палочки
(2) — колбочки



Итак, мы возвращаемся к родопсину — пигменту, находящемуся в зрительных клетках глаза всех беспозвоночных и позвоночных животных и, конечно, человека. Фотохимические превращения родопсина интенсивно изучали со дня его открытия, но эти исследования стали особенно актуальны в последнее время.

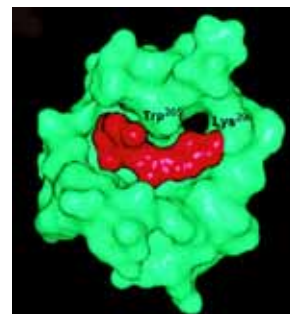
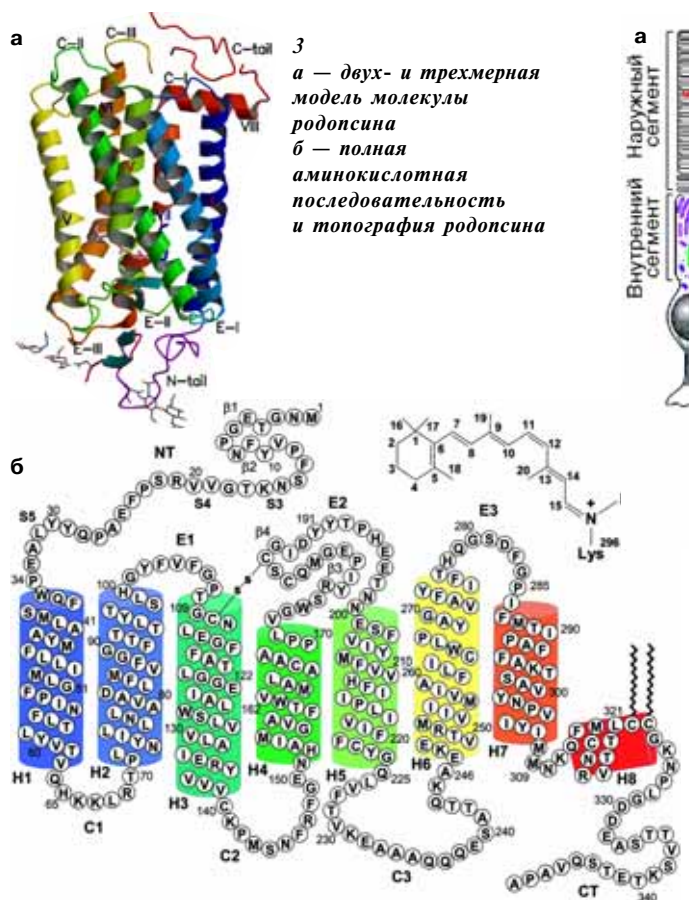
Причины две: во-первых, научное любопытство, ибо именно азарт познания движет науку, во-вторых — практическая необходимость. Прежде всего эти знания нужны офтальмологии для лечения больных, а в будущем, вероятно, они понадобятся создателям высоких технологий. Так, подражая принципу работы светочувствительных белков, подобных родопсину, может быть, удастся создать молекулярные компьютеры.

Молекула родопсина содержит одну хромофорную группу (та, что поглощает свет), две олигосахаридные цепочки и водонерастворимый мембранный белок — опсин. Родопсин — первый мембранный белок животного происхождения, полную аминокислотную последовательность и топографию которого удалось расшифровать в начале

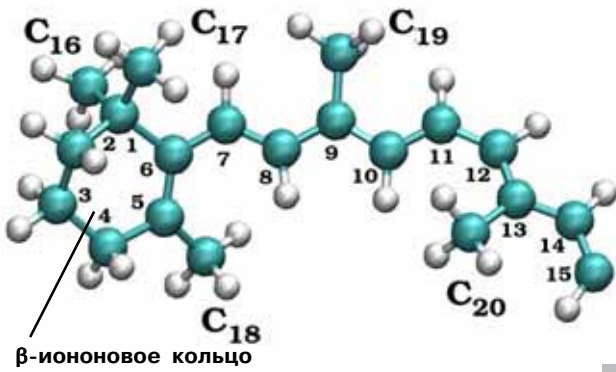
80-х годов XX века. (Это была работа академика Ю.А. Овчинникова и его сотрудников, которая была опубликована практически одновременно с работой американцев.) В начале же 2000-х годов американским и японским исследователям удалось методом рентгено-структурного анализа получить трехмерную структуру родопсина (рис. 3). Это было непросто, хотя его молекулярная масса сравнительно невелика — около 40 кДа, а полипептидная цепь состоит из 348 аминокислотных остатков.

Хромофорная группа всех без исключения зрительных пигментов человека и животных — это альдегид витамина А, или ретиналь (рис. 4). Важно, что из 16 его возможных изомерных форм в ходе эволюции только одна из них, а именно изогнутая 11-цис-изомерная форма, стала хромофорной группой зрительных пигментов. Хромофор расположен в центре молекулы родопсина и выполняет сразу несколько физиологических функций.

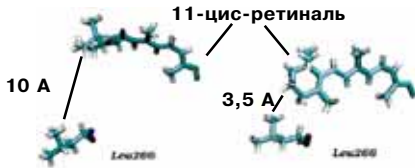
Во-первых, в зависимости от окружающих его аминокислотных остатков он обеспечивает функцию спектральной настройки. Дело в том, что зрительные пигменты животных (беспозвоночных и позвоночных) и человека способны поглощать свет от ультрафиолетовой (360 нм)



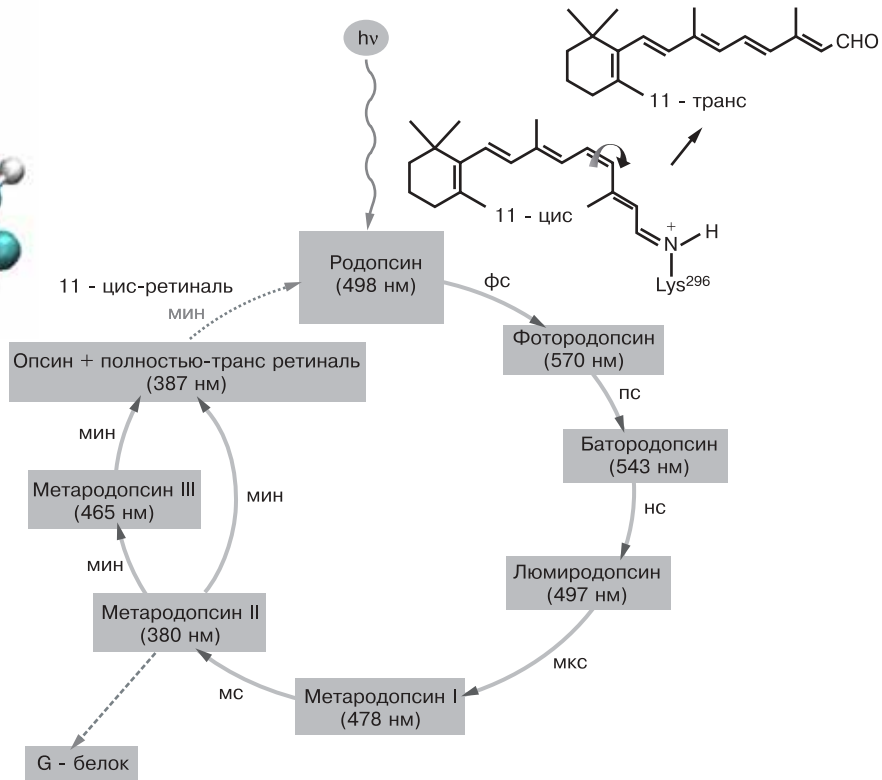
до красной (620 нм) области спектра. Именно благодаря этому в сетчатке человека есть сине-, зелено-, и красночувствительные колбочки, ответственные за цветное зрение. Не будь спектральной настройки, не было бы и цветного зрения, а тогда и днем все кошки были бы серы. Большинство млекопитающих, в частности собаки, кошки и даже быки, практически лишены сине-, зелено-, и красночувствительных колбочек, и мир для них однотонный. Приматы же, то есть обезьяны и человек, под давлением жесткой необходимости видеть мир цветным, приобрели в ходе эволюции цветное зрение. Если бы наши очень далекие предки обезьяны не смогли бы



β-иононовое кольцо



5
 Результат компьютерного моделирования подстройки 11-цис-ретинала к белковому окружению. На картинке внизу видно, что один из аминокислотных остатков, (лейцин-266), сильно приближается к β-иононовому кольцу 11-цис-ретинала и удерживает его в энергетически невыгодном состоянии. Вероятно, это важно для последующей сверхбыстрой и эффективной изомеризации 11-цис-ретинала при поглощении им кванта света



6
 Фотолиз родопсина — цепочка биохимических превращений, которую запускает поглощенный цис-ретиналем квант света

уверенно различать желтый банан на зеленом фоне листьев, они бы просто-напросто вымерли, и их гордый потомок *Ното сариенс* не появился бы на свет.

Вторая физиологическая функция 11-цис-ретинала как хромофорной группы — это ее сверхбыстрая изомеризация, вызванная поглощением кванта света. Но об этом подробнее расскажем чуть позже.

И наконец, третья его функция в том, чтобы «держать

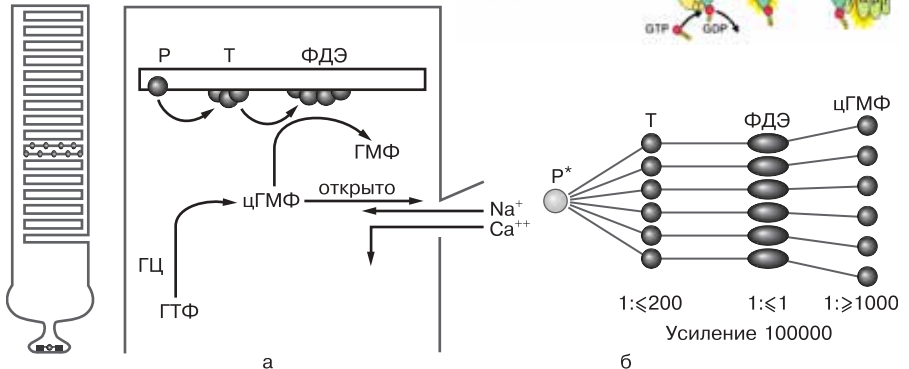
и не пущать». 11-цис-ретиаль должен в темновом состоянии удерживать молекулу родопсина, чтобы она, не дай Бог, не запустила ложный зрительный акт. Эта третья важнейшая его функция — один из эффективных способов борьбы зрительной клетки с темновым тепловым «шумом». Используя технический язык, можно сказать, что зрительная клетка — это удивительно малозумящий и при этом высокочувствительный детектор света, то есть

Фототрансдукция

Фототрансдукция — это преобразование и усиление (почти в сто тысяч раз) светового сигнала в зрительной клетке, в результате которого возникает биоэлектрический сигнал (рис. 9).

Квант света поглощается хромофорной группой молекулы родопсина (11-цис-ретиналем) и изомеризует его в полностью-транс-форму (см. об этом в статье). Этот переход вызывает перестройку белковой части молекулы, и такой родопсин приобретает способность взаимодействовать со следующим белком в цепи — ГТФ-связывающим белком. Его в научной литературе также называют G-белком, а в механизме фототрансдукции он получил название трансдуцин. Получается, что в темноте 11-цис-ретиаль — это мощный лиганд-антагонист родопсина, ко-

Схема фототрансдукции



P — родопсин, *T* — трандуцин, *ФДЭ* — фосфодиэстераза, *ГТФ* — гуанозинтрифосфат
цГМФ — циклический гуанозинмонофосфат
ГТФ-связывающий белок, *G-белок* и *трансдуцин* — разные названия одного и того же белка

фактически счетчик одиночных фотонов. Для того чтобы фотоумножитель, сделанный руками человека, показал такие же характеристики, приходится помещать его в жидкий азот (-196°C), а природный фотоумножитель — зрительная клетка — эффективно работает при температуре тела ($36,6^{\circ}\text{C}$). В научной литературе эта третья функция формулируется так: 11-цис-ретиаль — мощный лиганд-антагонист родопсина как рецептора, связывающего G-белок (про G-белок и преобразование светового сигнала в зрительной клетке в биоэлектрический сигнал смотри во врезе).

Не вдаваясь сейчас в подробности, скажем только, что в темноте этот мощный лиганд-антагонист препятствует запуску последующих ферментативных реакций в зрительной клетке, которые в конечном счете приводят к возникновению в ней сигнала. Функция 11-цис-ретинола как лиганда-антагониста — одна из важнейших. Зрительный акт должен быть запущен квантом света, а не быть ложным. Если бы ложных запусков было много, то на их фоне зрительная клетка попросту не «увидела» бы кванта света, не различила бы его в темновых шумах, и ни о какой высокой световой чувствительности нельзя было бы и мечтать.

На субмолекулярном уровне все эти наиважнейшие физиологические функции 11-цис-ретинола достигаются благодаря его тонкой, можно сказать, изощренной подстройке и «подгонке» к ближайшему белковому окружению в хромофорном центре молекулы родопсина. Совместно с профессором М.Холмуродовым, работающим в Объединенном институте ядерной физики в Дубне, и кандидатом биологических наук Т.Б.Фельдман из нашей лаборатории в Институте биохимической физики РАН им Н.М.Эмануэля мы в последнее время подробно исследовали взаимную «подстройку» конформационного состояния 11-цис-ретинола и его белкового окружения в хромофорном центре родопсина (рис. 5).

Зрение начинается с изомеризации

Теперь очень коротко о том, что происходит с молекулой родопсина при поглощении кванта света. Фотопревращение родопсина включает собственно фотохимическую и последующие темновые, зависящие от температуры реакции. Здесь мы остановимся на фотохимии ро-

торый сам работает как типичный и классический рецептор, связывающий G-белок, то есть трансдуцин.

Активированный родопсином трансдуцин, в свою очередь, включает следующий белок — фосфодиэстеразу (ФДЭ). Это очень активный фермент, который с высокой скоростью разрушает внутриклеточный передатчик сигнала, циклический гуанозинмонофосфат (цГМФ). Падение в цитоплазме концентрации цГМФ приводит к блокированию специфических ионных каналов в клеточной мембране, через которую в темноте в клетку входили ионы натрия и кальция. Поскольку каналы заблокированы, на свету вход ионов прекращается и на клеточной мембране увеличивается электрический потенциал, то есть происходит гиперполяризация фоторецепторной клетки — палочки или колбочки. Гиперполяризация служит физиологическим ответом

рецепторной клетки на поглощение молекулой родопсина кванта света. Это и есть тот самый биоэлектрический сигнал, который распространяется от наружного сегмента до синаптического окончания зрительной клетки — палочки или колбочки.

Затем биоэлектрический сигнал через первый синапс передается нервным клеткам сетчатки, далее через второй синапс следующему слою нервных клеток, а уже от них по длинным отросткам, образующим зрительный нерв, в виде последовательности нервных импульсов в мозг для дальнейшей сложнейшей обработки зрительной информации. В результате этой обработки, которой может позавидовать самый сложный компьютер, в мозгу рождается «субъективный образ объективного внешнего мира». Следует отметить, что зрительные (фоторецепторные) и нервные клетки в сетчатке (час-

ти мозга, помещенной в глаз) расположены слоями, и вся сетчатка напоминает по своему строению пирожное «наполеон».

Усиление сигнала обеспечивают три этапа ферментативного каскада фототрансдукции. На первом каждая возбужденная светом молекула родопсина активирует множество (до двухсот) молекул трансдуцина. На втором усиления не происходит: одна активированная молекула трансдуцина активирует одну молекулу фосфодиэстеразы. А вот на третьем этапе одна молекула фосфодиэстеразы вызывает распад до 1000 молекул цГМФ. С помощью такого механизма — каскада усиления светового сигнала — поглощение всего одного кванта света приводит к физиологическому зрительному сигналу.



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

допсина, поскольку именно в фотохимии проявляются его поистине уникальные свойства.

А что, собственно говоря, делает свет в зрении? Ответ теперь известен и вошел во все физиологические учебники. Свет в зрении — в этом невероятно сложном, многокомпонентном процессе, который начинается в зрительной клетке сетчатки глаза (а именно в хромофорном центре молекулы зрительного пигмента) и заканчивается опознанием зрительного образа в коре больших полушарий, — нужен только для того, чтобы изомеризовать 11-цис-ретиаль.

Все множество последующих событий и в самой зрительной клетке, и во всех нервных клетках сетчатки происходит без участия света. Он выполняет лишь триггерную, то есть спусковую, функцию. 11-цис-ретиаль — это спусковой курок, на который «нажимает» поглощенный квант света. А выстреливает уже сама зрительная клетка, в которой все заранее приготовлено, — она только ждет, чтобы курок был спущен.

Итак, единственная фотохимическая реакция в зрении, это цис-транс изомеризация хромофорной группы родопсина — 11-цис-ретинола (рис. 6). И вот что важно: самый первый продукт после фотоизомеризации — фотородопсин — образуется с уникально высокой скоростью, менее чем за 100–200 фемтосекунд ($1\text{ фс} = 10^{-15}\text{ с}$). И это означает, что само выпрямление полиеновой цепочки (изомеризация) должно происходить еще быстрее. Кроме того, реакция фотоизомеризации весьма эффективна: ее квантовый выход около 0,7, что для фотохимической реакции очень много.

Все последующие перестройки в молекуле родопсина, запущенные фотоизомеризацией, как уже говорилось, происходят без участия света. За несколько десятков пикосекунд ($1 \text{ пс} = 10^{-12} \text{ с}$) фотородопсин переходит в следующий продукт — батородопсин, а затем образуются следующие продукты превращения родопсина. Одно из последних конформационных состояний, которое образуется уже за миллисекунды ($1 \text{ мс} = 10^{-3} \text{ с}$), так называемый метародопсин II, запускает каскад биохимических реакций в зрительной клетке, приводящий к возникновению в ней физиологического зрительного сигнала.

Современная техника способна исследовать даже такие быстрые реакции, как образование фотородопсина, — это так называемая фемтосекундная химия, которой занимаются профессор О.М.Саркисов и его сотрудники в Институте химической физики РАН им. Н.Н.Семенова. Совместно мы изучаем особенности этих сверхбыстрых фотохимических реакций (рис. 7). Из данных, полученных нами, видно, что образование фотородопсина происходит не дольше чем за 200 фс. Такая уникальная скорость возможна только потому, что 11-цис-ретиналь сидит в хромофорном центре молекулы родопсина, плотно «пригнанный» к белковому окружению. Тот же 11-цис-ретиналь в спиртовом растворе, то есть вне белкового окружения, фотоизомеризуется на два порядка медленнее и раз в пять менее эффективно.

Спрашивается, зачем в молекулярном механизме зрения требуется столь быстрая фотоизомеризация 11-цис-ретиналя? В чем ее физический и физиологический смысл? Ведь сам зрительный сигнал, который возникает в зрительной клетке и затем передается следующей нервной клетке сетчатки, на много порядков медленнее, чем реакция фотоизомеризации, — так зрительный сигнал палочки формируется за десятки или даже сотни миллисекунд.

Эволюция не допускает случайных вещей. Физический смысл столь быстрой и эффективной реакции хромофорной группы родопсина состоит в том, чтобы энергия поглощенного кванта света максимально использовалась именно на «полезную» фотоизомеризацию 11-цис-ретиналя, а не рассеялась в тепло или не высветилась в виде флуоресценции. Чтобы конкурировать с этими «паразитными» реакциями, и нужны столь высокая скорость и эффективность фотоизомеризации.

Ответ этот, безусловно, верный и общепринятый, но, быть может, не единственный. Над еще одним возмож-

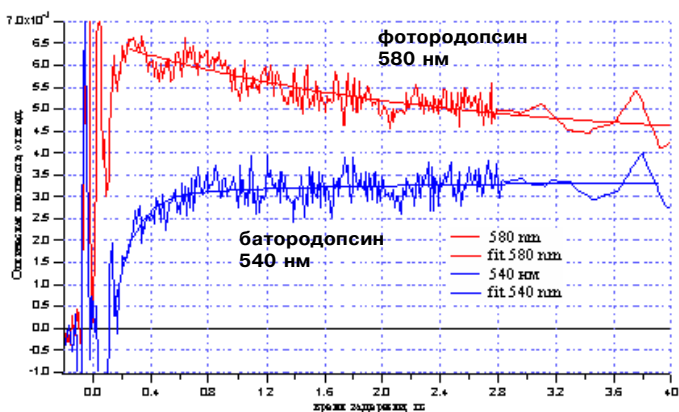
ным физиологическим смыслом уникальной скорости фотоизомеризации хромофорной группы в молекуле зрительного пигмента мы сейчас думаем и работаем.

Свет и парадокс зрения

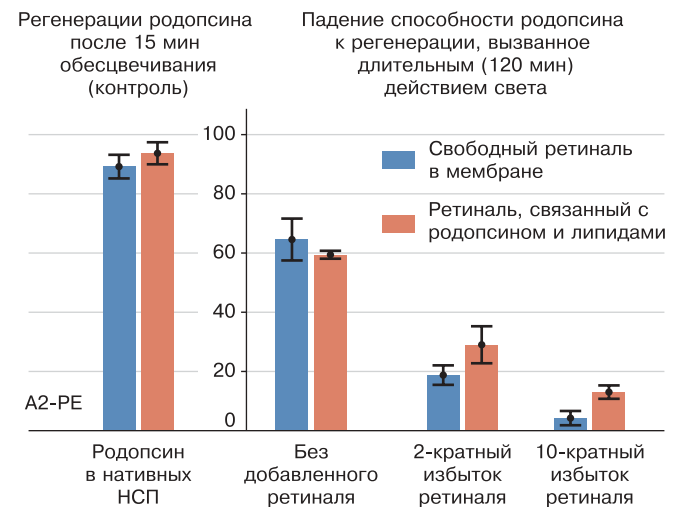
Фотобиологический парадокс зрения состоит в том, что свет несет глазу не только зрительную информацию, но и опасность. Почему? А потому, что компоненты молекулярной машинерии зрения крайне уязвимы для повреждающего действия света. Как известно, за все надо платить. Платой за совершенство механизма зрения, когда одного поглощенного кванта света палочке достаточно, чтобы в ней возник физиологический, зрительный сигнал, становится ее фотоуязвимость. Причина опасности — реакции фотоокисления.

Уязвимость определяется совокупностью по крайней мере трех факторов, каждый из которых необходим и достаточен для инициации и развития реакции фотоокисления. Первый фактор — фотосенсибилизаторы, поглощающие свет и запускающие эту реакцию. К фотосенсибилизаторам относится и сам ретиналь, и продукты его превращения. Второй фактор — кислород, которым сетчатка прекрасно обеспечена, так же хорошо, как и мозг. И третий — присутствие легко окисляющихся субстратов: белков и липидов мембран зрительных клеток.

Казалось бы, при этих условиях палочки должны были бы «сгореть» от света. Но если бы это было так, то, лишь однажды взглянув на яркий солнечный мир, мы бы ослепли. Однако этого не происходит. Потому не происходит, что в ходе эволюции парадокс зрения был успешно



7
Кинетические кривые образования фото- и батородопсина. Отчетливо видно, что фотородопсин появляется за первые 100–200 фс после поглощения кванта света



8
Связанный с родопсином полностью-транс-ретиналь может при действии света повреждать его, а точнее нарушать его способности к регенерации



разрешен. Суть в том, что сформировались две зависимые друг от друга функциональные системы глаза: собственно зрительная рецепция и надежная система защиты от опасности светового повреждения.

Понимание природы солнечности глаза, а именно механизмов восприятия и преобразования энергии поглощенного света и молекулярных механизмов его повреждающего действия, позволяет понять причины заболеваний сетчатки глаза и попытаться найти способы профилактики и лечения.

В частности, такие исследования привели нас более двадцати лет назад к практическому результату. Было создано новое поколение искусственных окрашенных хрусталиков, которые надежно защищают сетчатку от фотоповреждения после удаления катарактального хрусталика.

Что же входит в многоуровневую систему защиты глаза от света? Она состоит из нескольких линий обороны: это постоянное обновление наружных сегментов (частей) палочек и колбочек, богатый набор антиоксидантов и, наконец, оптические среды глаза, работающие как светофильтры. Важнейшую роль здесь играет хрусталик, который служит не только фокусирующей линзой, но и светофильтром.

У многих животных, живущих в яркой световой среде, хрусталик интенсивно желтый от рождения. Такой окрашенный хрусталик отсекает не только ультрафиолетовый, но частично и фиолетово-синий свет — именно они наиболее опасны для сетчатки. У человека в детском и юношеском возрасте хрусталик практически бесцветный. Он хорошо пропускает свет в коротковолновой области видимого спектра (400–500 нм), но, естественно, задерживает ультрафиолет. С возрастом хрусталик желтеет (поэтому в молодости небо действительно голубее). Благодаря этому перед сетчаткой появляется дополнительный желтый светофильтр. Результатом наших исследований как раз и стал желтый хрусталик, о котором шла речь. Уже более одного миллиона трехсот тысяч таких искусственных хрусталиков имплантировано в России во время операций по удалению катаракты (когда заменяют собственный мутный хрусталик пациента).

Как известно, с возрастом у многих людей начинаются заболевания сетчатки — это одна из наиболее «горячих точек» современной офтальмологии. Во многих развитых странах — в США, в Европе, в том числе и в России, эти болезни приводят к частичной, а иногда и полной слепоте и инвалидности по зрению. Возрастные заболевания сетчатки становятся серьезной социальной проблемой. Согласно многим научным публикациям, свет выступает в этих заболеваниях как усугубляющий фактор. Поэтому исследование механизмов повреждающего действия света на сетчатку — важная и актуальная задача.

В нашей лаборатории мы получили новые данные о фотоповреждении родопсина, которые будут опубликованы в научных журналах практически одновременно с

этой статьей. Оказалось, что видимый свет может повреждать молекулу родопсина. А раз так, это может привести к нарушению темновой адаптации — фундаментального физиологического свойства зрительной системы, а именно ее способности привыкать к темноте после пребывания на ярком свете.

Винником повреждения молекулы родопсина может стать сам ретиналь. Дело в том, что на последней стадии фотопревращения родопсина (рис. 6) происходит высвобождение его хромофорной группы — полностью-*транс*-ретиналь выходит из белковой части молекулы и переходит в липидную фазу мембраны. В норме этот полностью-*транс*-ретиналь из наружной части палочки сетчатки быстро удаляется. Для этого существует специальный биохимический механизм. Однако вполне возможны ситуации, например, при избыточном обесцвечивании родопсина (когда он из пурпурного становится желтоватым) или при некоторых заболеваниях сетчатки, когда ретиналь остается в мембране палочки и накапливается там. Вот тогда он легко взаимодействует в этой самой мембране с аминокетонами липидов и родопсина. Если это произошло, то под действием света ретиналь будет проявлять свои фотосенсибилизирующие свойства, вызывая повреждение липидов и зрительного пигмента родопсина. Мы экспериментально показали, что при облучении ярким видимым светом нарушается важнейшая функция зрительного пигмента — его способность к регенерации, то есть восстановлению исходного темнового состояния. Это свидетельствует о том, что портится его белковая структура (рис. 8).

Конечно, эксперимент мы проводили *in vitro*, но в организме избыточное накопление полностью-*транс*-ретиналя в мембране зрительной клетки вполне может служить фактором риска, с которым связано усугубляющее действие света при развитии дегенеративных заболеваний сетчатки.

Исследуя молекулярные механизмы зрения, мы вновь убеждаемся в справедливости слов академика С.И. Вавилова: «Глаз нельзя понять, не зная Солнца». Не зная физических характеристик солнечного света, доходящего до Земли, не зная особенностей световой экологии животных и человека, нельзя понять ни молекулярной машинерии нормального акта зрения, ни природы нарушения этого механизма. Между тем, все это безумно интересно и, несомненно, полезно для медицины. А в будущем, может быть, и для молекулярной электроники.





Три точки генетического кода

Кандидат биологических наук
Н.Л.Резник

О буквах и точках

Грандиозная эпопея возникновения жизни на Земле включала в себя множество этапов, и один из них — становление генетического кода. Белки состоят из 20 аминокислот, а вся информация об аминокислотной последовательности

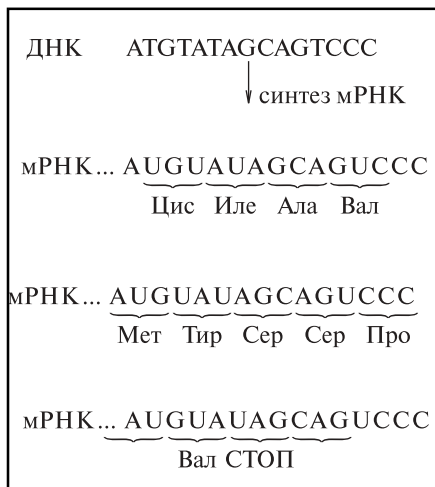
белков записана в молекулах ДНК или РНК с помощью всего четырех нуклеотидов. Чтобы эта информация могла воплотиться в многочисленные белки, ее надо перевести с нуклеотидного языка на аминокислотный. Для этого существует генетический код — соответствие между последовательностью из трех нуклеотидов (триплетом, или кодоном) и одной аминокислотой. Когда возникает потребность в каком-либо

белке, клетка печатает с нужного гена копию — молекулу информационной, или матричной, РНК (мРНК), которая устремляется в рибосому, где происходит чтение мРНК и синтез белка: триплет за триплетом, аминокислота за аминокислотой. Усилиями Г.Кораны, М. Ниренберга, С.Очоа, П. Ледера и других ученых генетический код был полностью расшифрован к июню 1966 года, и с тех пор его записывают в виде таблицы, в которой у каждого нуклеотида и каждой аминокислоты есть постоянное место.

В таблице генетического кода 64 триплета, из которых 61 кодирует аминокислоты, а остальные три обозначают точку — сигнал к прекращению белкового синтеза. Точка, так-



Художник С. Дергачев



Примеры сдвига рамки считывания.
В первом ряду считывание последовательности мРНК происходит без сдвига. Во втором ряду рамка считывания сдвигается на один нуклеотид влево, и в результате получается совсем другая аминокислотная последовательность. В третьем ряду произошел сдвиг считывания на один нуклеотид вправо. Дальнейшее считывание прерывает точка

тели размышляют над этой теорией, тем менее они склонны верить в случайности.

Основное требование к генетическому коду – устойчивость к мутациям. И действительно, наш родной код к ним устойчивее, чем множество альтернативных. При случайной замене одного нуклеотида в кодоне получается другой триплет, но нередко он кодирует либо ту же самую аминокислоту, либо аминокислоту со схожими химическими свойствами: гидрофобная аминокислота заменяется гидрофобной, гидрофильная – гидрофильной. Даже если последовательность белковой молекулы немного изменилась, ее конформация остается прежней, что очень важно для функционирования белка.

Долгие годы внимание исследователей кода было обращено на значащие триплеты. А что же точки? Им досталось, что осталось – или последовательности стоп-кодонов имеют значение не меньшее, чем пос-

ледовательности аминокислотных триплетов? В этом вопросе попробовали разобраться Г.Г.Малинецкий, С.А.Науменко и А.В.Подлазов – специалисты Института прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН.

Точки и сдвиг рамки

Когда за дело берутся математики, приготовьтесь к расчетам. Ученые начали с того, что подробно рассмотрели множество всех возможных разметок кода с тремя стоп-кодонами. Таких разметок 41 664, поскольку три любых кодона из шестидесяти четырех можно выбрать 41 664 способами. И это множество математики проверили на устойчивость к мутациям – главное требование, предъявляемое генетическому коду. Первый из возможных типов мутаций – чтение нуклеотидной последовательности со сдвигом на один нуклеотид вправо или влево. Такие мутации называются сдвигом рамки считывания. Сдвиг рамки полностью искажает генетическую информацию (см. рисунок), и белок получается нефункциональный, поэтому его синтез лучше как можно скорее прекратить. Для этого оптимальна разметка, которая при чтении со сдвигом обеспечивает максимальную вероятность появления стоп-кодонов.

Для решения этой задачи представим себе пару смысловых триплетов, то есть последовательность из шести нуклеотидов. Чтобы при сдвиге рамки вправо или влево синтез белка прерывался, нуклеотиды в положениях 2 – 3 – 4 или 3 – 4 – 5 должны образовывать стоп-кодон. Например, в последовательности AUAGCA (изолейцин-аланин) второй, третий и четвертый нуклеотиды образуют стоп-кодон UAG. При сдвиге рамки вправо чтение гена в этой паре прервется. Таких пар кодонов, которые при сдвиге рамки вправо образуют точку, существует не более 192, и столько же – при сдвиге влево. (В каждой шестерке три позиции занимают нуклеотиды стоп-кодона, а остальные три нуклеотида можно выб-

же называемая стоп-кодоном, – это единственный знак препинания в генетическом коде.

Наш генетический код – один из многих теоретически возможных. Тем не менее он един для всех обитателей планеты, хотя существуют варианты кода, которые отличаются от общепринятого несколькими кодонами. Более полувека ученые размышляют о том, случайно ли это единство или наш вариант кода имеет какие-то преимущества перед всеми другими.

В 1968 году Фрэнсис Крик предложил теорию закрепленной случайности, согласно которой наш код – случайный выбор, закрепленный эволюцией. Но чем дольше исследова-

рять 4^3 способами. Три варианта стоп-кодонов $\cdot 4^3 = 192$.) Методом перебора вариантов ученые установили, что трехточечных кодов с оптимальной разметкой, которая обеспечивает 192 пары со стоп-кодонами внутри, существует всего 2432, то есть 5,8% от общего количества. В эту группу избранных попал и наш генетический код.

Точки и замены нуклеотидов

Помимо сдвига рамки считывания существуют еще точковые мутации – замена одного нуклеотида на другой. При точечковой мутации получившийся белок часто остается функциональным, поэтому прерывать его синтез не нужно. В данном случае оптимальной будет разметка, при которой замена нуклеотида как можно реже превращает значащие кодоны в точки. (Такие замены называются нонсенс-мутациями.) Попробуем подсчитать количество оптимальных разметок для этого случая.

Вариант 1. Рассмотрим разметки, в которых каждый из трех стоп-кодонов отличается от двух других всего одним нуклеотидом. Сколько тогда будет нонсенс-мутаций? Разберемся в этом на конкретном примере. Предположим, некий код имеет стоп-кодоны AGA, CGA и UGA (см таблицу). Тогда замена нуклеотида может превратить в точки 19 значащих кодонов (назовем такие кодоны уязвимыми).

Существует всего 27 возможностей превратить некие кодоны в точку (три стоп-кодона \cdot три положения в триплете \cdot три нуклеотида, на которые можно заменить каждый из нуклеотидов в мутирующем кодоне). Каждая точковая мутация, превращающая один стоп-кодон в другой, уменьшает число мутаций, идущих на

то, чтобы превращать в них смысловые кодоны. Количество мутаций, переводящих стоп-кодоны друг в друга, в данном случае не может превышать шести. Поэтому нонсенс-мутаций будет не менее 21 ($27 - 6$). Теперь проанализируем возможные варианты разметок. Количество мутаций, которые при такой разметке могут перевести значащий кодон в точку, составляет 21, то есть минимальное из всех возможных. (Три мутации превратят в стоп-кодон GGA, и по одной мутации – остальные 18 кодонов.) Таких вариантов разметки может быть 192, или 0,46% от общего количества.

Вариант 2. Предположим, что один стоп-кодон в результате точковой мутации может превратиться в два других, но те друг в друга уже не превращаются. Именно такова разметка нашего родного кода: UAA, UAG и UGA. Мутаций, которые переводят стоп-кодоны друг в друга, при такой разметке только четыре, следовательно, на смысловую часть кода остаются 23 мутации. Зато уязвимых кодонов всего 18: UAC, UAU, UCA, UUA, UGG, AAA, AAG, AGA, GAA, GAG, GGA, CAA, CAG, CGA, UCG, UUG, UGC, UGU. Эта группа содержит 1728 разметок, или 4,15% от общего количества.

Вариант 3. Пускай два стоп-кодона превращаются один в другой, а третий не может стать ни одним из них. В этом случае мутаций, переводящих стоп-кодоны друг в друга, будет всего две, а остальные 25 – нонсенс-мутации. Число уязвимых кодонов при такой разметке варьирует от 20 до 25.

Вариант 4. Ни один из стоп-кодонов не превращается в другой. Все 27 нонсенс-мутаций приходятся на смысловую часть кода, а количество уязвимых кодонов – от 21 до 27.

Варианты 3 и 4 явно не оптимальны. Вариант 1 обеспечивает минимальное количество нонсенс-мутаций, вариант 2 – наименьшее количество уязвимых кодонов и, следовательно, наибольшую устойчивость структуры белка к точковым мутациям.

И другие соображения

Итак, наш любимый генетический код представляет собой один из 2432 вариантов, оптимальных с точки зрения мутаций сдвига рамки, и один из

1728 вариантов, дающих минимальное количество кодонов, уязвимых для нонсенс-мутаций. А кодов, оптимальных по обоим критериям, оказывается, всего 528, то есть менее 1,3% всех возможных вариантов. Если же принять во внимание и другие обстоятельства, то количество оптимальных разметок становится еще меньше.

Давным-давно, когда на нашей планете синтезировались абиогенным путем первые органические вещества, условия на ней более благоприятствовали синтезу нуклеотидов А и Т, нежели остальным. (Моделируя условия синтеза органических веществ на древней Земле, экспериментаторы облучали ультрафиолетом смесь газов, предположительно идентичную составу древней атмосферы, и пропускали через нее искру. Среди полученных органических веществ аденин и тимин преобладали над гуанином и цитозиноном.) И такая важная часть генома, как стоп-кодоны, использует преимущественно А и Т (мы говорим сейчас о последовательности ДНК). Из девяти нуклеотидов трех стоп-кодонов семь – аденины и тимины. Математики подсчитали, что большее число А и Т не позволяет оптимально решить задачу о сдвиге рамки. С учетом эволюционно-химического критерия количество оптимальных разметок сокращается до 40! И наш код оказался в их числе, пройдя свирепый конкурс 1000 разметок на место.

До сих пор речь у нас шла только о кодах с тремя точками, но теоретически стоп-кодонов может быть и меньше, и больше. Однако, как подсчитали математики, именно трехточечные коды обеспечивают наибольшее количество оптимальных разметок.

Любимый, но не единственный

Итак, наш код, благодаря одному лишь правильному выбору количества и качества стоп-кодонов, обеспечивает максимально возможную сохранность генетической информации при сдвиге рамки считывания и точковых мутациях, а также наилучшим образом соответствует распространенности простейших органических соединений, какой она была на стадии зарождения жизни. Если проанализировать и другие особенности кода, он наверняка окажется совершенством, с какой точки зрения ни глянь. Откуда же он взялся такой?

Если помните, Ф. Крик считал наш код случайностью, закрепленной от-

Стоп-кодоны	AGA	CGA	UGA
Уязвимые кодоны	AAA AUA ACA AGC AGU AGG	CAA CUA CCA CGG CGU CGC	UAA UUA UCA UGG UGU UGC
	GGA		



Первая буква (5')	Вторая буква				Третья буква (3')
	U	C	A	G	
U	Фен	Сер	Тир	Цис	U
	Фен	Сер	Тир	Цис	C
	Лей	Сер	СТОП	СТОП	A
	Лей	Сер	СТОП	Трп	G
C	Лей	Про	Гис	Арг	U
	Лей	Про	Гис	Арг	C
	Лей	Про	Глн	Арг	A
	Лей	Про	Глн	Арг	G
A	Иле	Тре	Асн	Сер	U
	Иле	Тре	Асн	Сер	C
	Иле	Тре	Лиз	Арг	A
	Мет	Тре	Лиз	Арг	G
G	Вал	Ала	Асп	Гли	U
	Вал	Ала	Асп	Гли	C
	Вал	Ала	Глу	Гли	A
	Вал	Ала	Глу	Гли	G

Ала — аланин	Иле — изолейцин
Арг — аргинин	Лей — лейцин
Асн — аспарагин	Лиз — лизин
Асп — аспарагиновая кислота	Мет — метионин
Вал — валин	Про — пролин
Гис — гистидин	Сер — серин
Гли — глицин	Тир — тирозин
Глн — глутамин	Тре — треонин
Глу — глутаминовая кислота	Трп — триптофан
	Фен — фенилаланин
	Цис — цистеин

В таблице генетического кода указаны нуклеотиды, входящие в состав РНК. Молекулы ДНК содержат не урацил, а тимин, поэтому в последовательностях ДНК U заменено на T

бором. Но когда отбор закрепляет такую совершенную и редкую вещь, мысль о случайности кажется нелепой. О причинах неслучайного мы сейчас рассуждать не будем. А что касается отбора, то следы его действия сохранились.

Так, анализируя таблицу генетического кода, академик РАН Ю.Н.Журавлев установил, что расположение аминокислот в ней закономерно и зависит от вкуса аминокислот. В первом и третьем столбцах таблицы расположены преимущественно горькие, а во втором и четвертом — сладкие. Трудно предположить, чтобы в процессе эволюции генетического кода аминокислоты разделились на две большие вкусовые группы. Скорее наоборот, мы наблюдаем результат объединения двух отдельных систем кодирования, существовавших на заре эволюции. Другими словами, современный генетический код имеет, по мнению Ю.Н.Журавлева, химерное происхождение.

Химеры в биологии не новость. По подсчетам ученых, впервые они возникли по меньшей мере 3500 млн. лет назад. В это время вступали в

симбиоз различные виды бактерий, образуя эукариотические клетки — те, из которых построены животные, грибы и растения. Наш самый знаменитый симбионт — митохондрия до сих пор сохранил следы былой независимости, в том числе и генетической. У митохондрий собственная система белкового синтеза, и их генетический код отличается от кода ядерного генома (причем митохондриальный код беспозвоночных отличен от митохондриального кода позвоночных животных). Впрочем, и ядерный код бывает с вариациями. Все изменения, и в митохондриях, и в ядрах, состоят либо в присвоении смысла стоп-кодону, либо в превращении смыслового кодона в кодон, не имеющий никакого смысла, либо (крайне редко) в изменении значения смыслового кодона.

Равнозначны ли разные коды с точки зрения защиты от мутаций или какой-нибудь геном с нетрадиционной разметкой терпит ущерб? По-видимому, произошедшие изменения не представляют для генома большой опасности. Утрачивают смысл, как правило, те кодоны, которые клетка и так использует крайне редко. К тому же изменения геномной разметки найдены только у некоторых бактерий и довольно примитивных эукариот с небольшими геномами и малым количеством мутаций. А геномы большие и сложные, требующие особой защиты от повреждений, всегда используют стандартную разметку. Митохондриальный геном маленький, поэтому мутаций в нем происходит гораздо меньше, чем в большом ядерном геноме. А если принять во внимание огромное количество митохондрий в клетке, то понятно, что даже не самый оптимальный митохондриальный код организму не повредит.

Недавно ученые обнаружили еще один сюрприз, преподнесенный генетическим кодом: он, оказывается, бывает неоднозначным! В митохондриях многих видов дрожжевых грибов *Candida* кодон CUG обозначает не только лейцин, но и серин. По

мнению исследователей, это изменение возникло 272±25 млн. лет назад, еще до расхождения родов дрожжей *Candida* и *Saccharomyces*. Но *Saccharomyces* утратили эту мутацию, а многие виды *Candida* сохранили. Очевидно, неоднозначность CUG — особое эволюционное явление, дающее селективное преимущество некоторым, но не всем видам одного рода. Неоднозначность разметки приводит к тому, что белки, кодируемые одним геном, не являются абсолютно идентичными химическими соединениями, а фактически представляют собой смесь белков с переменным химическим составом.

Исследования последних 20 лет изменили наши понятия о генетическом коде. Он, оказывается, не случаен, не универсален, не однозначен и при этом защищает геном от всяких неожиданностей. Возможно, в ближайшее время мы узнаем о нем еще что-нибудь новенькое. Ведь исследования продолжаются, поэтому в истории о генетическом коде рано ставить точку. Лучше поставить сразу три — многоточие.

Статья написана по материалам публикаций:

«Об экстремальных свойствах разметки генетического кода» из «Докладов Академии наук», 2007, т. 414, № 6 (авторы: Г.Г.Малинецкий, С.А.Науменко, А.В.Подлазов, Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН; e-mail: gmalin@keldysh.ru) и «Молекулярный механизм эволюционных изменений генетического кода» из журнала «Молекулярная биология», 2007, том 40, № 4 (авторы: Ana C. Gomes, Tatiana Costa, Laura Caretto, Manuel A.S.Santos, Department of Biology and CESAM, University of Aviero, Portugal; msanos@bio.ua.pt).





РЕСУРСЫ

Новая нефть на старом месте

В старых залежах и давно отработанных скважинах время от времени снова возникает нефть. Это явление привлекает внимание многих исследователей. Свое объяснение феномена предлагают и специалисты Института проблем нефти и газа под руководством академика А.Н.Дмитриевского.

Земная кора подобна пирогу, составленному из жестких слоев и слоев трещиновато-пористых, насыщенных различными флюидами, в том числе и нефтью. В некоторых местах кора пронизана особенно густой сетью разломов и трещин. Разломы образуют полости, расположенные почти горизонтально и объединенные в сеть. Вся эта сложная система из-за действия тектонических сил находится в непрерывном движении. Слои движутся, трещины расширяются и при этом действуют, как резиновая груша: в образовавшиеся пустоты из окружающих пористых слоев начинает поступать жидкость. При значительных тектонических напряжениях она перемещается на большие расстояния.

По мнению исследователей, этот механизм движения жидкости в коре — самый интенсивный и универсальный из всех возможных. Он действует как в разломах, так и в тонких трещиноватых слоях, которые простираются на большие расстояния. Колебания в коре гонят флюиды по всем направлениям, в том числе горизонтально и даже вниз. Перемещение происходит по протяженным системам полостей и трещин, расположенным на глубине 10–15 км.

Движение жидкостей, вызванное расширением внутренних полостей, носит колебательный характер: нефть то прихлынет, то отхлынет. Режим и период колебаний зависят от размера возмущенной области. В крупных пористых слоях период колебаний составляет около 10 тысяч лет. В разломах период меньше и варьирует от тысячи до сотен и даже десятков лет, если зоны разломов расположены на небольших глубинах.



Ученые исследовали процесс миграции углеводородов из нефтеносного слоя в верхние слои в нескольких регионах. Примером может служить Ромашкинское месторождение в Татарстане. Объем добытой там нефти уже значительно превысил ранее утвержденные запасы. По сведениям ОАО «Татнефть», более 65% нефти в Татарстане добывают на старых месторождениях, выработанных на 80%. Но доразведка известных залежей позволила за последние 25 лет прирастить запасы нефти в полтора раза. В Ромашкинском месторождении исследователи тоже обнаружили старые отработанные скважины с возобновленными притоками нефти и нефти с водой. Площадь нефтяных залежей и их запасы возрастают с увеличением плотности сети разломов. Интересно, что в зоне гигантского Ромашкинского месторождения толщина осадочного покрова в среднем не превышает двух километров и этот покров не обладает значительным нефтяным потенциалом. Скорее всего, нефть пришла в эти места со стороны Предуральяского прогиба.

По мнению ученых, ревизия старых нефтяных залежей в настоящее время гораздо выгоднее и эффективнее, чем дорогостоящие геолого-разведочные работы на новых местах.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Полимер вместо фарфора

Сотрудники Всероссийского электротехнического института в Москве разработали и запатентовали технологию, с помощью которой можно делать высоковольтные изоляторы проще, дешевле и лучше, чем обычными методами. Особенность таких изоляторов в том, что вместо традиционного фарфора разработчики предлагают использовать материал на основе кремнийорганического полимера,

а особенность технологии — в принципиально новом способе нанесения этой полимерной оболочки на несущий элемент конструкции (0900@vei.ru).

Так называемую силиконовую резину в качестве внешних изолирующих оболочек для высоковольтного оборудования используют уже не один год. Теоретически метод прост: делают форму, закатывают в нее под давлением полимерную массу (по консистенции она довольно густая — напоминает пластилин) и отжигают при повышенной температуре. Готовое изделие извлекают, а форму используют вновь. Однако на практике все совсем не просто и очень дорого: формы и оборудование стоят немалых денег, да и процесс сложный.

Метод, который предложили использовать специалисты из ВЭИ, принципиально иной. Суть его в том, что из экструдера специальной конструкции полимерную массу выдавливают и наматывают на вращающуюся основу, как нитку на катушку. Теперь изделие можно отжигать — и ни работающее под давлением оборудование, ни формы уже не нужны!

У полученной таким способом оболочки для изоляторов есть еще одна особенность — спиралеобразная форма. Изоляторы обычной конструкции похожи на стопку фарфоровых тарелок, на поверхности которых, естественно, накапливается пыль, а в дождь собирается вода. А со спиральной поверхности изолятора вода стекает сплошным потоком, да еще и разгоняется при движении сверху вниз и с последнего витка разбрызгивается практически горизонтально. Учитывая, что полимер обладает водоотталкивающими свойствами (вода на его поверхности не растекается, а собирается каплями и скатывается с нее), понятно, что новые изоляторы всегда чище и суше, чем обычные фарфоровые. А значит — надежнее.

Кроме того, такие изоляторы еще и безопаснее фарфоровых. В случае, скажем, электропробоя или от удара (всякое бывает) фарфоровые или стеклянные изоляторы взрываются, и острые осколки разлетаются по всей округе. Полимерные изоляторы и изоляционные оболочки не взрываются ни при каких обстоятельствах: полимер гибкий, поэтому в крайнем случае он просто порвется. Хотя



механическая прочность у них весьма высока, срок службы не меньше четверти века, а напряжение они выдерживают очень высокое, вплоть до тысячи киловольт. Наконец, они еще и легче фарфоровых — это также немаловажно.

Разработанная в ВЭИ технология формирования изолирующих оболочек позволяет получать не только изоляторы, но и вообще любые круглые изолирующие конструкции, в том числе и полые. Такие конструкции необходимы для размещения в них высоковольтного оборудования, чтобы защитить его от окружающей среды, а среду — от высокого напряжения.

экология

Запах смерти

Запахи играют огромную роль в общении животных. Они рассказывают о многом, в том числе о приближении смерти. Больные животные выделяют с мочой пахучие сигналы, которые, в зависимости от тяжести патологии, привлекают или отпугивают собратьев по виду. К такому выводу пришел специалист Медицинского радиологического научного центра РАМН Б.П.Суринов, много лет изучающий пахучую сигнализацию грызунов (surinov@mrrc.obninsk.ru).

Пахучие химические вещества, феромоны, служат животным для общения. Ими братья наши меньшие метят территорию, демонстрируют собратьям иерархическую роль или половую принадлежность, регулируют размножение в группе, обеспечивают взаимосвязь матери и детеныша. У феромонов много функций, и ученые стараются постичь их все, но исследования проводят в основном на здоровых животных. Химическая сигнализация больных зверей изучена гораздо меньше, хотя не менее интересна.

Б.П.Суринов работал с мышами, часть которых получила смертельную дозу гамма-облучения, часть — токсическую дозу нитрата свинца, а еще одной группе животных привили злокачественную опухоль. Мочу у животных собирали на лист фильтровальной бумаги, который клали на сутки под сетчатое дно клетки. Затем наступал черед здоровых мышей-тестеров. Их по одной сажали в клетку, где в укромных местах лежали бумажки с образцами мочи подопытных и здоровых животных. Мышь-тестер шла на запах, а экспериментатор наблюдал, какую бумажку она выберет.

Оказалось, что на ранней стадии облучения, отравления или развития опухоли феромоны больных мышей привлекают собратьев. Такое же действие оказывает запах мочи грызунов, которым не угрожает гибель — например, испытавших стресс или получивших несмертельную дозу облучения. Когда же патология развилась и участь мыши решена, ее моча приобретает отталкивающий запах, который обостряется перед самой смертью. Действие запаха зависит не от характера патологии, а только от степени ее тяжести. Значение отталкивающих сигналов понятно: они ограничивают контакты тяжело больных животных и предотвращают возможное распространение инфекции (очевидно, феромон оповещает только о тяжести состояния больного, но не сообщает точного диагноза). Зачем нужны феромоны, привлекающие к больному зверю, ученым еще предстоит разобраться.

Химические сигналы патологии есть не только у животных, но и у людей. В те времена, когда главную роль в медицине играли не приборы и анализы, а опыт и интуиция врача, медики отмечали, что пациенты с различными заболеваниями имеют специфические запахи, и даже ставили диагноз по запаху мочи. А за несколько дней до гибели у тяжелобольных появлялся специфический запах, который называли предвестником смерти.

Следовательно, у животных, а вероятно, также и у человека есть механизм запаховой сигнализации критического состояния организма. У животных он регулирует поведение.

физиология

Вода в нашем теле

Тело человека на 70% состоит из воды, но где та вода и всюду ли ее поровну? Сотрудники ВНИИ лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР) в Москве исследовали содержание воды в мышечных и соединительных тканях человека. Как оказалось, количество воды зависит от физической нагрузки, которую испытывает ткань, и от содержания в ней коллагена. Практического применения этим результатам они пока не видят, но — о нашем теле важна любая информация (va@diamondsoft.ru).

Ученые исследовали кожу, ахиллово сухожилие, хрящи надколенника и трахеи, реберный хрящ, мышцу живота и фасцию широкой мышцы живота. Ткани получали от мужчин от 32 до 56 лет, погибших в результате травмы, в течение 24 часов после смерти. Во всех тканях сначала определили содержание воды, потом под давлением 500–800 атмосфер отжали из образцов свободную воду, чтобы выявить количество воды, связанной с полимерными молекулами тканей.

Итак, самой влагоемкой из всех изученных тканей оказалась мышечная: она на 77% состоит из воды. Причем лишь четверть (26%) этой воды находится в связанном состоянии, остальная вода — свободная. Все изученные виды соединительной ткани содержали больше связанной воды, чем мышцы, особенно ткани, испытывающие серьезные нагрузки. Так, в фасции широкой мышцы живота (то есть в оболочке из соединительной ткани, покрывающей мышцу) 90% воды находится в связанном состоянии. Высока доля связанной воды в хряще надколенника и ахилловом сухожилии, которые тоже выдерживают большие нагрузки.

Три вида хряща — надколенный, реберный и хрящ трахеи — содержат разное количество связанной воды. Они отличаются друг от друга не только нагрузками, но и содержанием коллагена. Чем больше коллагена в хряще, тем выше в нем содержание связанной воды. Возможно, именно коллагеновые волокна и удерживают большую ее часть.

Ткани не только отдают свободную воду, они могут ее и впитывать. Чем больше пор и полостей содержит ткань, тем больше влаги она может вобрать. Лучше всех это делает кожа. Если долго посидеть в ванне, то, вылезая, можно почувствовать, как она набухает.

Различные патологии тканей (воспаления, травмы, ожоги и дерматозы) влияют на тканевый влагообмен. Исследователи в порядке эксперимента нарушили структуру основного вещества сухожилия и хряща. При этом соотношение свободной и связанной воды в ткани изменилось.



О пользе холестерина

Доктор биологических наук

А.Р.Кудинов,

доктор биологических наук

Н.В.Кудинова

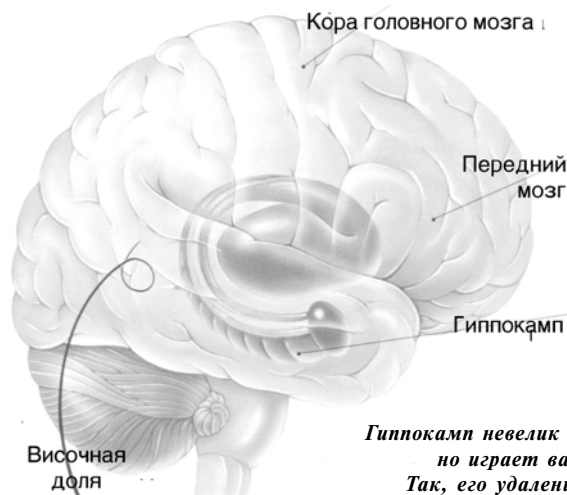
Конец холестеринового мифа?

«Холестерин — это плохо». Об этом кричат газетные статьи о здоровом образе жизни, реклама биодобавок и сайты, посвященные похудению, а упаковки тысяч наименований продовольственных товаров гордо сообщают об отсутствии или сниженном содержании этого опасного вещества. Снижать холестерин советуют врачи, с жаром убеждая пациентов в необходимости использования столь популярных сегодня препаратов из группы статинов — ингибиторов ключевого этапа биохимического синтеза холестерина. А между тем статины вызывает серьезные осложнения.

Теперь уже трудно вспомнить всех, кто так или иначе содействовал формированию этой догмы — представлению о холестерине и других жирах как исключительно «плохих» биомолекулах. Борцов с холестерином, возможно, удивит, что ученые этого представления не разделяют. Еще в 2001 году один из самых авторитетных международных научных журналов, «Science», опубликовал статью известного научного журналиста, постоянного корреспондента журнала Гэри Таубса. Результаты предпринятого им расследования сводились к тому, что наука о пищевых жирах — в действительности лженаука. По его мнению, догму о вреде жиров в шестидесятые годы прошлого столетия сформировали совместные усилия небеспристрастных амбициозных ученых, заинтересованных политиков, бюрократов, средств массовой информации и ищущей легких ответов на трудные вопросы общественности. Это грустный наглядный пример недоразумений, которые могут произойти при спешке в выработке нормативных рекомендаций системы здравоохранения и неверной трактовке выводов настоящей науки.

Не будем гадать, кому принесла больше пользы паника вокруг холестерина — индустрии пищевого фарминдустрии. Так или иначе, анализ научных статей, опубликованных в том же журнале «Science», показал удивительный факт: сотни миллионов долларов, отпущенных на исследования, и пятьдесят лет научного поиска лучших лабораторий всего мира не смогли сколько-нибудь убедительно доказать, что ограничение пищевых жиров действительно полезно. Ну хоть ты тресни, но научно-экспериментально обосновать, что «самоистязание» обезжиренной диетой служит продлению жизни так и не удалось! (Gary Taubes. The soft science of dietary fat. «Science», т. 291, № 5513, с. 2536—2545 (30 марта 2001) Доступно онлайн по адресу: <http://www.nasw.org/awards/2001/01Taubesarticle1.htm>)

«Химия и жизнь» не раз писала о том, что с жирами вообще и холестерином в частности все обстоит куда сложнее, чем представляется адептам «здорового питания». Допустим, можно отмахнуться от слов Лайнуса Полинга: «За исключением сахара ешьте все, что вам



Гиппокамп невелик по размеру, но играет важную роль. Так, его удаление вызывает у человека полное выпадение памяти о недавних событиях, а его электрическое раздражение во время операций может сопровождаться появлением мимолетных воспоминаний

нравится... Яйца и мясо — прекрасная еда» («Химия и жизнь», 1999, № 10) — мол, нобелевский лауреат позволял себе много оригинальных высказываний. Но то, что холестерин плазмы крови может не повышать, а снижать риск атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний (в последнем случае речь идет о холестерине липопротеинов высокой плотности — именно в этой форме избыточный холестерин транспортируется из тканей в печень, подробнее см. «Химию и жизнь», 2006, № 12), — неоспоримый факт. Да и диетологи все чаще подвергают сомнению постулаты о целебности всего обезжиренного и невкусного («Химия и жизнь», 2007, № 3).

И уж совсем не поворачивается язык назвать холестерин «плохим» применительно к нервной системе. Ведь мозг человека, составляющий два процента массы тела, содержит четверть всего холестерина организма. Но если системному холестерину и его роли в этиологии атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний посвящено тысячи исследований и научных публикаций, то холестерин мозга до недавнего времени оставался своего рода «табу» для исследователей. Нет, отдельные научные работы, посвященные этой тематике, конечно, были, но они не носили систематического характера. К слову сказать, из тысяч научных статей по тематике «холестерин и синаптическая нейропластичность». (Проверены все статьи, опубликованные за 35 лет (1965—2001) в международных научных журналах, а также в Интернете при поддержке HighWire Press, онлайн-из-





С помощью такой установки ученые ведут диалог с гиппокампом. Электроды перемещаются микроманипуляторами под контролем бинокулярного микроскопа. Можно погрузить электроды ровно на половину толщины микронного среза. А результаты показаны на графике (стр. 19)



дательского отдела Стэнфордского университета, поиском по ключевым словам в названии статей или их тезисах.)

Так зачем же холестерин мозгу?

...Плюс электрификация всего организма

Вообще-то холестерин нужен не только нервам, но и всему организму, ведь холестерин и фосфолипиды (эти биомолекулы тоже принадлежат к классу жиров) — «кирпичики», из которых построены мембраны любой клетки. А мембрана — это граница, отделяющая мир индивидуальной клетки от «внешнего мира», определяющая и направляющая ее взаимодействие с другими клетками, их сочетанную работу в масштабах органа, ткани или организма в целом.

Но у мембран нервной клетки есть еще одна важная функция: обеспечение работы сложнейшей электрической системы мозга, лежащей в основе механизмов памяти и обучения. Этакое РАО ЕЭС, только не России, а пожалуй что целой галактики — мало кто возьмется спорить с тем, что человеческий мозг невообразимо сложен. А именно мембрана нейрона ответственна за возникновение и проведение нервного импульса, его электрохимическую передачу (нейротрансмиссию) от одного нейрона к другому, за формирование сочетанного электрического ответа многих нейронов, который лежит в основе сложных реакций определенных участков мозга на раздражения — нормальные, физиологические или патологические, как, например, при эпилептическом припадке.

Очевидно, что электрическая активность обеспечивается отлаженной инфраструктурой, несогласованность работы которой может привести к печальным послед-



Извлеченный из мозга крысы гиппокамп (слева) нарезают микротомом. При этом необходимо уложиться в 4–5 мин. Затем срезы переносят в камеру для записи электрофизиологических параметров

ствиям. В основе этой инфраструктуры — сложнейший набор биохимических и молекулярно-биологических превращений. Биомакромолекулы — те же жиры, поддерживающие в рабочем состоянии «линии электропередач», углеводы, необходимые для питания, белки-рецепторы и белки-ферменты, катализирующие разные этапы «производства» макромолекул и не менее важный процесс их «утилизации»; малые молекулы, в том числе нейромедиаторы, обеспечивающие передачу «электроэнергии» нервного импульса от одного нейрона к другому... Чем не целая отрасль со своим министерством, главками, производственными мощностями и отделом сбыта? Только в галактическом масштабе — на меньшее не тянет.

Так зачем нужна вся эта электрификация? При чем здесь нервные импульсы, нейротрансмиссия, пресинаптические и постсинаптические нейроны-подстанции? И как все это связано с холестерином?

Запоминание на клеточном уровне

Когда информация, закодированная в нервном импульсе, передается от одного нейрона к другому, нервные окончания первого, пресинаптического нейрона (называемые аксонами) освобождают в межсинаптическое пространство специальные мембранные пузырьки, содержащие медиаторы. После освобождения из пузырьков медиаторы связываются с белками-рецепторами на синаптической поверхности нейрона-приемника (также называемого постсинаптическим нейроном). Рецептор-опосредованные биохимические и биофизические процессы постсинаптического нейрона обеспечивают «прием» нервного импульса, его подстройку (см. ниже) и пропагацию — проведение по нервным отросткам нейрона-приемника.

Нейромедиатор же остается, что называется, не у дел. Его функция заключалась в связывании с рецептором и запуске каскада биохимических реакций в постсинаптическом нейроне. Поэтому в норме нейротрансмиттер возвращается обратно в первый нейрон, упаковывается в новый мембранный пузырек и оказывается готовым к новому акту нейротрансмиссии. Грамотно, правда? В нервной клетке-приемнике электрический сигнал, поступивший от нейрона-передатчика, обрабатывается и может настроиться или адаптироваться к потребностям «текущего момента».

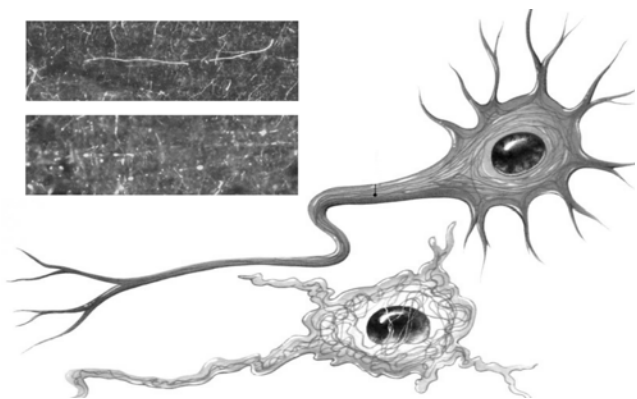
И вот эти-то пластические изменения силы ответа нейрона-приемника (или нейронов-приемников) нейробиологи договорились — при прочих равных условиях — считать молекулярно-клеточной моделью памяти. Если ответ на внешнее раздражение (подаваемое, скажем, каждые 30 секунд) не изменился — речь идет о «базисной» активности нейронов. Если ответ стал более выраженным, то речь идет о долгосрочном синаптическом «усилении», «нейропластичности», «потенциации».

Есть свой метод и для оценки системы нейротрансмиссии (передачи «электроэнергии» от нейрона к нейрону), называемый парным усилением. При записи пар-

ного усиления срезы ткани мозга стимулируют парой быстро следующих друг за другом (с интервалом от 10 до 30 миллисекунд) раздражений. На каждое из раздражений возникает потенциал действия, причем сила второго потенциала зависит от эффективности «цикла переработки» синаптических пузырьков — возврата медиатора в пресинаптический нейрон, его упаковки в новые синаптические мембранные пузырьки. Чем больше остается при первом ответе в синаптической щели неутрилизованного нейромедиатора, тем выше будет сила второго потенциала.

Нейрофизиологи смогли увидеть в мощный микроскоп, что при синаптической нейропластичности происходит рост дендритов — нервных отростков нейронов-приемников. (Этот процесс специалисты называют «структурная пластика нейронов».) Вот оно как оказалось: «усиление ответа» потребовало усиления соответствующей инфраструктуры: возросла нагрузка в системе — возникла потребность обеспечения ее бесперебойной и надежной работы в новых условиях.

Строительными кирпичиками в дендритах нейронов, как и любых других мембранах живых клеток, служат упомянутые выше холестерин и фосфолипиды. Вопросом о том, откуда эти кирпичики берутся в процессе становления синаптической нейропластичности, и задались авторы этой статьи — сотрудники академической группы профессора кафедры биохимии медицинского факультета РУДН, академика РАН Т.Т.Березова.



Типичную картину дегенерации нейронов (внизу) мы наблюдали при удалении из гиппокампа холестерина. Вверху — нормальный нейрон. На панелях в верхней части рисунка показано как эти отростки выглядят под микроскопом

Память питается холестерином?

Для эксперимента мы использовали живые срезы гиппокампа белых крыс. Есть такая область в мозге человека и грызунов, важная для формирования памяти, и к тому же слоистая и четко ограниченная, так что выделить этот кусочек ткани, имея «должные» навыки, совсем не сложно. А потом его можно «нашинковать» на тонкие срезы (до полумиллиметра), которые, если все сделать быстро и поместить в физиологический раствор, да еще и кислород подвести, будут жить «в пробирке» не менее суток. Это, конечно, не голова профессора Дуэля, описанная Александром Беляевым, — но это реально существующая элегантная экспериментальная система. Со срезами можно проводить фармакологические эксперименты — обрабатывать разными реагентами, одновременно изучая их электрическую активность. Для этого стандартным образом от среза к срезу, от животного к животному размещают электроды, стимулируют ткань гиппокампа стандартными же электрическими сигнала-

ми и снимают ответные потенциалы действия. В общем, у нас в пробирке оказываются «линии электропередач» мозга. Небольшая часть из всего их множества, зато доступная для изучения.

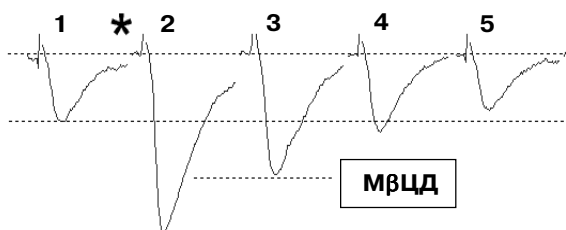
Нам удалось получить интересные результаты, которые были опубликованы в престижных отечественных и международных научных изданиях: «Вестнике РАН», «Вопросах медицинской химии» (ныне «Биомедицинская химия»), журнале Федерации американских обществ по экспериментальной биологии (FASEB) и, наконец, в «Science». Можно сказать без ложной скромности: мы сделали то, чего до нас никто не делал.

Гиппокамп не только играет важную роль в механизмах памяти, это еще и структура мозга, обогащенная рецепторами для липопротеинов, макромолекулярных комплексов, построенных из белков и жиров. Одна из функций липопротеинов уже упоминалась в начале статьи — удаление холестерина из клеток, желающих от него избавиться: лишний холестерин покидает ткани именно в составе «хороших» липопротеинов высокой плотности. Кроме того, липопротеины обеспечивают быстрый транспорт холестерина в клетки, в нем нуждающиеся (например, для строительства новых мембран). Для этого клеткам, принимающим холестерин, нужны специальные рецепторы. Есть связывание липопротеинового комплекса с рецептором — будет и транспорт холестерина через клеточную мембрану, нет — значит, холестерин в клетку не попадет. При выведении холестерина все происходит в обратном порядке: холестерин из клетки передается липопротеинам, способным холестерин принять. Они-то и занимаются последующей транспортировкой этого важного груза.

Мы предположили, что именно быстрый транспорт холестерина к нейронам с помощью липопротеинов (например, того холестерина, который синтезируют астроциты — вспомогательные клетки ткани мозга) обеспечивает быстрый рост дендритов нервных клеток при развитии синаптической пластичности. На более же поздних этапах вместо холестерина липопротеинов клетки, возможно, начинают использовать холестерин, синтезированный в нейронах заново, то есть уже после запуска каскада «нейропластических» механизмов. Эксперименты мы спланировали таким образом, чтобы проверить эти предположения.

Во-первых, мы смоделировали в срезах дисбаланс обмена холестерина — острое усиление тканевого обмена и неспособность гиппокампа «перераспределять» холестерин на нейроны, несмотря на обилие в нем липопротеиновых рецепторов. Чтобы имитировать это состояние, мы удаляли холестерин из срезов, добавляя в инкубационную среду циклодекстрин или липопротеины высокой плотности, выделенные из образцов спинномозговой жидкости доноров, взятых для биохимического анализа.

Напомним читателю, что липопротеины высокой плотности — это природные приемники-распределители холестеринного «вторсырья» организма, а по совместительству и мини-мануфактуры по его переработке. В составе липопротеинов холестерин может быть отправлен в печень для утилизации и выведения из организма с желчью в виде желчных кислот — или к другому «месту несения службы», к тем клеткам организма, где его не достает. Хolesterolin клеток принимает на себя специальные незрелые липопротеины высокой плотности, имеющие форму дисков. Ферменты превращают холестерин в водонерастворимый эфир, который тут же мигрирует к центру частицы. При этом диск превращается в зрелый



Регистрация ответов мозга на запросы экспериментатора. Сначала – полевые возбуждающие постсинаптические потенциалы (ВПСП). Полевые – потому что отвечает не один нейрон, а группа. Стимулируя срезы каждые 30 сек, получаем в ответ базовые ВПСП (1). После тетанического раздражения – 100 раздражений за секунду – ответ увеличивается более чем вдвое (2) и остается повышенным полчаса– час (3). Это и есть долгосрочная потенциация. При добавлении к срезам метил-бета-циклодекстрина, поглощающего холестерин (МВЦД), синаптическая пластичность сходит на нет, ответы возвращаются к базовому уровню (4, 5)

сферический липопротеин. На этой разности размера частиц (и процентного соотношения в них разных липидных компонентов), к слову сказать, основано препаративное разделение разных липопротеинов методом ультрацентрифугирования в градиенте плотности, о котором пойдет речь дальше. Что касается синтетических циклодекстринов, то они также имеют гидрофобную полость, которая может принимать холестерин.

В наших экспериментах добавление в инкубационную среду липопротеинов или циклодекстрина делало невозможным нормальное быстрое перераспределение холестерина (и фосфолипидов) в срезах, потому что холестерин оказывался связанным с экспериментальными внешними акцепторами и таким образом исключался из нормальных биохимических механизмов в ткани гиппокампа. Это было тщательно подтверждено биохимическими и гистохимическими методами.

На таких препаратах были изучены два упомянутых выше электрофизиологических параметра: парное усиление и долгосрочная потенциация, отражающие эффективность нейротрансмиссии и синаптической пластичности соответственно. Так вот, при экспериментальном «отлучении» холестерина и фосфолипидов от нейронов гиппокампа оба параметра оказались нарушенными! А это значит, что свободный доступ к ткани мозга холестерину и фосфолипидам липопротеинов – необходимое условие для работы механизмов памяти.

Во-вторых, мы попытались выяснить, что происходит с синтезом липидов после запуска синаптической пластичности в интактных срезах. Для этого после индукции долгосрочной потенциации мы проделали серию биохимических процедур. Сначала метаболически метили срезы, «предлагая» клеткам ацетат, углерод в котором был заменен на радиоактивный изотоп ^{14}C (именно из ацетата синтезируются липиды, в том числе холестерин). Затем выделили из препарата липиды и разделили их хроматографическим методом. Кроме того, мы высушивали срезы на покровных стеклах и экспонировали их с фотопластинами в глубоком холоде. После проявления фотопластин мы увидели, что встраивание радиоактивной метки во вновь синтезированные липиды гиппокампа усиленно шло именно там, где мы вызывали долгосрочную потенциацию. А встраивалась она во вновь синтезированные липиды гиппокампа (в том числе, и холестерин).

Кроме того, мы использовали метаболическое меченые липиды в переживающих срезах мозга (так называют срезы мозга, поддерживаемые в жизнеспособном состоянии в пробирке), чтобы показать, что именно через



липопротеины нервных клетки гиппокампа опосредуют обмен и холестерина, и фосфолипидов. В этом случае мы выделяли липопротеины из среды, в которой инкубировались срезы, методом ультрацентрифугирования в градиенте плотности. Именно во фракции очищенных липопротеинов мы и обнаруживали радиоактивную метку, а не в остальной толще центрифужного объема, где должны были бы плавать малые молекулы не встроеного в липиды радиоактивного предшественника.

Радиоавтография подтвердила важную роль липидных синтезов на поздних этапах синаптической нейропластичности. Интересно, что базовая синаптическая активность, реализуемая без вовлечения механизмов синаптической пластичности, не сопровождалась усилением синтеза липидов вообще и холестерина в частности.

Итак, холестерин важен для нормальной работы нейронов и механизмов памяти. Но какую роль он играет при заболеваниях мозга? В еще одной группе экспериментов мы показали, что нарушение нормального метаболизма внутриклеточного холестерина в ткани гиппокампа – даже при остром эксперименте – вызывает нейродегенерацию. Она проявлялась в чрезмерном фосфорилировании белка TAU – важного элемента «скелета» нейронов и нервных волокон, этакой «внутренней арматуры» сложнейшей вытянутой конструкции нервной клетки. Эти изменения были особенно выражены в пресинаптических волокнах – аксонах в определенной области гиппокампа, называемой CA3. Также имело место нарушение целостности нейрофиламентов – еще одного основного элемента «арматуры» отростков нейронов: при окраске антителами нейрофиламенты становились прерывистыми, варикозно расширенными, а это и есть нейродегенерация (см. фото отростков нейронов на стр. 18). В ее общепринятом понимании...

Казалось бы, можно поставить точку и рапортовать о прорыве. Ведь холестерин нужен нейронам, а его нехватка приводит к анатомической картине болезни Альцгеймера как минимум на уровне гиппокампа (опять-таки с точки зрения устоявшихся «классических» представлений о болезни). Увы, не так все просто. Дело в том, что фрагментация нейрофиламентов и избыточное фосфорилирование белка TAU могут иметь место и в норме – в узкий промежуток времени, когда мозг молодого организма интенсивно растет и в нем происходят нейрональные перестройки. Так что же тогда есть нейродегенерация? – воскликнет внимательный читатель. Компенсаторная реакция организма на какие-то другие, еще более глубокие и пока непонятные нарушения? Попытка мозга работать в режиме, близком к нормальному, даже тогда, когда «линии электропередач» дали очевидный сбой, наладить систему дублирования функции? Пожалуй, так оно и есть. Но это уже другая история.

С автором статьи можно связаться по адресу: alexeikoudinov@neurobiologyoflipids.org



Новое уравнение фотосинтеза

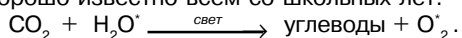
Доктор химических наук
Г.Г.Комиссаров

Одна из самых трудных вещей в мире — это смотреть на что-либо просто.

Джидду Кришнамурти

Есть простой психологический опыт. Испытуемым предлагают три предмета: гвоздь, веревку, гирию, и просят сделать маятник. Все быстро решают задачу, используя гирию в качестве молотка. Другой группе ставят ту же задачу и дают те же предметы, но веревка уже привязана к гире. Казалось бы, отличие небольшое, но вторая группа решает задачу гораздо медленнее: многие не сразу «видят» молоток в гире с привязанной веревкой. Теперь представьте себе, как тяжело решить задачу, в которой принимают участие несколько тысяч связанных между собой химических реакций.

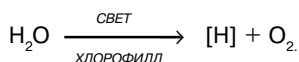
Таков фотосинтез — уникальный, глобальный и фундаментальный биологический процесс. Его суммарное уравнение хорошо известно всем со школьных лет:



Звездочкой обозначен кислород воды, из которой, как принято считать, выделяется молекулярный кислород.

Механизм фотосинтеза изучают уже более двух веков, и тем не менее это остается одной из центральных проблем современного естествознания. Почему исследователи работают так неэффективно? Есть несколько объяснений. Немецкий ботаник Юлиус Сакс, впервые зарегистрировавший образование крахмала в освещенных хлоропластах, в 1875 году отмечал: «Чем дальше мы удаляемся от эпохи основателей физиологии, тем объемистей становятся книги и тем тоньше нить, связывающая отдельные опыты, пока она не разрывается совсем». Сто лет спустя японский исследователь Х.Тамия на открытии Международного биохимического конгресса в Москве сказал: «С каждым новым успехом науки перед нами раскрывается необыкновенная сложность механизма фотосинтеза, и поэтому многие из нас вынуждены быть специалистами лишь в какой-то одной области. Однако при всех достоинствах такой специализации мы можем утратить способность видеть проблему в целом».

Несмотря на всю сложность фотосинтеза, в нем можно выделить две основные стадии: световую, для протекания которой необходим свет, и темновую, которая следует за световой. На первой, световой, стадии происходит, как принято считать, фоторазложение воды с выделением молекулярного кислорода, который в качестве побочного продукта выбрасывается в атмосферу:



Образовавшийся водород вступает затем в темновую цикл реакций, во время которых происходит фиксация углекислого газа и превращение его в углеводы (условно обозначим их CH_2O):



Вторую, темновую, стадию, включающую множество фер-

ментативных реакций, детально изучил и описал выдающийся американский химик Мэлвин Кальвин, за что в 1961 году ему была присуждена Нобелевская премия (эта стадия теперь называется «цикл Кальвина»).

Итак, фотосинтез состоит из двух основных стадий: фотолиз воды и темновой синтез углеводов. Причем во второй стадии нет ничего специфически фотосинтетического. Например, фиксировать диоксид углерода в темноте могут также клетки печени крысы, если есть подходящий донор водорода.

Вся уникальность фотосинтеза как процесса преобразования солнечной энергии в химическую заключена в его световой стадии. И сложность проблемы в том, что хлорофиллу необходимо накопить энергию как минимум трех квантов света, чтобы разложить одну молекулу воды. До недавнего времени считали, что разлагать воду под действием видимого света с образованием молекулярного кислорода способны лишь живые организмы или их фрагменты, сохранившие эту способность.

Моделирование световой стадии

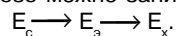
Долгое время думали, что живая клетка работает совсем иначе, чем химик в своей лаборатории. Однако чем глубже ученые исследовали разные процессы, тем больше убеждались, что резкая грань, которую они хотели провести между неорганической и органической природой, была скорее кажущейся, чем действительной.

Сванте Аррениус

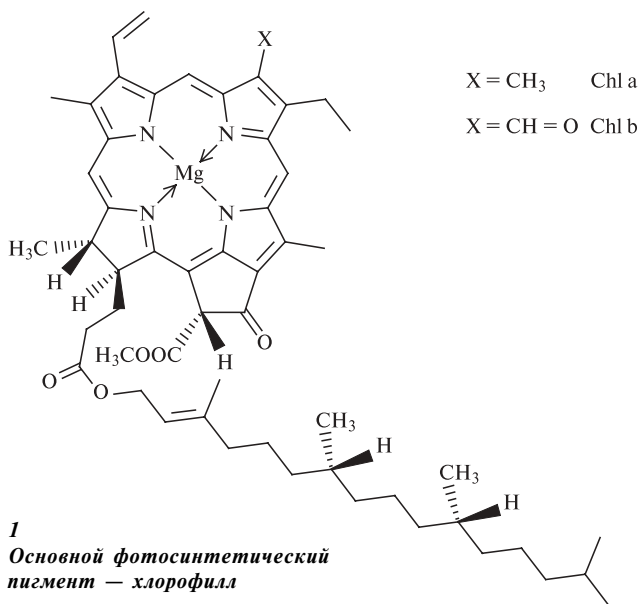
После того как Роберт Бернс Вудворд (Нобелевская премия по химии 1965 года) синтезировал хлорофилл, в популярной литературе появились сообщения: «Загадка фотосинтеза решена». Это совершенно наивное представление. Естественно, синтез основного фотосинтетического пигмента (он включает 30 стадий) — крупнейший успех органической химии. Однако для моделирования, например, световой стадии фотосинтеза можно использовать и хлорофилл, выделенный из растений или синтезированный в лаборатории. А сегодня уже существует большой класс синтетических порфириновых соединений, обладающих близкими к хлорофиллу фотохимическими свойствами (рис. 1, 2).

Можно ли воспроизвести световую стадию фотосинтеза с помощью абиогенных модельных систем? Такие попытки предпринимались и предпринимаются до сих пор. Расскажем об одной из них подробно.

Последовательность превращения энергии при фотосинтезе можно записать так:



То есть световая энергия превращается сначала в электрическую, а потом в химическую. Это значительно облегчает моделирование фотосинтеза, поскольку его можно разбить на два независимых этапа. Причем последний этап (превращение электрической энергии в химическую) — обычный электролиз воды с выделением газообразного кислорода. В промышленном масштабе этот процесс давно проводится с эффективностью больше 90%, поэтому он нам был неинтересен.



1
Основной фотосинтетический пигмент — хлорофилл

На втором Международном биофизическом конгрессе (Австрия, 1966), мною была предложена функциональная модель хлоропласта — фотовольтаическая батарея, которая моделировала преобразование световой энергии в электрическую. Первый вариант ее наша исследовательская группа (Институт химической физики АН СССР) реализовала через два года. Батарея была составлена из четырех электродов, покрытых синтетическим аналогом хлорофилла — фталоцианином (рис. 2). Ее световой потенциал достигал 2,4 В — этого вполне достаточно для электролиза воды с выделением молекулярного кислорода (потенциал разложения воды 1,23 В), а ток был 5 · 10⁻⁵ А, что при последующем электролизе давало такое количество кислорода, которое легко было регистрировать традиционными методами. Но квантовый выход фототока был небольшим (0,01—0,1%). И тем не менее впервые было доказано, что абиогенное устройство может выделять кислород из воды под действием видимого света, то есть воспроизводить одну из основных функций хлоропласта. Затем аналогичные батареи были сделаны в США, Японии и других странах.

Естественно, нас не устраивал квантовый выход, поэтому мы занялись систематическим изучением механизма эффекта Беккереля (то есть механизма появления фототока в пленках фотополупроводника, контактирующего с одной стороны с электролитом, а с другой — металлическим электродом). В результате мы повысили выход нашей установки сначала до единиц, а потом и до десятков процентов, а значит, по эффективности они уже не уступали природным фотосинтезирующим структурам. Тем самым еще раз подтвердилась справедливость высказывания биохимика Эрвина Чаргаффа: «Модели — в отличие от тех, которые позировали Ренуару, — с годами улучшаются».

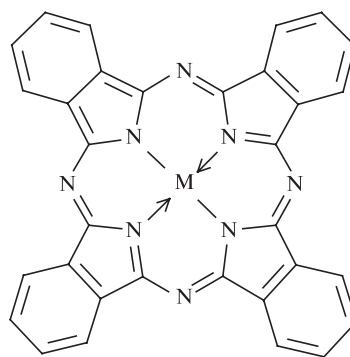
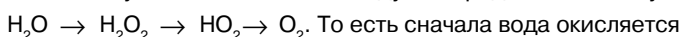
Еще одно важное обстоятельство: в процессе изучения механизма фотовольтаического эффекта мы обнаружили, что фототок вызван присутствием в электролите пероксида водорода.

Откуда берется кислород

Лист всегда поворачивает свою лицевую сторону к небу, дабы смог он лучше воспринять всю свою поверхность росу, которая медленным движением исходит из воздуха.

Леонардо да Винчи

Мы проанализировали, как выделяется кислород при электролизе, фотолизе и радиолизе воды, и сопоставили эти экспериментальные данные с тем, что происходит в живых системах. С учетом этого в 1973 году мы предложили схему:



M = Zn, AlCl

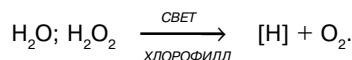
2
Синтетический аналог хлорофилла — фталоцианин

РАССЛЕДОВАНИЕ

до пероксида водорода, и только потом выделяется молекулярный кислород. Чтобы подтвердить участие пероксида водорода в ходе фотосинтетического выделения кислорода, мы исследовали кинетику выделения кислорода хлореллой.

Как я уже говорил, основная проблема современного фотосинтеза — понять, каков механизм световой стадии. Пока основные усилия исследователей, занятых изучением фотосинтеза, были направлены на то, чтобы объяснить, каким образом молекула хлорофилла (она же реакционный центр, выделяющий кислород) способна накопить энергию нескольких квантов света, чтобы потом использовать ее для образования молекулярного кислорода. Чтобы разложить устойчивую молекулу воды, одного кванта света мало, нужно минимум три. Этой проблеме посвящено огромное количество научных статей. Авторы пытались выяснить структуру реакционного центра, предложить новые модели и т. д. Мы предположили (о чем написали уже в первой работе, посвященной фотозлектрохимической гипотезе фотосинтеза), что загадка биологического окисления воды с выделением кислорода — не только в свойствах хлоропласта, но и в самой воде.

Всестороннее и многолетнее знакомство с физико-химическими свойствами воды привело нас к однозначному выводу: в природе нет чистой воды, в ней всегда присутствует примесь — пероксид водорода. Еще в позапрошлом веке было обнаружено, что содержание пероксида водорода в дождевой воде — 0,4 — 1 мкг на 1 литр, по современным уточненным данным — 10⁻⁶М. Еще больше H₂O₂ в росе. В природных водоемах (морях, реках, озерах) H₂O₂ на порядок меньше — 10⁻⁶М. Как отмечал Д.И. Менделеев в «Основах химии», чем слабее раствор перекиси водорода в воде, тем он постояннее. Соответственно световую стадию фотосинтеза мы можем записать так:



На первый взгляд может показаться, что речь идет о пренебрежимо малой примеси, которая никак не может повлиять на фотосинтез. Однако это не так. Когда вода испаряется из раствора, концентрация пероксида увеличивается в десятки раз, поскольку его летучесть значительно меньше, чем у воды. Этот способ концентрирования водных растворов H₂O₂ давно применялся в химической практике. Транспирация (испарение воды растениями) — это тот же процесс, правда она выполняет еще одну функцию, защищая растения от перегрева. Из каждого килограмма воды, впитанного корнями из почвы, лишь 1 грамм (одна тысячная часть!) используется растением на построение ткани. Следовательно, зеленый лист можно рассматривать как своеобразный концентратор H₂O₂.

Кроме того, возможно, что, когда вода поднимается вверх по стеблю, в ней тоже образуется пероксид водорода (рис. 3). Это предположение основано на экспериментальных данных члена-корреспондента Г.А. Домрачева по образованию H₂O₂





при движении воды в стеклянных капиллярах. Недавно эти результаты получили дополнительное подтверждение в работах Г.С.Ходакова. Таким образом, ствол снабжает хлоропласт дополнительным количеством H_2O_2 .

Помимо экзогенного (поступающего через корни с водой), в фотосинтезирующей клетке есть и эндогенный H_2O_2 . Его вырабатывают митохондрии, расположенные в цитоплазме, пероксисомы и другие органеллы. Так, до 40% пероксида водорода, генерированного в пероксисомах, переходят в цитозоль (жидкая часть цитоплазмы клетки, заполняющая пространство между органоидами). Тот факт, что H_2O_2 присутствует в соке растений, причем его содержание зависит от температуры и интенсивности освещения, был отмечен еще в начале прошлого века.

Современные экспериментальные данные подтверждают, что содержание H_2O_2 в растительных клетках действительно колеблется в широких пределах. Средняя величина — около 1 мкМ на миллиграмм хлорофилла, то есть на каждую молекулу хлорофилла (включая хлорофилл, входящий в состав антенны-светосборщика) приходится одна молекула пероксида водорода. Если же пересчитать только на хлорофилл, входящий в состав кислородвыделяющих комплексов, то получится на два порядка больше H_2O_2 . Вот и выходит, что пероксида водорода в растениях вполне достаточно, чтобы объяснить наблюдаемую интенсивность выделения из него молекулярного кислорода. (Напомню, что второе исходное вещество при фотосинтезе — диоксид углерода, и его содержание в воздухе составляет лишь 0,03%.) Результаты изотопных исследований, выполненных академиком А.П.Виноградовым и М.В.Кутюриным в 50-х годах прошлого века, также подтверждают образование кислорода именно из пероксида водорода.

Новый взгляд на природу фотосинтеза

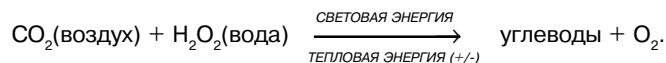
Я всегда гораздо лучше ладил с коллегами-химиками, чем с коллегами-биологами, потому что часто подчеркивал важность химии.

Эрвин Чаргафф

Результаты многолетней работы нашей лаборатории, а также критический анализ литературных данных по фотосинтезу привели нас в 1995 году к принципиально новой концепции. Суть ее сводится к тому, что обсуждалось в предыдущей главе: источником кислорода (и водорода) при фотосинтезе служит не вода, а перексид водорода экзо- и эндогенного происхождения. Однако есть еще один важный момент. Принято считать, что тепловая энергия — это отброс фотосинтеза. Со студенческих лет меня смущало это обстоятельство: почему растения, живущие на нашей планете миллиарды лет, 95% световой энергии превращают в тепло и эволюция не устранила такую «расточительность»?

В 1973 году мы показали, что тепловая энергия — необходимый участник фотосинтеза. По нашим расчетам, происходит локальный разогрев хлоропласта до 80°C (время релаксации 10^{-5} с). Можно предположить, что локальное повышение температуры значительно ускоряет разложение H_2O_2 , а значит, и выделение молекулярного кислорода.

В новой концепции фотосинтеза уравнение выглядит так:

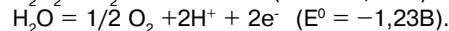
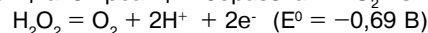


Вода — это просто реакционная среда для протекания фотосинтетических реакций, то есть обычный растворитель. Знак (+/-) означает, что, когда свет очень интенсивный, лист отдает тепловую энергию окружающей среде, а когда света мало — работает как тепловой насос. Основное отличие предложенного уравнения от традиционного — замена H_2O на H_2O_2 и добавление тепловой энергии как необходимого участника.

Воздух и воду мы не случайно добавили в уравнение. Возможно, что в будущем окажется, что и другие компоненты воздуха и природной воды принимают участие в фотосинтезе. Так, появились сообщения, что инертные газы влияют на скорость деления клеток, и вряд ли это их единственная роль. Естественно, без воды фотосинтез, как, впрочем, и все другие жизненные процессы, невозможен.

Естественный вопрос читателя: «Все знают, что перексид водорода — это яд. Как же клетка не погибает от него?» Напоминаю, что перексид водорода — нормальный метаболит любой аэробной клетки, в том числе и фотосинтетической. В химической литературе отмечено, что «такое реакционноспособное соединение, как перекись водорода, обладает минимальной токсичностью».

Итак, если в фотосинтетической системе есть два потенциальных источника кислорода, вода и перексид водорода, очевидно, что эту роль возьмет на себя последний. Достаточно сопоставить значения стандартных электродных потенциалов реакций образования O_2 из H_2O_2 и H_2O :



Природа всегда стремится к экономному расходованию энергии.

Основные следствия

Обычно автор статьи по чистой, академической химии делает небольшой реверанс в сторону промышленного использования результатов, а затем постепенно «ускользает» в сторону.

Роалд Хоффман

Прежде всего надо отметить, что в рамках новой концепции снимаются те противоречия, которые существуют в современной физиологии растений. Так, становится понятно, зачем нужна транспирация — испаряя воду, лист накапливает перексид водорода. Находит логичное объяснение связь между фотосинтезом и фотодыханием (реакция, обратная фотосинтезу, которая сопровождается образованием пероксида водорода). К настоящему времени во всем мире уже потрачены огромные средства на попытки получить растения с нулевыми или сниженными транспирацией и фотодыханием. Все эти попытки закончились безрезультатно. Новые взгляды на природу фотосинтеза могут помочь физиологам и селекционерам найти условия, при которых растения дают больший урожай. Это, естественно, отодвинет наступление генномодифицированных продуктов питания.

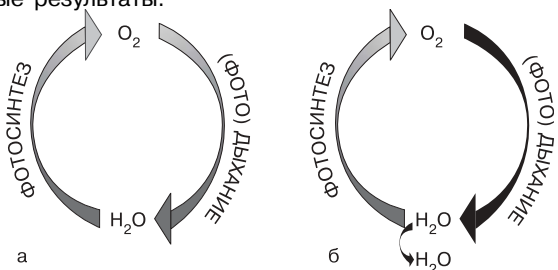
Так, в последние годы наша лаборатория получила три патента, в которых предложены средства для увеличения содержания крахмала в сельскохозяйственных растениях и препараты для повышения устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Идет подготовка к оформлению новых патентов. Все это препараты на основе H_2O_2 .

Также мы подтвердили хорошо известный факт, что перексид водорода стимулирует рост и развитие растений. Для регистрации роста кроме традиционного биологического подхода мы применили недавно предложенный метод лазерной интерференционной ауксанометрии. Интересно отметить,

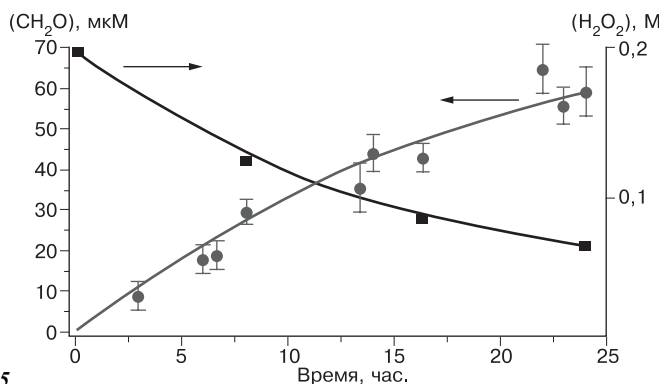
что наибольший эффект получался, когда мы использовали такие же концентрации H_2O_2 , как в дождевой воде.

Новую концепцию фотосинтеза можно использовать и для решения задач, связанных с развитием космонавтики. Приведем такой пример. В сентябре 1991 года восемь ученых в США начали двухгодичные испытания в изолированном от внешнего мира комплексе «Биосфера-2» («Химия и жизнь», 2007, №12). Предполагалось, что это прообраз будущих космических станций на планетах Солнечной системы. Уже в июле 1992 года содержание кислорода внутри комплекса снизилось с 20,94% до 16,4%. Дальше концентрация кислорода падала примерно на 0,3% в месяц – пришлось, в нарушение первоначального замысла, добавлять O_2 в комплекс извне. По нашему мнению, причина неудачи была в том, что проектировщики исходили из традиционных представлений о механизме фотосинтеза, который предполагает, что фотосинтез и дыхание взаимно компенсируют друг друга. А это не так. Если посмотреть на уравнение, предложенное нами, то видно, что эти процессы существенно различаются (рис. 4). Отсюда вытекает, что если в замкнутом объеме не предусмотреть механизм образования пероксида водорода, как это происходит в природе, например при грозах, то и кислородная атмосфера не будет регенерировать.

Отмечу еще одно следствие, вытекающее из новой концепции. Оно связано с новыми подходами к конструированию солнечных преобразователей энергии. Их можно делать, используя фотовольтаические модели фотосинтеза. До сих пор в таких установках пытались под действием видимого света разложить воду. Новая концепция фотосинтеза предполагает, что целесообразно использовать системы, в которых в качестве экологически чистого топлива выступает пероксид водорода. Его запасы в природных водах огромны (по нашим оценкам – около $5 \cdot 10^{19}г$), причем они постоянно возобновляются. Преимущества этого способа – не только экологическая чистота (конечные продукты разложения H_2O_2 – молекулярный кислород и вода). Напомним, что предстоящую экологическую катастрофу на Земле связывают и с тепловым загрязнением нашей планеты, а принцип получения электричества, заимствованный у зеленого листа, позволит успешно противостоять потеплению. Предварительные опыты, выполненные в нашей лаборатории, уже дали весьма перспективные результаты.



4 Фотосинтез и фотодыхание в традиционной (а) и новой (б) концепции



5 Кинетика накопления формальдегида и расходования H_2O_2 в фотокаталитической реакции восстановления бикарбонат-аниона



До сих пор мы обсуждали проблему фотосинтетического выделения кислорода. Но предложенная концепция позволяет обратиться и к искусственному фотосинтезу, то есть фотохимическому связыванию углекислоты и образованию органических соединений. Такие попытки предпринимаются с конца XIX века. Как писал автор трехтомной монографии о фотосинтезе (1956) американский ученый Е.Рабинович, «в этих исследованиях обычно применяли освещение растворов двуокиси углерода в присутствии различных сенсibilизаторов и затем искали следы формальдегида или других органических соединений с той же горячностью, с какой в свое время алхимики стремились обнаружить золото на дне тиглей».

Недавно мы доказали, что можно синтезировать органические вещества из CO_2 в лаборатории под действием видимого света (рис. 5). Сначала мы провели термодинамические оценки: рассчитали изменения энтальпии и энергии Гиббса при 298°K в реакциях, где в качестве исходных реагентов для CO_2 использовали H_2O_2 и H_2O . Оказалось, что по термодинамическим параметрам взаимодействие CO_2 и пероксида водорода требует значительно меньших энергетических затрат, чем аналогичная реакция CO_2 с водой. Так, для синтеза формальдегида соответствующие значения энергии Гиббса меньше на 30%. Предварительные результаты, свидетельствуют о том, что под действием света из неорганического углерода и пероксида водорода получают органические вещества, имеющие CH_2 и CH_3 – группы. Мы также зарегистрировали образование формальдегида. Это, без сомнения, открывает широкие перспективы в реализации искусственного фотосинтеза.

В конце своей монографии Е.Рабинович написал: «Поскольку все попытки воспроизвести фотосинтез вне живой клетки или разделить этот процесс на отдельные стадии, которые можно было бы повторить в бесклеточных аппаратах, оказались неудачными, создалось впечатление, что существует какой-то центральный «секрет фотосинтеза» – некое простое фотохимическое превращение, выяснение которого позволило бы сразу понять сущность фотосинтеза и, может быть, даже и воспроизвести его вне живой клетки».

Что может быть проще пероксида водорода – окисленной воды?

Что еще можно почитать о новой концепции фотосинтеза:

Г.Г.Комиссаров. Фотосинтез: физико-химический подход. М.УРСС, 2003.

Г.Г.Комиссаров. Фотосинтез: физико-химический подход. «Химическая физика», 2003, т.22, № 1.

А.В.Лобанов, С.Н.Холуйская, Г.Г.Комиссаров. Фотокаталитический синтез формальдегида из CO_2 и H_2O_2 . «Доклады РАН», 2004, т.399, № 1.

Г.Г.Комиссаров. Фотоэлектрохимические батареи, моделирующие фотосинтез, как перспективные источники тока. «Энергетика России. Проблемы и перспективы». М.: Наука, 2006.

РОЛЬ ПРОТОНА В ЖИЗНИ ЧЕРВЯ

Биологи из США узнали, что протоны помогают червям какать.

Erik Jorgensen,
jorgensen@biology.utah.edu

В зарубежных лабораториях

То, что у клеток желудка есть протонные рецепторы, — неудивительно: переваривать пищу нам помогает соляная кислота. А зачем такие рецепторы в мозгу тех же мышей? Неужели голое ядро атома водорода способно быть нейротрансммитером, как, например, в сто раз большая молекула серотонина? Ученые из Института мозга при университете Юты во главе с профессором Эриком Йоргенсеном отвечают на этот вопрос утвердительно. Свой изящный эксперимент они ставили на нематодах.

У этих простейших червей есть многие органы, присущие высшим животным. В частности, прямая кишка, которая сокращается каждые 50 секунд и освобождает кишечник вечно поедающей пищу нематоды. Для такого сокращения нужно задействовать определенную группу мышц. Именно на их поверхности ученые и разглядели очередную порцию протонных рецепторов. Возникло предположение, что кишечник вырабатывает протоны, которые, попав на рецептор мышцы, заставляют ее работать.

Чтобы проверить идею, ученые добавили в пространство между мышцей и кишечником зеленый белок, теряющий окраску в кислой среде. Оказалось, что у нормальных нематод белок действительно обесцвечивается. А у нематод-мутантов, которые погибали от запора, белок оставался зеленым, то есть их кишечник протоны не вырабатывал. Дальнейшее было делом техники: ученые быстро нашли ген, который кодирует белок, служащий насосом для выбрасывания протонов наружу. Добавив же нематодам-мутантам куда надо протоны, они добились нормальной работы мышц. А значит, именно протон выполнил функцию химического переносчика информации между органами нематоды.



МАГНИТНЫЙ ТУМБЛЕР ДЛЯ КЛЕТКИ

Ученые из США учатся с помощью магнитов управлять поведением клеток.

Пресс-секретарь
James Newton,
james.newton@childrens.harvard.edu

В зарубежных лабораториях

Чтобы заставить клетку выполнять работу — бить врага-микроба или вырабатывать инсулин, — надо воздействовать на ее соответствующий рецептор. Как правило, врачи это делают с помощью искусственно вводимых гормонов. «Мы предлагаем пойти по совершенно иному пути — использовать наномагниты», — говорит доктор Дон Ингбер из Бостонской детской больницы.

В своих первых опытах ученые создали магнитные частицы размером 30 нм с внутренним ядром диаметром всего 5 нм. Частицы подобного размера оказались в суперпарамагнитном состоянии, то есть приложением магнитного поля их можно было по многу раз переводить как в магнитное, так и в немагнитное состояние. Каждую частицу соединили с одной молекулой антигена, соответствующей рецептору клеток иммунной системы. «Один антиген на частицу — это очень важно, — говорит участник работы доктор Роберт Манникс. — Нам хотелось каждую частицу присоединить только к одному рецептору, чтобы можно было управлять отдельной клеткой». Как показали опыты, такое управление организовать удалось: клетки, к рецепторам которых присоединились наномагниты, под действием магнитного поля открывали каналы для пропускания внутрь ионов кальция. А без магнитного поля ничего такого не наблюдалось.

«Мы надеемся, что в будущем с помощью магнитных наночастиц удастся управлять множеством процессов в живом организме и при этом обойтись без лекарств. Например, человек, больной диабетом, поев сладкого, сможет с помощью магнита стимулировать пересаженные ему под кожу клетки, вырабатывающие инсулин», — говорит Дон Ингбер.

В зарубежных лабораториях

Использование позитронных томографов в США для выявления опухолей, наблюдением за работой сердца или мозга растет со скоростью 20% в год. Чтобы провести исследование этим методом, в кровеносные сосуды человека впрыскивают раствор, содержащий радиоактивный фтор-18. Период полураспада этого изотопа весьма невелик — около двух часов, и уже через сутки в организме остается одна десятитысячная часть исходного вещества. С одной стороны, это хорошо — меньше доза облучения. А с другой стороны, применение такого короткоживущего изотопа сильно затрудняет градуировку томографа. В результате данные, полученные в разных лабораториях и даже в разные дни, трудно сравнивать.

Ученые из Национального института стандартов (США) предложили взять в качестве эталона другой изотоп — германий-68. Характер его радиоактивности весьма близок к активности фтора-18, однако период полураспада гораздо больше — 270,95 суток. В институте приготовили ряд калибровочных растворов с этим изотопом и собираются на их основе создать новую стандартную процедуру проверки позитронных томографов.

ДУБЛЕР ДЛЯ ФТОРА-18

Американские ученые придумали, как градуировать позитронные томографы.

Пресс-секретарь
Ben Stein,
bstein@nist.gov

В зарубежных лабораториях

«Чтобы вырастить кожу, мы берем несколько волосков с тела человека и извлекаем из их корневых стволовые клетки. Затем мы обрабатываем их особым образом и выращиваем клеточную культуру. Спустя некоторое время объем питательной жидкости сокращается и поверхность клеток приходит в соприкосновение с воздухом. Повышенное давление и присутствие кислорода заставляют их превратиться в клетки кожи», — рассказывает руководитель работы из Фраунгоферовского института клеточной терапии и иммунологии доктор Герно Шмидекнехт.

Выращивая таким способом маленькие кусочки кожи, ученые теперь могут закрывать у пациента рану размером от 10 до 100 кв. см. Совместно с компанией «Euroderm GmbH» они получили разрешение на использование разработанного метода для лечения трофических язв на ногах, а также язв у больных диабетом и надеются в 2008 году обеспечить лечением до 20 человек в месяц. Кожа из волос закрывает язву примерно за два с половиной месяца и при этом не оставляет никаких шрамов.



КОЖА ИЗ ВОЛОС

Немецкие биотехнологи научились выращивать кожу из волос.

Gerno
Schmiedeknecht,
gerno.schmiedeknecht@izi.fraunhofer.de

ПОРОШОК ОТ ГРИППА

Голландский аспирант придумал, как высушить вакцину от гриппа.

Jean-Pierre Amorij,
j.amorij@rug.nl

В зарубежных лабораториях

Обычно вакцина от гриппа бывает жидкой. Это плохо по двум причинам: во-первых, срок ее хранения невелик и заготовить впрок много вакцины на случай пандемии не удастся. Во-вторых, ее, как правило, вводят путем инъекции, а значит, массовая иммунизация населения требует участия большого количества медсестер. Будь вакцина в сухом виде, обе проблемы удалось бы решить.

Способ, которым жидкую вакцину от гриппа можно превратить в порошок, нашел Жан-Пьер Амори, аспирант из Университета Гронингена (Нидерланды) в ходе выполнения своей диссертационной работы. Он решил применить так называемый метод сушки холодом. Суть идеи состоит в том, чтобы при замораживании препарата каждая молекула вакцины оказалась бы окруженной множеством молекул сахаров и таким образом обрела бы защитную водорастворимую оболочку. Восемнадцать месяцев аспирант подбирал подходящую скорость охлаждения и искал нужные сахара. И нашел: ими оказались инулин, который содержится, например, в клубнях топинамбура и корнях цикория, а также трегалоза, один из компонентов гемолимфы насекомых.

«Получившийся порошок можно либо принимать внутрь, либо распылять с помощью ингалятора. В последнем случае он прекрасно распределяется по поверхности легких. Мы провели опыты на мышах и убедились, что иммунная реакция при ингаляции даже сильнее, чем при уколе», — говорит Жан-Пьер Амори.

ХЛАДОСТОЙКАЯ ЛИЛИЯ ИНКОВ

Американские ботаники вывели очень интересный сорт цветка.

Пресс-секретарь
Blaine Friedlander,
bpf2@cornell.edu

В зарубежных лабораториях

Как сделать, чтобы красивый южный цветок прижился на севере — такая проблема существует не только в стране рискованного земледелия. Например, ученые из Корнеллского университета во главе с профессором Марком Бридженом занялись продвижением на север лилии инков, по-латински — *Alstroemeria*. Этот цветок похож на лилейник — у его прямой высокий цветонос и шапка ярко-розовых или кремовых цветков, которые не вянут по две недели. Недаром лилия инков занимает пятое место по популярности в США.

В оранжерее она цветет по всей стране круглый год, однако ученым захотелось порадовать и любителей открытого грунта в северных районах США. Пять лет работы — и появился новый, недавно запатентованный сорт. Он выдерживает зиму не только в Нью-Йорке (на широте Симферополя), но и в районе Великих озер — фактически неподалеку от границы с Канадой. А это уже почти широта Киева. Глядишь, если клубни этого растения волею случая окажутся в заботливых руках отечественных любителей цветочных редкостей, лилия инков, родом, как видно из названия, из тропической Южной Америки, сможет продвинуться и еще севернее...



УМНЫЙ ВЗРЫВАТЕЛЬ

Американские оружейники создали надежный миниатюрный взрыватель.

Jason Nadler,
jason.nadler@
gtri.gatech.edu

В зарубежных лабораториях

«Когда говорят об умном оружии, оно должно быть умным во всем. В частности, взрыватели должны понимать, где находится боеприпас и не пора ли его взорвать», — говорит Майкл Бегганс из Центра сухопутной поддержки флотских операций (США), где совместно с коллегами из Технологического института Джорджии разработали новую технологию изготовления взрывателей. Теперь их можно будет делать так же, как и микросхемы.

Новый взрыватель делают из пористой медной пластинки. Чтобы ее изготовить, пасту из оксида меди с полимерным связующим наносят на шаблон из ткани с микросферами. Потом изделие нагревают, шаблон испаряется, а оксид меди превращается в металлическую пластинку, форма которой повторяет форму шаблона. В получившиеся микронные поры помещают взрывчатое вещество. Затем на пластинку методом микроэлектроники наносят микросхему, разрезают на кусочки размером в миллиметр, и микровзрыватель готов. Теперь из этих взрывателей нужно собрать готовое устройство — запал размером в сантиметр. Благодаря новой технологии запал получается автоматически, причем одновременно удается изготавливать до сотни таких высокотехнологичных запалов.

«Наша технология позволяет охватить весь диапазон размеров взрывателей, которые нужны для флотских боеприпасов», — рассказывает руководитель работы Язон Надлер из Технологического института Джорджии.

«ЧУТЬ-ЧУТЬ КАБИНОЧКУ КАЧНИ...»

Австрийские физики выяснили, когда начинает раскачиваться кабинка горнолыжного подъемника.

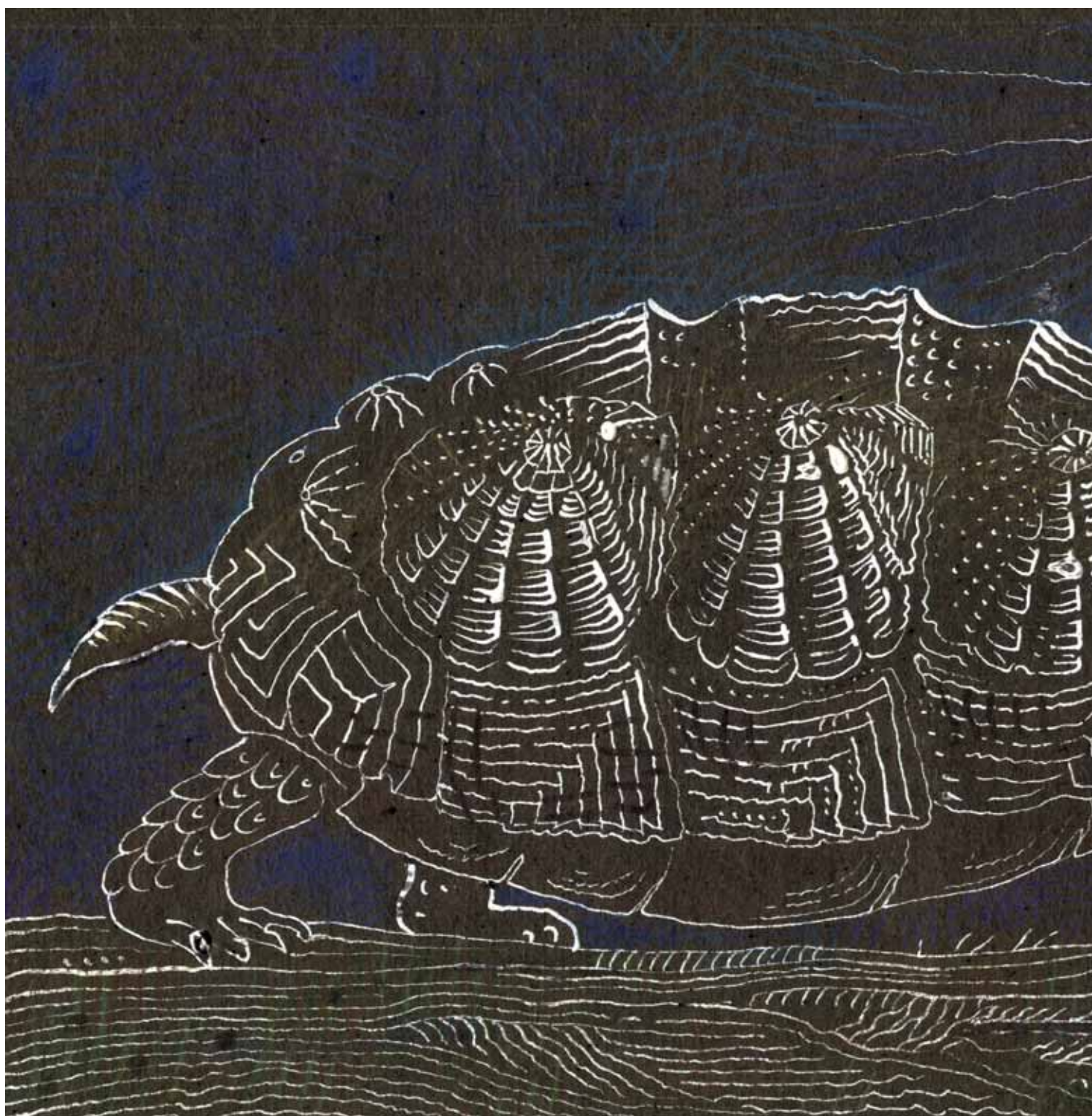
Klaus Hoffmann,
klaus.hoffmann@
tuwien.ac.at

В зарубежных лабораториях

«Сейчас, согласно инструкции, горнолыжные подъемники должны останавливаться, если скорость поперечного ветра составляет 50–65 км/ч. Считается, что именно тогда кабинки начинают слишком опасно раскачиваться. Наши исследования показали, что в действительности все несколько сложнее», — говорит доктор Клаус Хоффман из Венского технологического университета.

Во время своих экспериментов ученые оснастили кабинки подъемника датчиками, которые способны измерять и скорость ветра, и его направление. Анализ полученных данных показал, что опасные колебания кабинки возникают отнюдь не только при резком, порывистом ветре, но и при спокойной погоде. Причиной может послужить определенное соотношение скоростей ветра и скорости движения кабинки. Оказывается, если скорость кабинки велика, то над ее крышей периодически возникает воздушный вихрь, который и раскачивает кабинку. Опасными эти колебания становятся при условии, что частота возникновения вихря равна собственной частоте колебания подъемника. «Чтобы избежать этого явления, кабинки на подъемниках с большими расстояниями между опорами, вроде маятниковых дорог, должны двигаться со скоростью 2–3 м/с. Обычно же скорость составляет 4–6 м/с», — говорит Клаус Хоффман.





Медленный свет: за фасадом сенсации

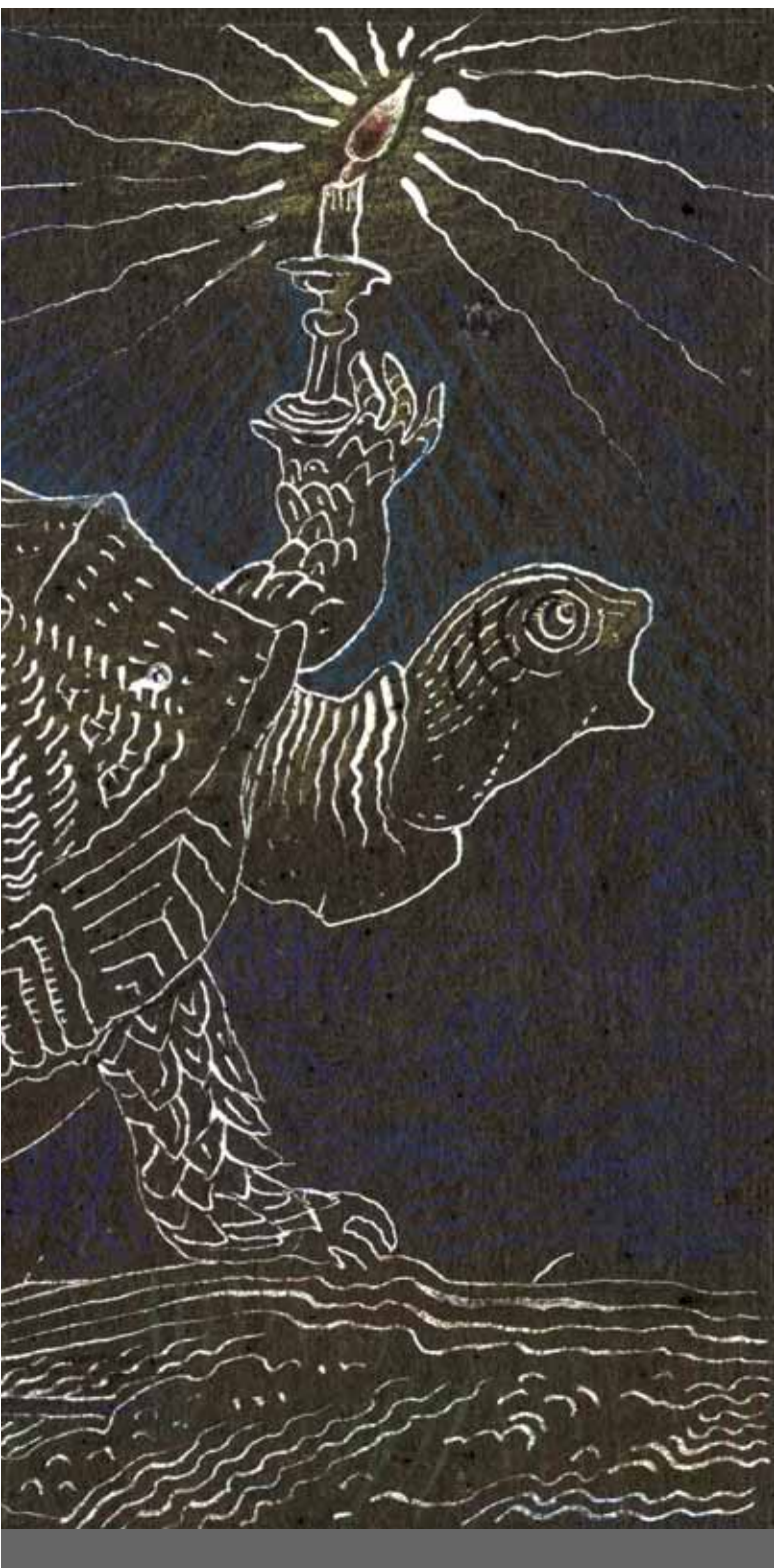
Академик РАН

Е.Б.Александров,

доктор физико-математических наук

В.С.Запасский

История эта началась зимой 2003 года, когда к нам обратился наш коллега с вопросом: можем ли мы построить компактное устройство задержки света для решения конкретной технической задачи оптического приборостроения? На принципиальную возможность такого решения вроде бы указывала опубликованная в журнале «Physical Review Letters» статья под названием «Хранение света в атомных парах» [1]. К этому моменту мы уже слышали о сенсационных опытах Л.Хау из Гарвардского университета [2], в которых было достигнуто снижение групповой скорости света более чем на семь порядков



Художник П. Перевезенцев



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

пользования этих результатов в практических целях. Статья была опубликована в одном из самых авторитетных и престижных физических журналов, а если к тому же принять во внимание сенсационный характер результатов, то становится понятным, что оснований сомневаться в доброкачественности публикации у нас быть не могло.

Каково же было наше разочарование и удивление, когда мы выяснили, что приведенные в ней экспериментальные данные не содержат ничего нового. Не было получено никаких свидетельств замедления света, так что вопрос о практическом использовании терял смысл. Но еще удивительнее, что эта работа стала чрезвычайно популярной и широко цитируемой и была канонизирована как одна из основополагающих работ по новому направлению квантовой оптики – «медленному свету».

Мы подготовили к печати заметку, в которой изложили свой взгляд на работу Филлипса с соавторами, и попытались опубликовать ее, как это принято, в том самом журнале, где была напечатана критикуемая статья. После годичной переписки с редакцией заметка была окончательно отвергнута. Так как полученные от редакции рецензии представлялись нам необоснованными, мы направили нашу заметку в журнал «Успехи физических наук», где она была опубликована под названием «Легенда об остановленном свете» [3].

При подготовке этой публикации к печати мы детально познакомились с «медленным светом» и обнаружили невысокий уровень этого модного направления современной оптики. Поскольку «медленный свет» во всех своих проявлениях продолжал победно шествовать по страницам самых престижных изданий, мы сочли необходимым сформулировать основные ошибки работ этого направления и привлечь к ним внимание научного сообщества. После публикации нескольких статей, включая критический обзор «В погоне за медленным светом» [4], а также после разговора с президентом Американского оптического общества (OSA) ситуация постепенно начала меняться. Нас стали осторожно цитировать и даже пригласили сделать доклад на тематической конференции OSA «Медленный и быстрый свет» (Солт-Лейк-Сити, 2007), где высказанные нами тезисы встретили открытую поддержку некоторых авторитетных ученых.

Что же такое «медленный свет» в современном понимании этого термина? Чтобы понять, о чем идет речь, нам придется сначала вспомнить, что такое групповая скорость света.

Групповая скорость света

Что такое скорость волны или скорость любого волнового процесса? За время, равное одному периоду (T), волна перемещается на свою длину (l). Отсюда сразу получаем известную формулу для скорости волны v : $v = l/T$. Эта формула верна и для света, надо только учитывать,

величины – до скорости мотоциклиста. Те опыты, однако, требовали чрезвычайно изощренной экспериментальной техники, в частности температур порядка сотен нанокельвинов – на семь порядков ниже температуры кипения жидкого гелия. В работе же, опубликованной в «Physical Review Letters», экзотики не было, эксперименты проводились во вполне «человеческих» условиях – при температуре, близкой к комнатной, система, на которой выполнялись опыты – атомные пары рубидия, – была нам хорошо известна, экспериментальная техника – тоже, так что мы согласились оценить возможность ис-

что длина волны света в среде меньше, чем в вакууме, в n раз, где n – показатель преломления среды. Это – фазовая скорость света. Для передачи информации важна так называемая групповая скорость света, которая, в частности, определяет скорость распространения в среде светового импульса. Если показатель преломления среды слабо зависит от длины световой волны, то групповая скорость мало отличается от фазовой. Однако при сильной спектральной зависимости показателя преломления, или, иначе говоря, при сильной дисперсии среды, скорость перемещения светового импульса начинает отличаться от скорости перемещения фазы волны внутри импульса.

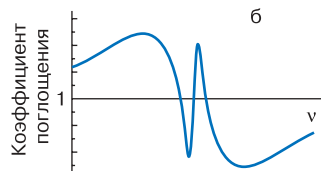
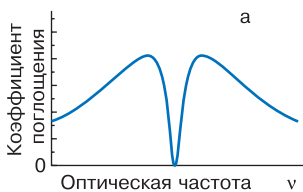
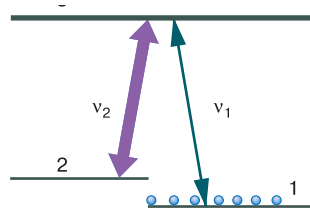
Все это – элементарный курс физики, а незначительные различия между фазовой и групповой скоростью света были важны только для специалистов, занимающихся расчетами и исследованиями распространения оптических сигналов в дисперсионных средах. Ситуация радикальным образом изменилась после первых демонстрационных опытов по «медленному свету». В этих экспериментах аномально высокая дисперсия среды достигалась с использованием недавно открытого эффекта электромагнитно-индуцированной прозрачности [5].

Электромагнитно-индуцированная прозрачность

Эффект электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП) наблюдается в условиях воздействия на атомную среду двух резонансных полей с различающимися частотами. Структура энергетических уровней называется Λ -схемой (рис. 1), это два близких нижних состоя-

1
 Типичная схема уровней энергии атомной среды, используемая для наблюдения эффекта электромагнитно-индуцированной прозрачности (так называемая Λ -схема).

В вертикальном направлении откладывается энергия состояния, а два нижних уровня разнесены в горизонтальном направлении для наглядности



2
 Схематичное изображение спектрального хода коэффициента поглощения (а) и показателя преломления (б) атомной среды, регистрируемых пробным пучком в условиях электромагнитно-индуцированной прозрачности. ν_0 – резонанс ЭИП прозрачности, то есть частота пробного пучка, при которой разность частот пробного пучка и пучка накачки сравнивается с частотой перехода 1–2 (рис. 1)

ния и верхнее, которое отстоит от них на энергию кванта оптического диапазона. Поле накачки, или связывающее поле, действует между двумя незаселенными состояниями (2 и 3 на рис. 1) и считается сильным. Сла-

бое поле с частотой в окрестности резонанса 1–3 играет роль зондирующего, или пробного. В этих условиях пробное поле с удивлением «обнаруживает», что среда под действием накачки приобретает новые свойства. Например, исчезает поглощение на переходе из заселенного основного состояния 1 в возбужденное состояние 3. Точное частотное положение точки прозрачности определяется условием равенства разности частот двух оптических полей частоте перехода 1–2.

Другое интересное свойство системы касается спектральной ширины этой области прозрачности, которая, во-первых, зависит от мощности волны накачки, а во-вторых, может быть чрезвычайно малой. Типичный вид спектра пропускания, регистрируемого пробной волной в условиях эффекта электромагнитно-индуцированной прозрачности, изображен на рис. 2а.

Здесь уместно заметить, что эффект ЭИП – это лишь один из семейства эффектов квантовой оптики, в которых на атомную систему воздействуют два поля с близкими частотами. Упрощенно суть этих явлений сводится к следующему. Два световых поля, действующие на атомную систему с энергетической структурой типа Λ -схемы (рис. 1), взаимодействуют с суперпозицией (наложением) состояний 1 и 2 и при достаточно высокой интенсивности опустошают соответствующее суперпозиционное состояние, сконструированное из состояний 1 и 2. В результате система становится прозрачной для комбинации двух световых полей, когда разность их частот сравнивается с частотой перехода между уровнями 1 и 2.

«Медленный свет» на основе эффекта ЭИП

Итак, эффект электромагнитно-индуцированной прозрачности позволяет создать среду с чрезвычайно узким провалом в ее спектре поглощения. Волна накачки, которая радикальным образом влияет на оптические характеристики среды и от интенсивности которой эти характеристики зависят, в данном случае рассматривается как атрибут среды, свойства которой зондируются не возмущающим ее пробным светом. Теперь, если воспользоваться известными соотношениями Крамерса–Кронига, устанавливающими связь между спектром поглощения линейной среды и спектром ее показателя преломления, то мы увидим, что в области этого узкого провала среда демонстрирует чрезвычайно крутой ход показателя преломления. Если эти слова не вызвали у вас учащения пульса и сладостных воспоминаний о экзамене по курсу физики – придется поверить на слово.

Дисперсия такого рода характерна для любых резонансов, и ничего необычного в самом этом нет. Но обычно узкие резонансы в оптических средах имеют вид пиков поглощения, и участок крутой дисперсии (с аномальной спектральной зависимостью) приходится на область сильного поглощения, и поэтому не представляет большого интереса. В эффекте ЭИП, напротив, спектральная особенность среды имеет характер антирезонанса и участок крутой дисперсии находится на частоте прозрачности. Типичная спектральная зависимость показателя преломления среды в области резонанса ЭИП показана на рис. 2б. Сочетание гигантской дисперсии среды с ее прозрачностью и определяет уникальность ситуации.

Эффект «медленного света» наблюдается, когда в качестве пробного поля, действующего в плече 1–3 Λ -схемы (рис. 1), используется световой импульс, спектр которого не выходит за пределы антирезонанса ЭИП. При

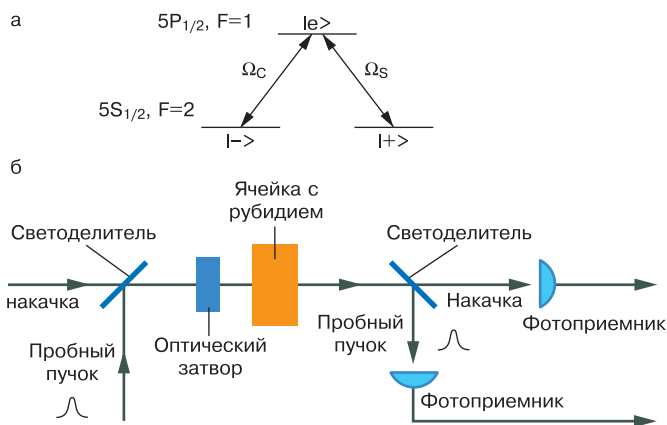
этом высокая дисперсия среды в сочетании с ее нормальной спектральной зависимостью (то есть возрастанием показателя преломления в сторону роста частоты) обеспечивает небывалое снижение групповой скорости света [2].

Достигнутое снижение групповой скорости света вроде бы может представлять значительный интерес для практических приложений. Особую привлекательность этой технике придает возможность управления групповой скоростью пробного света путем изменения интенсивности поля накачки, от которой зависит ширина провала, а следовательно, и крутизна дисперсии. Однако надо учитывать, что снижение групповой скорости света за счет повышения дисперсии показателя преломления неизбежно сопровождается сужением рабочей полосы частот, а значит, и снижением информационной емкости соответствующего оптического канала связи. Это ограничивает перспективы практического использования «медленного света» в устройствах передачи и обработки информации.

Эффект «остановки света»

Нетрудно понять, что снижение групповой скорости на много порядков величины означает пространственное сжатие светового импульса в среде в такое же число раз. Поэтому световой импульс, имеющий в свободном пространстве длину в несколько сот метров, в среде с низкой групповой скоростью сожмется до нескольких десятков микрон. При этом может возникнуть ситуация, когда импульс пробного поля целиком находится внутри среды. Возникает интересный вопрос: что произойдет, если в этот момент выключить волну накачки?

То, что происходит в этом случае, часто называют «остановкой света», поскольку при повторном включении волны накачки после некоторой темновой паузы импульс пробной волны действительно выходит из среды. Однако не следует понимать эти слова буквально. Действительно, с уменьшением интенсивности волны накачки уменьшается ширина антирезонанса ЭИП, повышается крутизна дисперсии и снижается групповая скорость света. Поэтому можно думать, что, когда интенсивность волны накачки падает до нуля, ширина спектрального провала зануляется, групповая скорость обращается в нуль и свет останавливается. Но при сужении провала спектр пробного поля «вываливается» из него и его групповая скорость перестает следовать за шириной провала. Кроме того, к монохроматической волне вообще не-



3
а – схема уровней энергии атома рубидия, задействованных в эксперименте [1] (схема заимствована из этой работы);
б – упрощенная схема использованной экспериментальной установки



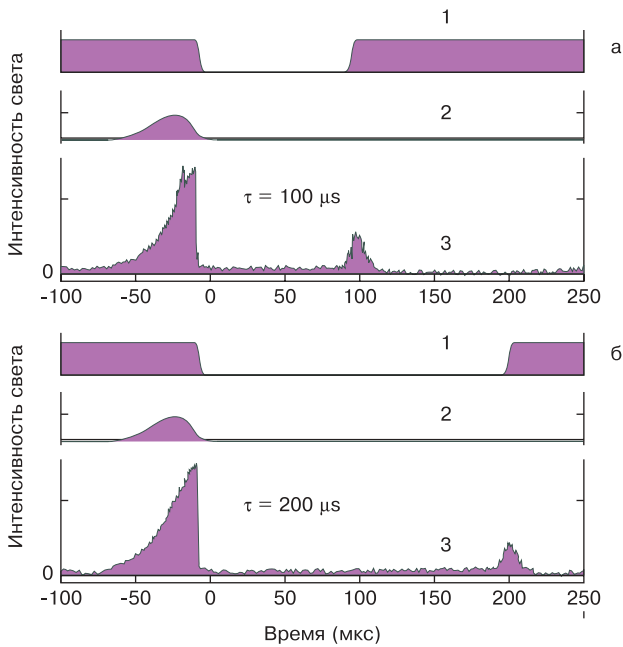
применимо понятие групповой скорости. Наконец, с уменьшением интенсивности накачки до определенной величины рушится исходная модель эффекта ЭИП, предполагавшая это поле сильным. Поэтому экспериментально наблюдаемый факт восстановления пробной волны после временного выключения поля накачки следует толковать иначе. Как именно?

Мы уже отмечали, что две резонансные световые волны, действующие на трехуровневую систему рассматриваемого типа (рис. 1), создают нестационарное суперпозиционное состояние. Эта суперпозиция состояний 1 и 2, в отсутствие световых полей, способна жить длительное время (определяемое распадными свойствами долгоживущих состояний 1 и 2). Можно сказать иначе: в условиях резонанса ЭИП, после выключения полей, действующих на систему, их биения – то есть разность частот – продолжают существовать в виде осциллирующей поляризации среды. Волны выключены, но среда помнит, что в ней происходило, а именно – помнит «разность частот» в виде колебаний своего свойства, поляризации. Если теперь вновь включить поле накачки, то оно, взаимодействуя с этой осциллирующей поляризацией, окажется промодулированным на частоте энергетического зазора 1–2 и породит поле боковой частоты 1–3, которое мы называем пробным. Произойдет «высвобождение» пробного света светом накачки.

Работы по «медленному свету» вызвали повышенный интерес не только в научном сообществе, но и в СМИ. «Остановка света» – как звучит! Возможно, по этой причине значительно возрос спрос на исследования, повысилась заинтересованность ученых в их расширении и одновременно снизилась разборчивость рецензентов. Вскоре после публикаций первых успешных работ по «медленному свету» стали появляться сообщения о том, что аналогичные результаты могут быть получены в значительно более простых экспериментальных условиях. И такого рода сообщения часто придавали исследованиям в области «медленного света» новый импульс ошибочной направленности.

Вырожденная Λ-схема

В статье [1] было предложено наблюдать «медленный свет», а также эффект «остановки света» в условиях «вырожденной» Λ-схемы, когда уровни энергии состояний 1 и 2 (рис. 1) совпадают. Экспериментальная техника была значительно упрощена (рис. 3). В качестве объекта исследований взяли насыщенные пары атомов рубидия при температуре около 60°C. Накачивающий и пробный пучки теперь имели одинаковую частоту и различались по поляризации, чтобы из совокупности нижних состояний с одной и той же энергией выделить два состояния, необходимых для формирования трехуровневой Λ-схемы. На рис. 3б показана упрощенная оптическая схема эксперимента, на входе которой два пучка со взаимно ортого-



4
Наблюдение эффекта «остановки света» в кювете с парами рубидия на временных интервалах 100 мкс (а) и 200 мкс (б): кривые 2 и 3 – интенсивности волны пробного импульса на входе и выходе, кривая 1 – интенсивность пучка накачки

нальными поляризациями сводятся с помощью поляризационного светоделителя, а на выходе – таким же путем разводятся. Реально эксперимент ставился еще проще. Авторы использовали только один поляризованный лазерный луч, который рассматривался как луч накачки. Когда требовалось включить импульс «пробного» света, поляризация пучка слегка менялась, что можно было рассматривать как примешивание к пучку накачки пучка пробного излучения с ортогональной поляризацией.

В этих экспериментах была зарегистрирована значительная временная задержка пробного импульса, приписанная снижению групповой скорости света по описанному выше механизму ЭИП. Абсолютное значение этой величины, полученное прямым делением толщины кюветы на временную задержку, составило ≈ 1 км/с. Основной результат работы, однако, касался демонстрации эффекта «остановки» или «хранения» света. Действительно, полученные экспериментальные зависимости (рис. 4) на первый взгляд казались убедительными. Из них следовало, что ввиду сильной задержки импульса пробного света в среде пучок накачки можно было выключить, когда пробный импульс длительностью в несколько десятков микросекунд уже полностью вошел в кювету с рубидием, но вышел только частично. Выключая свет накачки в этот момент, авторы якобы «прищемляли хвост» пробного импульса. Включение пучка накачки после некоторой темновой паузы «высвобождало хвост».

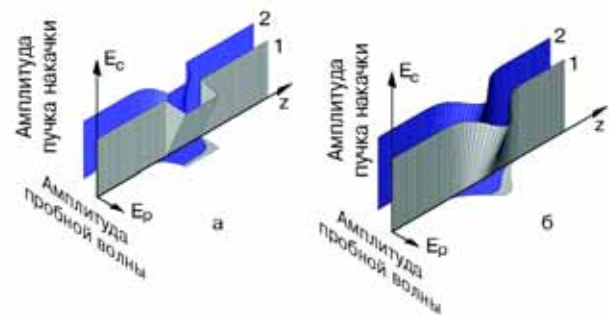
Ошибочность такой интерпретации оставалась незамеченной потому, что поставленный эксперимент, как казалось, развивал предыдущие работы по «медленному свету». Но обнаруженные явления легко интерпретируются на языке известного эффекта фотонаведенной анизотропии. Суть эффекта сводится к тому, что под действием поляризованного света достаточной интенсивности осцилляторы, соответствующие направлению вектора напряженности электрического поля световой

волны, «выжигаются» (насыщаются), а среда просветляется. Такого рода фоточувствительные среды иногда называют поляризационными насыщаемыми поглотителями. Феноменология подобных эффектов единообразна: светоиндуцированное просветление среды в заданной поляризации превращает ее в поляризатор. В соответствии с постановкой обсуждаемого опыта нас будет интересовать динамика эффекта, то есть характер изменения свойств светоиндуцированного поляризатора при изменении интенсивности и поляризации действующего света.

Прежде всего заметим, что процесс формирования в среде фотоиндуцированной анизотропии, связанной с перераспределением населенностей среды, не может быть мгновенным. Иначе говоря, при включении светового пучка превращение среды в поляризатор занимает некоторое конечное время, а при изменении поляризации света поляризатор отслеживает эти изменения с некоторой временной задержкой. Еще полезно иметь в виду, что на свету динамика наведенной анизотропии ускоряется. Вот и все, что требуется для объяснения результатов работы [1].

Рисунок 5а схематично иллюстрирует отклик поляризационного насыщаемого поглотителя на ступенчатый поворот плоскости поляризации действующего света, а рис. 5б – отклик на гладкий поляризационный импульс. Первый рисунок явно демонстрирует релаксационный процесс, определяющий заторможенность отклика среды, а второй – имеет прямое отношение к рассматриваемому эксперименту. Как легко видеть, при импульсной модуляции поляризации падающего света гладкий поляризационный импульс на выходе из среды также будет задержанным, а следовательно, задержанным окажется и его поляризационная составляющая, называемая пробным светом.

Столь же элементарно описывается эффект «остановки света». В выбранный авторами работы [1] момент выключения пучка накачки импульс поляризации света уже завершился, а светоиндуцированный поляризатор среды в свое исходное состояние еще не вернулся. В темноте, как уже отмечалось, релаксация светонаведенной анизотропии происходит медленно. При этом можно с определенностью утверждать, что поляризующее направление «поляризатора» в процессе этой релаксации не изменится (из-за отсутствия преимущественного направления



5
Схематичное изображение отклика поляризационного насыщаемого поглотителя на прямоугольный (а) и гладкий (б) импульс поляризационной модуляции падающего света:

1 – поведение плоскости поляризации падающего линейно-поляризованного светового пучка, 2 – пучка на выходе из среды.

Проекция светового поля на горизонтальную плоскость – это то, что авторы [1] называют «пробной» волной

вращения в пространстве), а качество «поляризатора», конечно, может снизиться (то есть степень его просветления может уменьшиться). В результате после темновой паузы светоиндуцированный поляризатор, застигнутый светом в «неравновесном» поляризационном состоянии, продолжит следовать за поляризацией действующего света, постепенно приближаясь к ней и снижая интенсивность поляризационной компоненты, приписываемой пробному импульсу. В работе [6] мы провели расчеты динамики сигнала в рамках такой простой модели и получили идеальное согласие с экспериментом.

«Медленный свет» и насыщаемый поглотитель

Как и в случае с идеей использования вырожденной Λ -схемы, в поисках новых, более изощренных, подходов к получению «медленного света» авторы новой идеи незаметно забрели в исхоженную область нелинейной оптики [7]. Существует старинный, уже несколько подзабытый эффект нелинейной оптики, состоящий в том, что у светового импульса, проходящего через насыщаемый поглотитель (среду, которая способна просветляться под действием проходящего через нее света), передний фронт поглощается сильнее заднего и все выглядит так, как будто импульс в среде задерживается [8]. Если среда достаточно инерционна, то есть время релаксации ее поглощения велико, то такая задержка может быть сколь угодно большой. Эффект – простой и даже не обязательно оптический. Его можно наблюдать, например, в электрической цепи с нелинейным резистором [9]. Так вот этот самый эффект с помощью ряда дополнительных допущений был интерпретирован довольно замысловатым образом, с привлечением эффекта «выжигания провала» в спектре оптического поглощения. Задержка импульса при этом приписывалась чрезвычайно низкой групповой скорости света, которая рассчитывалась простым делением оптической длины среды на время задержки. Теперь для наблюдения «медленного света» требовалось элементарное оборудование студенческой физической лаборатории. В работе [10] без больших усилий была достигнута «скорость света» в 0,091 мм/с!

Это направление развития «медленного света» трудно критиковать – среди его наблюдений нет ни одного, которое было бы нельзя описать в рамках старой тривиальной модели. Тем не менее оно продолжает развиваться и удивлять нас новыми хорошо забытыми находками (подробнее см. [11]).

Заключение

Оценивая историю «медленного света» в целом, надо прежде всего отделить истинные достижения от мнимых. Снижение групповой скорости света на много порядков величины базируется на открытии способа создания среды с гигантской дисперсией показателя преломления и действительно впечатляет. Но принесет ли что-либо практически полезное этот прорыв – сказать трудно. Пока можно утверждать, что с точки зрения фундаментальной науки эффект «медленного света» ничего нового не принес, а перспективы его прикладного использования в системах обработки и хранения информации, как уже отмечалось, весьма ограничены.

Что касается мнимых достижений и безграмотных исследований в области «медленного света», то поражает их количество. Мы не имели возможности сравнить долю



недоброкачественных работ по «медленному свету» с соответствующей величиной из другой области «переднего края науки» и надеемся, что нам просто не повезло. Но в нашем случае недоброкачественные исследования доминируют.

В целом для науки последних двух десятилетий характерны массовые увлечения ложными сенсациями. Одну из главных причин этого можно усмотреть в резком и сильном снижении финансирования научных исследований в развитых странах, последовавшем после прекращения «холодной войны». Это обстоятельство взвинтило конкуренцию между учеными в борьбе за гранты, что привело к искушению использовать рекламные приемы для привлечения интереса спонсоров. При этом успешные сенсации способствует созданию корпораций, коллективно продвигающих иногда откровенно сомнительные проекты и коллективно обороняющие их от критики, что делает их практически неуязвимыми. По-видимому, именно эти факторы сыграли не последнюю роль в истории с «медленным светом».

Литература

1. D. F. Phillips, A. Fleischhauer, A. Mair, et al., Physical Review Letters., v. 86, 783 (2001).
2. Hau L.V., Harris S.E., Dutton Z., Behroozi C.H., Nature, v. 397, 594 (1999).
3. Е.Б.Александров и В.С.Запасский. «Успехи физических наук», т. 174 (10), 1105 (2004).
4. Е.Б.Александров и В.С.Запасский. «Успехи физических наук», т. 176, (10), 1093 (2006).
5. Harris S. E. Physics Today v. 50 (7), 36 (1997)
6. Козлов Г.Г., Александров Е.Б. и Запасский В.С. «Оптика и спектроскопия», т. 97, 969 (2004).
7. M. S. Bigelow, N. N. Lepeshkin, and R. W. Boyd, Physical Review Letters, v. 90, 113903 (2003).
8. Selden A. C., Br. Journal of Applied Physics, v. 18, 743 (1967).
9. В.С.Запасский и Г.Ш.Козлов. «Оптика и спектроскопия», т. 104, 000 (2008).
10. Wu P, Rao D V G L N Physical Review Letters, v. 95, 253601 (2005).
11. В.С.Запасский и Г.Г.Козлов. «Оптика и спектроскопия», т. 100, 461 (2006).



ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕНЯЮТ МИР

22-25 апреля 2008 г.

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»
павильон Форум



VT XXI
2008



High technologies change the world

IX Международный форум
The 9th International Forum

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ HIGH TECHNOLOGY OF XXI ВЕКА

ПРОГРАММА:

- IX Международная выставка «VT XXI - 2008»
- Международная конференция «Высокие технологии – стратегия XXI века»
- Конкурсная программа

ОРГАНИЗАТОРЫ:

- Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации
- Департамент науки и промышленной политики города Москвы
- Институт экономики и комплексных проблем связи (ОАО «ЭКОС»)
- ООО «ЭКСПО-ЭКОС»
- Российский Фонд развития высоких технологий
- Московская торгово-промышленная палата
- Московская ассоциация предпринимателей
- Министерство промышленности и науки Московской области
- ОАО «Московский комитет по науке и технологиям»
- ЗАО «Экспоцентр»

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Правительства
Российской Федерации



Правительства
Москвы



Форум проводится под патронажем
Торгово-промышленной палаты Российской Федерации

**ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОДРОБНОЙ ИНФОРМАЦИИ,
ПОЖАЛУЙСТА, ОБРАЩАЙТЕСЬ:**

ООО «ЭКСПО-ЭКОС»

Тел.: (495) 332-35-95, 331-05-01, 331-23-33;

Факс: (495) 331-05-11, 331-09-00;

E-mail: vt21@vt21.ru; arena@vt21.ru;

http://www.vt21.ru; www.expococos.com

www.VT21.ru





A-TESTex

6-я Международная специализированная выставка


A-TESTex

www.analyticaexpo.ru

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ,
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ, ЛАБОРАТОРНАЯ МЕБЕЛЬ
И ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТИВЫ.
БИОАНАЛИТИКА**

РАЗДЕЛ «АНАЛИТИКА»

Измерительные приборы и оборудование
Нанотехнологии
Оборудование лабораторное вспомогательное
Реактивы и материалы
Средства обеспечения работы аналитических лабораторий
Средства автоматизации лабораторных исследований
Комплексное оснащение лабораторий

РАЗДЕЛ «БИОАНАЛИТИКА»

Электрофорез
Приборы для биотехнологии
Биосенсоры
Биохимикаты
Лабораторное оборудование для биотехнологии и биологических наук
Исследование медикаментов
Протеомика
Стерильная техника
Информация и услуги для биотехнологии
Биотехнология в сфере охраны окружающей среды

Статистика 2007

Площадь брутто	10 402	Посетители	4545
Экспоненты	288	из них РФ	4313
из них нерезиденты	53	Казахстан	20
Страны-участницы	15	Украина	68
		Белоруссия	38

**В рамках выставки пройдут
специализированные мероприятия:
конференции, тематические семинары
и круглые столы**

Дирекция выставки:
107113, Россия, Москва,
Сокольнический Вал, 1, пав. 2
Тел./факс: (495) 105-35-60
E-mail: fyv@mvk.ru, sfi@mvk.ru, oae@mvk.ru
www.mvk.ru, www.mvk-crocus.ru

Гемоглобины — белки-многоборцы

О.В.Космачевская,

кандидат биологических наук

К.Б.Шумаев,

доктор биологических наук

А.Ф.Топунов

Институт биохимии им. А.Н.Баха РАН,
Москва

В предыдущих статьях цикла мы рассказали о том, насколько разнообразны гемоглобины и их функции и как широко они распространены в живой природе. «Поздние» этапы эволюции этих белков также более-менее ясны. (Слово «поздние» мы заключили в кавычки, поскольку эти этапы занимают примерно 1,5 миллиарда лет.) А вот что касается «ранних» стадий и тем более возникновения гемоглобинов как группы белков — здесь вопросов намного больше. К сожалению, палеонтологических ископаемых тех времен практически не осталось, и мы можем опираться только на догадки (и на логику). Предположений о возникновении и начале эволюции гемоглобинов сделано немало. Почти каждый ученый, работающий в этой области, имеет свой взгляд на проблему, и мы — не исключение. В этой статье мы попытались высказать свою точку зрения на этот очень древний и захватывающе интересный период развития жизни на Земле. Многие из того, о чем мы будем говорить, еще не доказано, спорно и требует новых исследований. Однако нам кажется, что наши идеи могут быть интересными (и, надеемся, не совсем ошибочными). Но помните, что во многом это пока еще гипотезы!



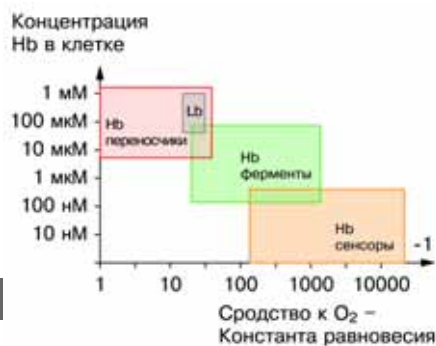
Художник Н. Колпакова

Переход качества в количество

Гемоглобины, по некоторым данным, появились почти 4 миллиарда лет назад, практически одновременно с первыми клеточными формами жизни. Эти первые гемоглобины функционировали в совершенно других условиях, чем современные. С тех пор много раз менялись условия жизни на Земле, а с ними менялись и сами гемоглобины, и их функции. Лучше всего эти изменения мы сможем представить на примере взаимодействия гемоглобинов с NO и O₂.

В те далекие времена кислорода в атмосфере практически не было, и он был токсичен для живших тогда организмов. Те организмы существовали в основном за счет

хемосинтеза, окисляя неорганические вещества и западая высвобождающуюся энергию в виде молекул АТФ. Существует гипотеза нитратно-нитритного дыхания, по которой в качестве конечного акцептора электронов в электрон-транспортных цепях выступали нитраты и нитриты. Один из промежуточных продуктов восстановления NO₂⁻/NO₃⁻ — оксид азота NO, небольшая молекула с большим коэффициентом диффузии и одним неспаренным электроном. Все эти свойства придают молекуле NO высокую реакционную способность. Оксид азота взаимодействует с кислородом, образуя токсичные производные (N₂O₄, N₂O₃). Еще более сильный окислитель — пероксинитрит (ONOO⁻), возникающий в реакции NO с супероксидным радикалом (O₂⁻). Следовательно, для



I
Зависимость функций, выполняемых гемоглобинами, от их концентрации в клетке и сродства к лигандам. Как правило, чем выше сродство гемоглобина к лиганду, тем ниже его концентрация в клетке. Исключение — левоглобин, который может функционировать и как переносчик кислорода, и как фермент

противодействия этим процессам должны были возникнуть механизмы, контролирующие концентрацию NO и его метаболитов. Поэтому именно в эпоху нитратного дыхания и могли появиться гемоглобины — «уборщики» NO. Это прежде всего флавогемоглобины (FHb), усеченные (TrHb), однодоменные (SDHb), несимбиотические (NsHb), цито- и нейроглобины (Cygб и Ngб). В таблице мы показываем распространение этих белков в настоящее время. Следует отметить, что в клетке практически никогда не присутствуют одновременно гены, кодирующие два разных гемоглобина, ответственных за «уборку» NO. Здесь природа следует принципу экономии. Интересно, что в современных организмах флавогемоглобины могут удалять оксид азота, окисляя его до NO₃⁻ или, в отсутствие кислорода, восстанавливая до закиси азота (N₂O).

Организмы	Гемоглобины
Бактерии	FHb, SDHb, TrHb
Цианобактерии	SDHb
Дрожжи	FHb
Растения	NsHb, TrHb
Высшие животные	Cygб, Ngб

Когда кислорода в атмосфере стало больше и возникли «кислородные оазисы» — зоны с локально повышенной концентрацией кислорода в местах активно идущего фотосинтеза, живым организмам нужно было защищаться не только от NO, но и от O₂, точнее, от продуктов неполного восстановления кислорода, так называемых активных форм кислорода (АФК), к которым относятся уже упомянутый супероксид, перекись водорода и гидроксильный радикал (O₂^{·-}, H₂O₂, HO[·]).

Прежде чем живые организмы адаптировались к новым условиям и перешли на более эффективное кислородное дыхание, они пережили тяжелые времена. Действительно, в этих условиях должно было увеличиться количество как активных форм кислорода и азота, так и вторичных свободных радикалов, возникающих при взаимодействии биологических молекул с сильными окислителями. И опять на защиту клетки встали гемоглобины. Однодоменные и усеченные Hb объединились с фосфорилирующим ферментом киназой — и образовался двойной глобиновый сенсор (GCS), глобиновая часть которого как рецептор меняла свою структуру под дей-

ствием внешнего фактора, а киназная — передавала этот сигнал дальше по метаболической цепи. Благодаря GCS организмы могли применить более изощренную стратегию защиты: не бороться с вездесущим врагом — кислородом, а избегать мест, где его концентрация повышена. И в этом случае природа нашла экономный путь. Однако гемоглобиновые сенсоры — такая интересная тема, что она достойна отдельной статьи.

Когда же кислорода накопилось так много, что спрятаться от него стало трудно, организмы сумели обратить зло во благо, и энергетические машины (митохондрии) заработали на кислороде. Но что же в этом случае делали гемоглобины? Конечно, транспортировали кислород к митохондриям! Если бы не принцип экономии, «древние» гемоглобины были бы навсегда утрачены. Но природа почти никогда не уничтожает старые машины просто так, она их модернизирует. Таким образом, гемоглобины-«уборщики» превратились в гемоглобины-транспортеры. С наступлением кислородной эры возникла необходимость в уборке активных метаболитов кислорода. Это удел других белков — каталаз, пероксидаз, супероксиддисмутаза, некоторые из них, кстати, тоже представляют собой гемовые белки. Возможно, что гемовые пероксидазы и каталазы произошли от общего с гемоглобином предшественника. Как мы упоминали в предыдущей статье, гемоглобины обладают пероксидазной активностью, только эта активность примерно в 100 раз ниже активности классических пероксидаз. Поэтому по отношению к гемоглобинам обычно применяют термин «псевдопероксидазная» активность, намекая на то, что эта функция для гемоглобинов-транспортеров — рудимент их некогда основной функции.

Логику превращения гемоглобинов можно представить себе так. Окружающие условия диктуют необходимость в определенных функциях, функции накладывают ограничения на строение белка-машины. Помимо взаимосвязи «структура — функция» (которую мы описали во второй статье цикла), существует взаимосвязь «концентрация — функция», которая в виде диаграммы представлена на рис. 1. Суть этой зависимости состоит в том, что гемоглобин синтезируется именно в той концентрации, которая обеспечивает оптимальное выполнение данной функции. И в этом отношении природа тоже экономна. Например, гемоглобины-сенсоры должны улавливать мизерные количества кислорода и передавать сигнал с помощью киназного домена к белкам, взаимодействующим с ДНК. При этом начинают транскрибироваться гены, кодирующие антиоксидантные ферменты, среди которых могут быть и гемоглобиноподобные пероксидазы. Таким образом, клетке незачем постоянно содержать большое белковое хозяйство на каждый случай жизни. Здесь следует отметить, что белки-сенсоры или рецепторы и сопряженные с ними трансдуцирующие системы (системы, передающие сигнал) — общий элемент метаболизма живого

организма, способствующий установлению связи с окружающей средой.

Вернемся к концентрации. Итак, гемоглобинам-сенсорам не обязательно присутствовать в клетке в больших количествах. В их случае важно не количество, а качество. А качество у этих гемоглобинов наилучшее. Как видно из рисунка 1, они обладают самым высоким сродством к кислороду. Среднюю позицию на диаграмме занимают гемоглобины, обладающие ферментативной активностью (FHb, CDHb, TrHb). И наконец, гемоглобины – транспортеры, к которым относятся эритроцитарный гемоглобин, мышечный миоглобин, леглоббин (белок клубеньков бобовых растений) и гемоглобины гемолимфы моллюсков и членистоногих. Для этих белков характерны самая высокая концентрация и самое низкое сродство к кислороду. Леглоббин – исключение из этого правила: несмотря на высокую концентрацию, его сродство к кислороду в 100 раз больше, чем у эритроцитарного гемоглобина, и в 20 раз больше, чем у миоглобина. Эта его особенность определяется условиями, в которых ему приходится работать внутри растительной клетки (вспомните предыдущую статью). Леглоббин имеет повышенное сродство не только к O_2 , но и к другим лигандам, например к пероксинитриту ($ONOO^-$), и, следовательно, эффективнее, чем Hb и Mb, катализирует реакцию изомеризации $ONOO^-$ в NO_3^- . С учетом большой концентрации Lb его способность переводить пероксинитрит в нетоксичный нитрат приобретает особое значение для жизни клетки. На примере леглоббина понятно, как транспортная функция белка может перекрываться с ферментативной.

Гемоглибиновый спектр

Как мы уже не раз отмечали, гемоглобины обнаружены у представителей всех царств живой природы и, по существу, являются полифункциональными белками.

Кстати, изучая особенности гемоглобинов, мы обнаружили и несколько особенностей, характеризующих исследователей, которые занимаются изучением гемоглобинов (мы их называем «гемоглобинщиками»). Во-первых, преданность теме. Почти каждый, кто когда-то связал свой исследовательский интерес с гемоглобинами, не бросает их уже никогда. Когда один из авторов этой статьи, А.Ф.Топунов, в 2006 году побывал на конференции по гемоглобинам в Неаполе, он встретил там много своих знаменитых коллег, работы которых давно считаются классическими. Джонатан Виттенберг, Серж Виноградов, Маурицио Брунори – некоторым из них уже за 80, но и они не бросают своих исследований. Пусть им уже трудно самостоятельно проводить эксперименты, но подумать об эволюции и вероятных функциях гемогло-



2

Гемоглибиновый спектр. Разные гемоглобины в различных состояниях могут быть по-разному окрашены

бинов и обсудить это с коллегами им очень даже нравится. Кстати, философско-эволюционное отношение к теме – вторая особенность гемоглобинщиков. Еще одна особенность – трепетное, любовное отношение к объекту исследований. Нам бы очень хотелось передать в своих статьях хотя бы долю восторга, который испытывает ученый, глядя на пробирку с пурпурным раствором выделенного гемоглобина. Недаром один из ведущих исследователей миоглобина из Национальной лаборатории в Лос-Аламосе Ганс Фрауенфельдер как-то признался, что когда он первый раз пришел в «миоглобиновую» лабораторию, то думал, что сделает здесь только курсовую работу, а остался там на всю жизнь.

И еще одно, что следует здесь отметить. В среде гемоглобинщиков необыкновенно развито чувство солидарности. Желание и готовность сотрудничать и помогать друг другу встречается здесь на каждом шагу. И при этом никакой зависти! Может быть, работа с белком, встречающимся у столь разных организмов, приводит и самих ученых к известной фразе Маугли: «Мы с тобой одной крови – ты и я».

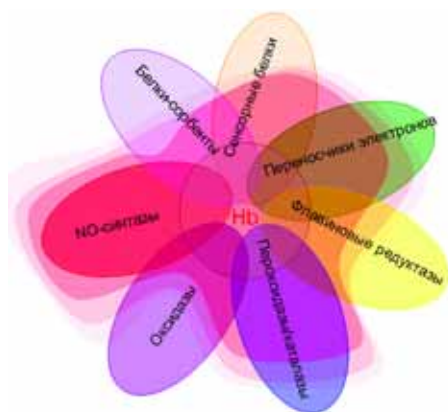
Так вот, о гемоглибиновом разнообразии. Разные гемоглобины и окрашены по-разному (рис. 2). На их цвет может влиять и связанный с железом гема лиганд. Опытные гемоглибинщики могут по оттенкам красного определить, с каким лигандом связан гемоглобин, состояние белка и его концентрацию. Несмотря на то что с помощью современных приборов это можно сделать точнее, использование для этой цели органов чувств дает ни с чем не сравнимое ощущение единения с объектом исследования.

То, что гемоглобины могут быть не только красными, но и зелеными, на первый взгляд непривычно, и тем не менее это так. В зеленый цвет окрашены растворы хлорокуроина – гемоглобина многощетинковых червей. Кстати, окраска хлорокуроина при изменении концентрации меняется от красной до зеленой. Разве это не здорово? Нейро- и цитоглобины – тоже зеленые. Окраска этих белков обусловлена небольшой модификацией порфиринового кольца. Сенсорный гемоглобин клубеньковых бактерий FixL – красно-оранжевый, а комплекс Hb с нитрозобензолом окрашен в темно-лиловый цвет. Таким образом, гемоглобины не только полифункциональны, но и полихромны... и просто очень красивы. Не зря гемоглибинщики так привязаны к своим объектам.

Пушистое множество

В математике есть термин «пушистое» множество. Так называют множества без четких границ. Нам кажется, что это математическое понятие очень хорошо отражает взаимосвязь гемоглобинов с другими гемовыми (а иногда и негемовыми) белками. Многие исследователи считают, что структура предкового гемового белка стала исходной как для гемоглобинов, так и для цитохромов, пероксидаз, оксидаз (ферментов, катализирующих присоединение кислорода) и других белков. Конечно, называть такой предковый белок гемоглибином можно лишь условно.

Непросто экстраполировать свои рассуждения в столь далекое прошлое, и сегодня мы не можем с уверенностью сказать, белок с какой структурой и какими свойствами послужил удобным материалом для эволюционных преобразований. Эволюция – очень длительный процесс проб и ошибок, а природа – экономный творец. Познавая природу, мы дробим ее на части, потому что так нам проще понять ее. Но в природе нет четких границ, каждый живой объект нужно изучать в становле-



3
Пушистое множество гемовых белков. Некоторые группы могут включать как гем-содержащие белки, так и не содержащие гема

нии, а не в статике. Это относится и к белкам как сложным молекулярным структурам. На диаграмме (рис. 3) мы попытались упрощенно показать взаимодействие классов различных белков, которые в совокупности образуют большое пушистое множество.

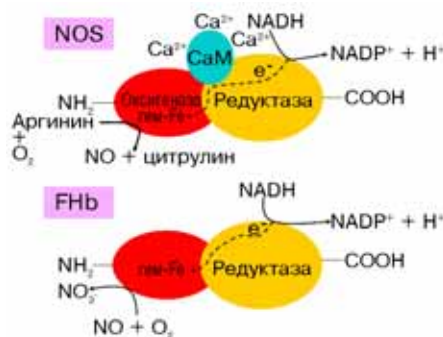
Остановимся подробнее на флавогемоглобине и NO-синтазе. Выбор не случаен: эти ферменты хорошо иллюстрируют предыдущую диаграмму. Как мы уже говорили, флавогемоглобины, скорее всего, возникли в эпоху нитратного дыхания, когда в первых организмах активно продуцировался NO. Однако в эпоху кислородного дыхания концентрация оксида азота резко снизилась. Клеткам стало не хватать NO, возникла необходимость его синтеза. Что же в это время стали делать флавогемоглобины? Возможно, они начали синтезировать NO. Известно, что многие ферменты способны катализировать наряду с прямой реакцией и обратную. Правда, для эффективного протекания обратного процесса требуются специфические, часто не очень-то физиологические условия. Однако условия, которые в настоящее время физиологическими не являются, вполне могли быть таковыми в далеком прошлом.

Здесь мы немного отвлечемся от темы и объясним читателям, для чего живым организмам понадобился NO. Дело в том, что, с одной стороны, NO — химически активная молекула, производные которой токсичны, а с другой — у животных и человека NO является универсальным физиологическим регулятором сердечно-сосудистой, иммунной и нервной системы (см. «Химию и жизнь», 2000, № 2). Благодаря таким свойствам оксид азота иногда называют «двуликим Янусом». Свою регуляторную роль он играет и у растений.

Сравним строение флавогемоглобина и NO-синтазы. Флавогемоглобин состоит из двух частей: гем-содержащей и флавиновой. NO-синтаза включает три участка: гемсодержащий, флавиновый и участок, обратимо связывающий сигнальную молекулу — кальмодулин (рис. 4).

Таким образом, эволюционным предшественником NO-синтазы мог быть гемовый белок. И действительно, NO-синтазу можно рассматривать как модифицированный флавогемоглобин, дополненный сигнальным участком, или как сенсорный гемоглобин, дополненный редуктазным участком. В то же время упомянутый выше сенсорный гемоглобин клубеньковых бактерий FixL по своему строению и свойствам напоминает другой известный белковый сенсор — гуанилатциклазу. Может быть, и они произошли от общего предка? И переходные формы всех этих белков в дальнейшем также будут обнаружены?

В заключение еще раз подчеркнем, что, по нашему мнению, гемоглобины возникли не как белки, связывающие малые количества кислорода или других лигандов, а как белки, связывающие соединения, которых в то время было, наоборот, сравнительно много — например,



4
Сравнение структуры и функций NO-синтазы и флавогемоглобина. Видно, что в результате работы NO-синтазы образуется NO, а флавогемоглобин утилизирует это соединение

соединения азота или серы (вспомним состав первичной атмосферы Земли). Вероятно, исходно гемоглобины были белками-многоборцами, способными связывать различные соединения, необходимые живым организмам, и проявляемые ими порой и сейчас функции — «рудименты» той древней эпохи. А если условия где-то напоминают условия древней Земли (например, в зоне «черных курильщиков»), то почему бы им не сохранить эти древние функции как основные? Кстати, флавогемоглобины болезнетворных бактерий также сохранили свою «защитную» функцию. Теперь они защищают бактерии от NO, выделяемого макрофагами хозяина.

И наконец, почему бы нам не использовать это многообразие гемоглобинов в своих целях?



«Эффекты бабочки» в истории человечества

Доктор химических наук,
профессор
Л.В.Каабак

Грандиозные вещи делаются грандиозными средствами. Одна природа делает великое даром.

А.Герцен

О том, как бабочки — существа, на крыльях которых природа демонстрирует свою способность творить прекрасное, — вдохновляли многих писателей, поэтов и художников, мы уже писали (см. «Химию и жизнь», 2006, № 11). Бабочки причастны к философским основам великих религий. К бабочке обратился Будда в своей предсмертной проповеди; Брахма, наблюдая в саду превращение гусеницы в куколку, а куколки в бабочку, пришел к идее реинкарнации как пути достижения совершенства. Но образ бабочки использовали также современные ученые и философы. О «бабочке в Бразилии, взмах крыльев которой может вызвать ураган в Техасе» — ничтожной причине важных событий, — знают даже те, кто ничего не понимает в бифуркациях и неравновесных системах. (Кстати, предложил этот образ американский метеоролог Эдвард Лоренц в 1963 году: в его компьютерной модели округление исходных данных с миллионных долей до тысячных, вопреки ожиданиям, совершенно изменило результат.) И наверное, нет такого исследователя биоразнообразия, который хоть раз бы не упомянул в своих выступлениях бабочку Брэдбери: случайная гибель одного насекомого в далеком прошлом сделала мир будущего бедней и уродливей.

Кто-то скажет, что это просто метафоры. Но взмахи крыльев бабочек и в самом деле оставили след не только в литературе. Можно сказать без преувеличения, что вся история человечества сложилась бы иначе, не прими в ней участие эти насекомые.

От шелка до феромона

Сотрудничество людей и бабочек началось примерно пять тысячелетий назад. Древнекитайский философ Конфуций пересказывает легенду о том, как человек впервые узнал про шелковую нить. Императрица Си-Лин-ши нашла под кустом тутовника кокон и приняла его за какой-то дивный плод. Но он случайно выпал из ее рук в чашку с чаем. Стараясь достать его, императрица вытянула шелковую нить. В благодарность за это нечаянное открытие китайцы возвели Си-Лин-ши в ранг божества Поднебесной империи. А занимались производством шелка первое время лишь императрицы и женщины из числа их приближенных.

Шелковые коконы сплетают из своей затвердевающей на воздухе слюны — белкового вещества — гусеницы многих видов шелкопрядов и павлиноглазок, но самый ценный производитель шелка — тутовый шелкопряд (*Bombyx*



mori, семейство *Bombicidae*). Уже много тысячелетий в Китае разводят эту бабочку. Долгое время способ получения шелка оставался тайной, за разглашение которой по законам Поднебесной полагались пытки и смертная казнь, и в других странах он ценился на вес золота.

Но все тайное в конце концов становится явным. Согласно древним текстам, в IV веке н. э. китайский император выдал дочь за правителя Бухары. Подарок принцессе жениху, скрытый в ее причудливой прическе, был бесценным — яйца тутового шелкопряда. В том же веке шелководством занялись и в некоторых районах Индии. А в VI веке н. э. двум монахам удалось донести до Европы не только яйца шелкопряда, но и семена тутовника (шелковицы), спрятавшие в посохах. Тысячу лет спустя Франция стала одним из основных производителей шелка в мире.

Однако и сама китайская монополия на шелк, как ни парадоксально, внесла важный вклад в историю культуры. Великий шелковый путь — караванная дорога, связывавшая в древности Запад с Востоком и протянувшаяся через грандиозные горы Центральный и Средней Азии, — служил развитию географии как науки, а также способствовал экономическим, политическим и культурным связям между странами Европы и Азии.

Тутовый шелкопряд — пример абсолютного служения людям: эти бабочки в природе уже не встречаются и даже разучились летать. Каждый кокон состоит примерно из 3,5 км нити, но размотать удается не более 1 км. Сам шелк настолько легкий и прочен, что из него делают парашюты; 1 мм² выдерживает нагрузку до 46 кг, то есть не уступает стали.

Из коконов китайского дубового шелкопряда (*Antheraea pernyi*) получают другое натуральное шелковое волокно — то, из которого ткют красивую легкую золотистую чесучу. К диким производителям шелка относится и китайская дубовая павлиноглазка (*Antheraea harti*).

В XX веке у шелка появился серьезный соперник — химические волокна: искусственные, а затем и синте-

Структурная формула бомбикола
 $CH_3CH_2CH_2CH=CHCH=CH(CH_2)_8CH_2OH$



Тутовый шелкопряд:
бабочка и коконы



Березовая пяденица (темная и светлая формы)

тические. Многие из них превосходят шелк по прочности, обладают меньшей сминаемостью, устойчивее к истиранию. Но человек лучше чувствует себя в одежде из натурального шелка благодаря его высокой способности впитывать влагу и меньшей, чем у синтетики, электризуемости. Тем не менее мировое производство шелка постепенно падает (теперь оно не превышает 45 000 тонн в год), а химических волокон — растет. Китай, некогда основной производитель шелка, переместился с первого места на третье — после Японии и Кореи. И все же заметим, что в синтетические полиамидные волокна (капрон, нейлон, энант и др.), как и в шелковую нить, входят амидные группы. Выходит, что и синтезировать волокна человек научился у бабочек!

Однако шелк — не единственный дар тутового шелкопряда. В странах Азии после использования коконов десятки тысяч тонн куколок зажаривают, засахаривают и съедают как богатый белками деликатес. А сравнительно недавно из куколок начали выделять масло, используемое для лечения рака. Вклад же этой бабочки в самые различные области знаний поистине удивителен.

Луи Пастер в 1865 году впервые установил, что некоторые болезни тутового шелкопряда имеют инфекционную природу. Результаты его работ не только спасли в XIX веке шелководство во Франции, но и стали частью заложенных им основ микробиологии.

Академик Б.Л.Астауров в 30-е годы прошлого века провел на тутовом шелкопряде исследования, которые стали классическими и послужили, в частности, важными доказательствами в пользу хромосомной теории наследственности. Так, он подобрал условия термического воздействия, которое побуждало к развитию неоплодотворенное яйцо шелкопряда: в результате из таких яиц развивалось потомство, генетически идентичное матери (такой тип размножения называется партеногенезом). Однако шелководам гораздо выгоднее разводить самцов, так как в их коконах больше шелка. Поэтому Б.Л.Астауров разра-



ботал способ андрогенеза: воздействием гамма-лучей и высокой температуры на яйцо «выводили из строя» его ядро, и затем из этих яиц развивались самцы, получившие генетический материал только от оплодотворивших их сперматозоидов.

Опыты на тутовом шелкопряде стоят у истоков наших знаний о феромонах — активных веществах, выделяемых животными в окружающую среду и специфически влияющих на поведение или физиологическое состояние других особей того же вида. Несколько миллиграммов полового феромона самки тутового шелкопряда, бомбикола (согласно систематической номенклатуре это транс-10-цис-12-гексадекадиенол-1), выделил из сотен тысяч особей в 1959 году А.Бутенандт после 20 лет упорного труда. Это вещество привлекает партнера к самке уже при концентрации $3 \cdot 10^{-19}$ мг/мл.

О пользе прожорливых гусениц

Наблюдения, накопленные при изучении и сборе бабочек, позволили замечательному натуралисту и путешественнику А.Уоллесу независимо от Дарвина (который, кстати, тоже был знатоком бабочек) и почти одновременно с ним прийти к открытию движущей силы эволюции организмов — борьбы за существование и неразрывно связанного с ней естественного отбора. Уоллес писал: «Ни одна другая группа, может быть, не обнаруживает с такой определенностью и точностью отличительных признаков рода и вида, вероятно, потому, что, по меткому замечанию Бейтса (автора книги «Натуралист на Амазонке» и др. — Л.К.), все внешние признаки изменения организации проявляются в ней в преувеличенном масштабе в смысле величины, формы и жилкования крыльев. Маленькие чешуйки на крыльшках образуют известный рисунок, который и изменяется при малейшем изменении окружающих условий». Х.Бейтс предвидел, что «изучение бабочек... будет впоследствии считаться одной из важнейших отраслей биологических наук». Так и оказалось. По современным представлениям, важнейшие факторы эволюции — мутации генов и естественный отбор. Бабочки же представляют собой удобный объект для генетиков: изменения в генах могут наглядно проявиться в окраске и рисунке крыльев, а быстрая смена поколений ускоряет работу.

Бесспорной героиней в исследованиях микроэволюционных процессов стала скромная березовая пяденица (*Biston betularis*). Преобладание в популяции особей темной или светлой окраски зависит от цвета коры деревьев, на которых бабочка располагается днем. Естественно, темные пяденицы лучше замаскированы на темной коре, светлые — на светлой. Отбор проводят птицы, которые склевывают первыми тех, кто лучше заметен. В свою очередь, к почернению березовых стволов ведет загрязнение сажей и копотью. Таким образом, пяденица становится индикатором экологического благополучия местности. Об аллельных формах гена, определяющих окраску этой бабочки, подробно и увлекательно рассказал читателям «Химии и жизни» профессор А.А.Прозоров (2004, № 3).

Полезьа от бабочек многократно превосходит вред, который причиняют гусеницы, поедая растения. Причем в распространении и массовом размножении гусениц часто бывает повинен сам человек: численность вредителей резко возрастает там, где на обширных площадях высаживают одну и ту же культуру (монокультуру). Благоприятствует вредителям и неоправданное применение пестицидов, от которых в первую очередь страдают полезные насекомые, уничтожающие вредных.

С другой стороны, гусеница, поедающая растение, не всегда причиняет ему вред. В сложившихся за миллионы лет отношениях насекомого с его кормильцем есть правила, которые помогают выжить обоим. Нередко повреждение даже стимулирует развитие растения. На каждом гектаре широколиственного леса при биологическом равновесии обитает 200—300 килограммов гусениц! Оказываются, деревьям нужно, чтобы их объедали. Лес, где гу-



Репейница — спасительница американских фермеров

сеницы уничтожены ядохимикатами, обречен на усыхание из-за накопления листьев, покрывающих почву. А вот деревья, у которых часть листьев весной и в начале лета съедают гусеницы, сразу получают достаточно удобрений — до 200 кг экскрементов на гектар. Листья, появившаяся в середине лета, не столь обильна и осенью дает опад, который к весне успевает перегнить и увеличивает в почве количество необходимых органических веществ. И только когда численность гусениц при массовом размножении необычно высока, они могут снизить урожай и даже погубить дерево.

Зато гусеницы бабочек, чьим кормовым растением служит какой-нибудь вид сорняка, подчас оказываются самым эффективным средством борьбы с ним. В первой половине XIX века в Австралию завезли кактус опунцию. Его использовали как живые колючие изгороди вокруг ферм. Но уже к концу века опунция стала злостным сорняком, который в отсутствие естественных врагов к 1920 году захватил площадь около 24 млн. га. Австралийских фермеров спасли червец рода дактилопис и клоп хеленидеа, а также гусеница бабочки огневки кактобластис (*Cactoblastis cactorum*), которая поедает опунцию на ее родине, в Южной Америке. 2750 яиц, отложенных огневкой на кактус, отправили в Австралию в 1925 году. Уже первое поколение бабочек отложило 100 000 яиц, а следующее — более 2,5 млн. Через несколько лет опунция в Австралии стала редким видом.

Перед Второй мировой войной гусеницы расплодившейся в США репейницы (*Vanessa cardui*) столь эффективно

уничтожали сорняки, что фермеры обратились в департамент сельского хозяйства с запросом: нельзя ли вызвать массовое размножение репейниц каждый год?

Как это можно есть?!

Обжоры гусеницы не только накапливают в себе питательный материал, который поможет куколке превратиться в бабочку, а бабочке — отправиться в полет. Они сами, как, впрочем, и бабочки, и куколки, выступают в роли важного пищевого ресурса для множества животных — от наездников до человека — и даже для паразитирующих грибов. Я не раз испытывал отчаяние, обнаружив, что вместо долгожданного прекрасного аполлона из куколки вылезали мерзкие мелкие мухи-наездники.

Однажды в Перу я обедал на веранде индейской хижины километрах в ста от Икитоса на Амазонке. Мы только что вернулись из сельвы, где искали бабочек, и оживленно обсуждали результаты похода. Я заметил, что одна из мисок на столе заполнена какими-то желтовато-кремовыми цилиндриками с черным пятнышком на конце. Мои спутники, Марио Каллегари и Марви, то и дело погружали в эту миску свои ложки. Увлеченный разговором, я тоже положил в рот такой цилиндрок. Раскусив хрустящую корочку, ощутил сладковатый вкус крема. И тут только я понял, что ем личинку насекомого. Марио подтвердил это. Правила приличия заставили меня проглотить «деликатес». Тогда же Марио рассказал, как пару лет назад их энтомологическая экспедиция заблудилась в сельве и оказалась без продуктов и спичек. Несколько дней они ели одних сырых личинок. К удивлению врачей, энтомологи выбрались из леса достаточно упитанными и в неплохом состоянии.

Личинок бабочек используют в пищу в тропических и субтропических странах не только из-за недостатка продуктов питания, но еще и потому, что они очень вкусны и питательны. Не случайно на тамошних рынках они раза в четыре дороже мяса. И если в Азии популярны куколки тутового шелкопряда, то в Южной Африке предпочитают иное лакомство — жареных и копченых мопани, гусениц прекрасной павлиноглазки белины (*Gonimbrasia belina*). Там их съедают около 1500 т за год.

Не исключено, что в будущем значение бабочек как источника пищи для человека резко возрастет. Ведь 30 тысяч гусениц тутового шелкопряда, только вышедших из яичек, весят 15 г, а через месяц — 150 кг! Если бы 20-килограммовый теленок рос такими темпами, через ме-

(Фото: Арне Ларсен, Википедия)



Съедобная африканская гусеница мопани

Модная биодобавка кордицепс — это гриб, развивающийся в телах гусениц бабочек рода Thitarodes





Этот скальный массив — место обитания чарльтониуса Анюта



ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

сяц он весил бы 200 т. (Одна из причин такого стремительного роста в том, что растительноядные насекомые, в отличие от позвоночных, могут усваивать целлюлозу, составляющую до 60% сухой массы растения.)

В последние годы медики заинтересовались удивительным грибом кордицепсом китайским, вырастающим лишь на гусеницах бабочек определенного вида. Разносимые ветром споры грибка заражают зимующую в почве гусеницу, и вскоре мицелий заполняет ее оболочку. Весной из мертвой гусеницы вырастает гриб в виде стебелька. Около двух тысяч лет назад пастухи Восточного Тибета заметили, что овцы и яки, поедающие эти грибы, становятся активнее и выносливее. Этот грибок давно используется в китайской и тибетской медицине, а знаменитым он стал в 1993 году, после того как на Национальных играх в Пекине две китаянки, ранее никому не известные, применили его как допинг и побили с фантастическим результатом мировые рекорды по бегу на 1500, 3000 и 10 000 м. Сейчас кордицепс становится модной биодобавкой, в том числе и в России. Ведутся лабораторные исследования его стимулирующего эффекта — впрочем, продавцы и покупатели биодобавки, как обычно, не собираются дожидаться результатов. Стоимость особенно качественных стебельков кордицепса на мировом рынке уже достигает десятков тысяч долларов за килограмм.

Опылители в космосе

В роли опылителей некоторых видов растений бабочек не заменят ни шмели, ни пчелы: путь к нектару бывает очень узким, а венчик цветка — таким глубоким, что только бражники своими хоботками могут добраться до лакомства. Так, в XIX веке на Мадагаскаре обнаружили орхидею с цветками такой глубины, что ни одно из известных в то время насекомых не могло опылить их. Чарльз Дарвин предположил тогда, что существует бражник, которому это под силу. Предсказание Дарвина сбылось в 1903 году, когда был найден бражник с длиной хоботка около 28 см. Это был *Xanthopan morgani*, и ему дали подвидовое название *predicta*, то есть «предсказанный». Ин-

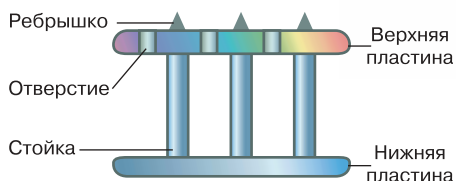
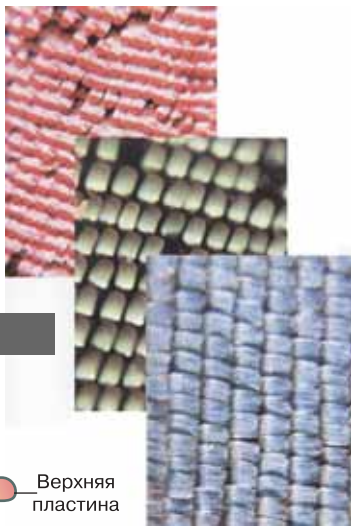
тересно, что из всех бабочек только бражники способны опылить за три минуты до ста цветов.

В сентябре 2007 года на землю вернулся спутник «Фотон-М-3», в котором провели на орбите 12 суток микроорганизмы, тараканы, улитки, тритоны, ящерицы, мыши-песчанки, а также тутовый шелкопряд. (Кстати, проект эксперимента с бабочкой в космосе был придуман московскими школьниками.) Гусеница шелкопряда смогла окуклиться на орбите, но «растерялась» в условиях невесомости и обмотала шелковой нитью не себя, а приютившую ее веточку. Космическая экспансия бабочек — вовсе не праздная затея. Сейчас, как известно, идет подготовка к полету на Марс. В проектируемом корабле предполагается оранжерея, которая обеспечит космонавтов свежими овощами. Опыление же цветков собираются доверить бабочкам.

Неудивительно, что для насекомых, чья жизнь тесно связана с цветами, очень важна погода. Наблюдательный человек сможет по поведению бабочек узнать о предстоящем ненастье. За несколько часов до грозового ливня известная всем крапивница спасается под ветками, в помещениях, в дуплах деревьев. За полчаса-час до грозы ищут укрытия в лесу переливницы (*Apatura ilia*, *A. iris*). Нервным, дергающимся становится перед грозой полет огромного южноамериканского парусника тоаса (*Papilio thoas*). Ж.А.Фабр обнаружил, что гусеницы походного соснового шелкопряда (*Thaumtopoea pityocampa*) перед ненастьем не выходят из своих общих гнезд на ночную кормежку...

Удивительны синоптические способности куколки прекрасного высокогорного восточнопамирского аполлона чарльтониуса Анюта (*Parnassius charltonius anjuta*). В результате многолетних наблюдений я установил, что время начала выхода этих бабочек из куколок зависит от того, придется ли длительный снегопад на обычные сроки активного лета бабочек (конец июля — начало августа). Если да, то лет начинается на неделю, даже дней на десять раньше обычного. Если я замечу анюта на Мынхаджире пятнадцатого — двадцатого июля — буду знать, что не позднее чем через десять дней начнется снегопад. В горах такое знание дорогого стоит.

Чешуйки покрывают крыло бабочки подобно цветной черепице



Чешуйка имеет сложное строение

Наблюдения за бабочками могут помочь геологам в поисках полезных ископаемых. Некоторые растения предпочитают почвы, богатые соединениями определенных металлов, например цинка, свинца. Цинковые руды надо искать там, где растет фиалка золотистая. А обратить внимание на фиалку помогут бабочки перламутровки — любительницы этих цветов.

Бабочки и бионика

За более чем 200 млн. лет существования на Земле бабочки приспособились к самым разнообразным условиям в различных средах обитания. Совершенны строение их тела и крыльев, их сенсорные способности. Мощные грудные мышцы, идеальная с точки зрения аэродинамики форма тела и крыльев бражников позволяют им, лучшим летунам среди бабочек, развивать скорость до 60 км/ч и совершать перелеты на многие сотни километров. И не случайно фюзеляж и крылья современных самолетов напоминают тельце бражника и его передние крылья.

Аэродинамические свойства крыла бабочки улучшают и чешуйки. Их двухслойный покров увеличивает его подъемную силу при планирующем полете, а при машущем — снижает шум и вибрацию. Чешуйчатое покрытие способствует и стеканию статического электричества.

Сама чешуйка, длина которой не более 0,5 мм, — сложное образование, состоящее из верхней и нижней пластин, соединенных стойками. В углублениях между ребрышками верхней пластины имеются отверстия, позволяющие воздуху проникать в полое пространство чешуйки. Эту конструкцию инженер, авиатор и энтомолог И.С.Ковалев решил использовать в покрытии винта вертолета — и подъемная сила винта увеличилась на 10% благодаря улучшению обтекания поверхности воздухом. Когда же Ковалев снабдил подобным покрытием внутреннюю поверхность трубы диаметром 40 мм, сопротивление движению жидкости в ней снизилось на 10% по сравнению с трубой с гладкой стенкой. Причина — сохранение ламинарного режима при более высоких скоростях. А сходное покрытие трубы снаружи уменьшало теплопотери.

Нанотехнологов могут заинтересовать великие путешественницы — бабочки данаиды большой монарх (*Danaus plexippus*), пролетающие за три месяца около 3200 км — с севера США и юга Канады до Техаса и Мексики. При этом в облачные дни они летят по своему магнитному

Данаида большой монарх — путешественник с магнитным наноконпасом в груди



компасу — мельчайшим частицам магнитного железняка в тканях груди.

Специалистов по бионике и определению сверхмалых количеств вещества вдохновляет конструкция усиков самцов павлиноглазок и некоторых шелкопрядов: эти бабочки улавливают в воздухе поразительно низкие концентрации феромонов самок. Так, самец павлиноглазки павонии улавливает запах самки за 11 км против ветра, и даже в лесу. Это кажется сверхъестественным, ведь чтобы найти самку, необходимо еще определить направление, в котором концентрация аттрактанта увеличивается. Так как молекулы многих из этих феромонов содержат сопряженные двойные связи, я допускаю, что в этом случае обонятельные рецепторы бабочек улавливают не саму молекулу, а электромагнитные колебания, испускаемые молекулой при перемещении подвижных пи-электронов внутри системы сопряженных двойных связей. Но это, конечно, гипотеза, которая нуждается в проверке.

Чтобы встречи с бабочками радовали и вдохновляли как можно больше людей, во многих странах, в том числе и в России, созданы Дома бабочек, где великолепных обитателей тропиков можно увидеть живыми и летающими. В последние годы бабочки стали популярным подарком к юбилеям, свадьбам и иным торжествам. Представьте: юбиляр вскрывает коробку и оттуда вылетают одна или несколько — пестрым фейерверком — крупных ярких бабочек... Праздничное настроение обеспечено! Спрос на «свадебных» бабочек растет, их разводят уже десятки компаний.

Но созерцание бабочек дарит не только радость. В рисунке крыльев этих чудесных существ сочетания невероятно разнообразных цветов и оттенков удивительно гармоничны — здесь отразилась общая гармония природы, ее способность творить прекрасное. Как шахматы развивают интеллект, внимание, расчетные способности, так созерцание бабочек развивает и обостряет способности эстетические: восприятие и понимание прекрасного. А чувство прекрасного делает человека счастливым, позволяя ему находить гармонию и красоту в природе, в профессии, в искусстве, в людях. Поэтому эстетические способности так же нужны человеку для полноценной жизни, как и интеллект. Без развитого эстетического восприятия не обойтись и ученому: при исследовании совершенно новых явлений накопленные знания помогают не всегда, и подчас приходится руководствоваться принципами гармонии. И не случайно многие выдающиеся ученые, художники, писатели, политики с детства собирали и изучали бабочек. Нередко интерес и любовь к природе, определившие профессию многих биологов, зарождались при встрече с прекрасной бабочкой в детстве. Ведь дети наиболее восприимчивы к их фантастической красоте. У всех, и особенно ярко у детей, — эти порхающие цветы создают то ощущение тайны, которое, по словам великого физика и скрипача-любителя Альберта Эйнштейна, «лежит в основах истинного искусства и истинной науки».



**Уважаемые читатели, напоминаем вам
о том, что скоро начнется подписка
на второе полугодие
2008 года.**



Для оформления подписки, ищите на почте каталоги: «Роспечать», www.rospr.ru, индексы 72231 и 72232; «АРЗИ» (Пресса России), www.arzi.ru, индексы 88763 и 88764; «Межрегиональное агентство подписки», (Почта России) www.map-smi.ru, индексы 99644 и 99645, а так же обращайтесь в агентства «Урал-пресс», uralpress.ur.ru, (495) 789-86-36; «Вся пресса», (495) 906-07-35; «Информсистема», www.informsistema.ru, (495) 127-91-47; «Интерпочта», www.interpochta.ru, (495) 684-55-34; «Комкур» (Казань), (843) 291-09-77; «Артос-Гал», (495) 981-03-24; «Информнаука», (495) 787-38-73.

На Украине помимо этих агентств можно подписаться в компании «KSS», www.kss.kiev.ua, тел. в Киеве (440) 585-80-80, в «Информационной службе мира», ism.com.ua, тел. в Киеве (440) 559-24-93, 586-48-69 или с помощью каталога зарубежных изданий на почте.

Кроме того, с любого номера можно подписаться в редакции. Для этого нужно отправить запрос по электронной почте redaktor@hij.ru, мы вышлем квитанцию для оплаты подписки через Сбербанк. Подписку можно оплатить и электронными Яндекс.Деньгами через наш киоск: www.hij.ru/kiosk.shtml.



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.

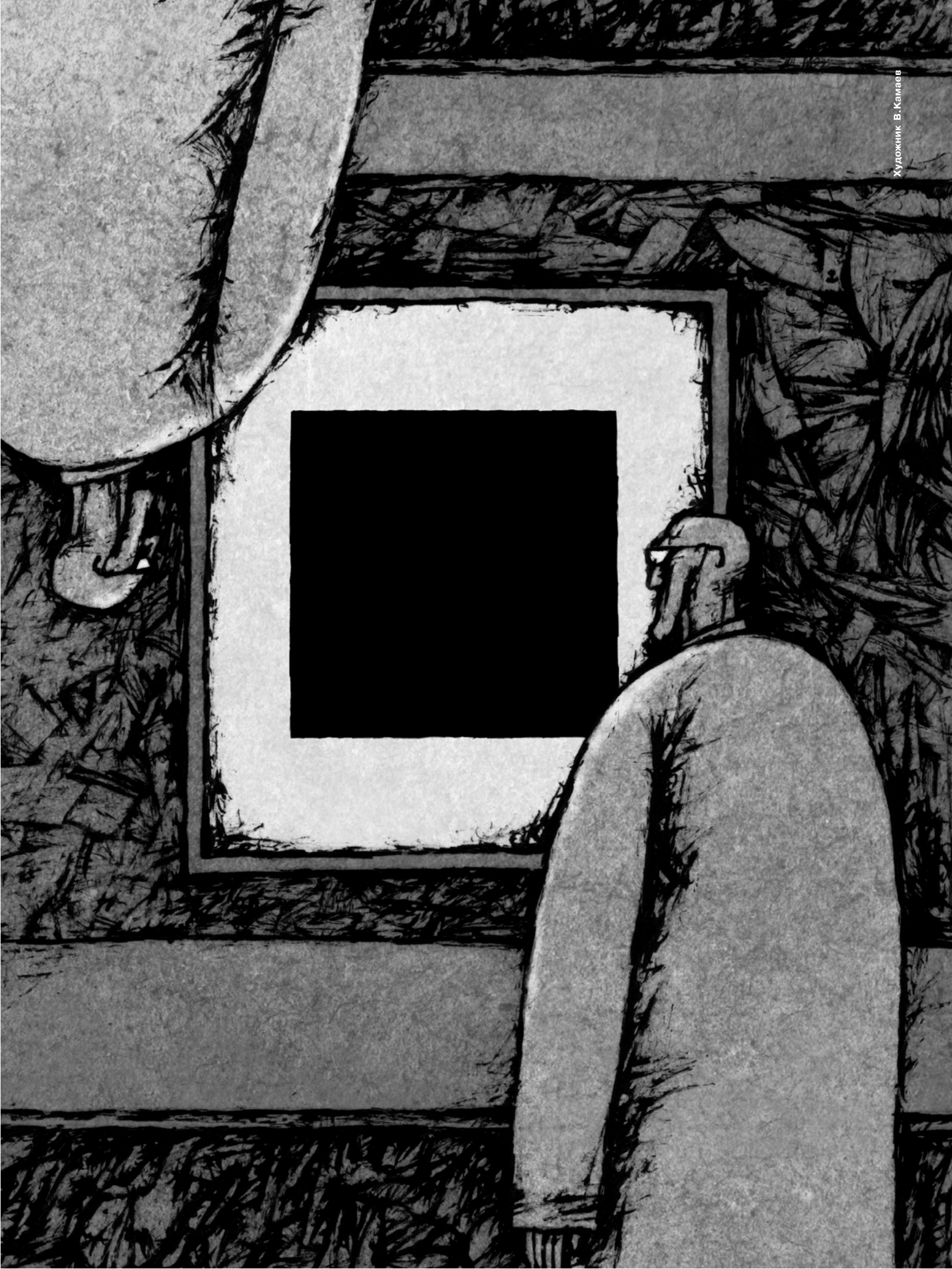
Электронный архив дает возможность поиска по ключевым словам и смысловым конструкциям.

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
(495) 267-54-18.



Художник В. Камаев

Наука в России и в мире: попытка беспристрастного рассмотрения



РАССЛЕДОВАНИЕ

Доктор химических наук
Г.В.Эрлих,
доктор химических наук
Г.В.Лисичкин

Что есть отечественная наука, мировая наука и наука вообще? Цели настоящей статьи, безусловно, далеко выходят за рамки терминологического спора, но, договорившись о терминах, мы сможем получить объективное представление о состоянии дел в российской науке, определить узкие места, обсудить, какая наука нам нужна.

К сожалению, обсуждая российскую науку, мы не можем опереться на данные российской же статистики, которая ущербна, частично закрыта и коммерциализована. Сайты организаций и ведомств, имеющих непосредственное отношение к теме настоящей статьи, таких, как Министерство науки и образования (включая федеральные агентства), Высшая аттестационная комиссия, Российский фонд фундаментальных исследований и Российский гуманитарный научный фонд, поражают практически полным отсутствием сведений о результатах их деятельности, равно как и серьезные аналитические материалы. Поэтому данные о состоянии отечественной науки, образования и экономики мы черпали преимущественно с официальных сайтов ООН (<http://www.un.org>), ЮНЕСКО (<http://www.unesco.org>; <http://stats.uis.unesco.org>), Евростата (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>), Всемирного банка (<http://info.worldbank.org>) и Национального научного фонда (ННФ) США (<http://www.nsf.gov>). Следует отметить, что и на них информация зачастую дается с большим опозданием, даже на сайте всеведущего ЦРУ (<http://www.cia.gov>) некоторые «новейшие» сведения и аналитические обзоры датируются 2003 годом. Разумеется, мы отдаем себе отчет, что с помощью статистики можно обосновать любой наперед заданный тезис, поэтому смиренно принимаем любые упреки в тенденциозном подборе данных.

Диверсификация наук

Говоря о бедственном положении российской науки, авторы обычно подразумевают науку в целом, совершенно забывая о яростных спорах вокруг классификации наук. При этом ученые-естественники имеют в виду фундаментальную науку (получение новых знаний о природе), ученые гуманитарного профиля – социальные и гуманитарные науки, приговаривая к природе еще и общество, а авторы, так или иначе связанные с экономикой, промышленностью и инновациями, объединяют фундаментальные и прикладные исследования. При этом все дружно оставляют за скобками науку медицину, которая на Западе считается одной из важнейших наук. Не будем углубляться в вопрос о том, наука ли медицина, как и опровергать довольно распространенное и, на наш взгляд, неверное мнение, что российская медицина как наука ничтожна. Отметим лишь, что штамп «Наукой у нас занимаются в РАН, а медициной – в Академии медицинских наук» вносит путаницу в статистику, и в то же время наибольшее количество диссертаций защищается именно по медицине, а это – один из основных формальных критериев эффективности науки в целом. Похожая ситуация и в сельскохозяйственных науках, которые на Западе относятся к числу важнейших и, естественно, учитываются статистикой, а у нас выделены в отдельную академию и проходят по другой статье. Но что бы ни вкладывали авторы в слово «наука», это понятие у нас всегда уже по сравнению с западными стандартами статистики, что зачастую искажает истинное положение дел в российской науке.

Но все же какой наукой занимаются в нашей стране? Или – какими науками? Дать количественный ответ на этот вопрос не так просто. Наиболее объективным критерием было бы количество исследователей, работающих в определенной отрасли наук, но такие данные для России отсутствуют, возможно даже, что их нельзя получить в принципе. Одна из причин этого – разнообразие научных организаций. Разделение сотрудников всех этих организаций по отраслям знаний представляется затруднительным, поэтому наиболее достоверные данные относятся к разделению на более крупные области применительно к академическому сектору науки (табл. 1).

Из этой таблицы видно, что две трети академических исследователей сосредоточено в РАН, так что заявления о том, будто наукой в России занимаются преимущественно в РАН, имеют некоторые основания, если забыть о том, что общая численность сотрудников РАН не превышает 10% от общей численности научных работников страны. (Последняя величина удивительным образом соответствует данным ОЭСР о доле фундаментальных исследований в общем объеме НИР в России – см. таблицу 2.) Отметим также высокий удельный вес РАСХН и напомним, что в СССР сельским хозяйством занималось около 900 научных учреждений из примерно 5000.

Другая возможная количественная оценка национальной науки – анализ структуры научных публикаций. В таблице 3 приведены данные для России в сравнении со среднемировыми показателями. Очевидна принципиально различная структура публикаций: более половины всех публикаций российских ученых приходится на две дисциплины – физику (34,3%) и химию (26,7%), к которым надо еще присовокупить науки о Земле (6,5%), где мы также втрое превосходим среднемировой уровень. При этом наблюдается полный провал с науками, так или иначе связанными с человеком и обществом, – меди-

Таблица 1
**Численность сотрудников,
работающих в организациях российских академий**

Показатели	РАН	РАСХН	РАМН	РАО	РААХ	РАХ
Число организаций	429	225	66	18	4	2
Численность персонала, занятого исследованиями и разработками	120 463	25 316	14 742	21 51	620	636
В том числе исследователи	56 774	17 900	8 157	13 73	308	301

Таблица 2

Доля фундаментальных исследований в общем объеме НИР в 2000–2002 гг. (по данным Организации экономического сотрудничества и развития, www.nsf.gov)

Страна	Доля фундаментальных исследований, %
Новая Зеландия	45
Польша	32
Мексика	31
Швейцария	28
Австралия	26
Аргентина	26
Чехия	25
Франция	23
Израиль	18
США	18
Сингапур	15
Южная Корея	14
Россия	14
Япония	13
Тайвань	11
Китай	6

Таблица 3

Структура научных публикаций в России и мире в 1998–2002 гг. («Вестник РАН», 2007, т. 77, № 9, с. 811–818)

Область знания	Доля статей, %	
	Россия	Средняя по миру
Клиническая медицина	3,33	24,01
Химия	26,71	13,88
Физика	34,31	12,48
Биология и биохимия	3,50	7,53
Техника	7,70	7,45
Наука о растениях и животных	2,95	6,18
Нейронауки	0,53	3,90
Материаловедение	4,29	3,80
Социальные науки	1,02	3,59
Молекулярная биология и генетика	2,25	3,03
Геонауки	6,50	2,84
Психология. Психиатрия	0,59	2,73
Экология. Охрана окружающей среды	0,90	2,55
Агронауки	0,86	2,33
Микробиология	0,99	2,24
Фармакология	0,21	2,14
Математика	2,35	1,81
Иммунология	0,29	1,77
Экономика и бизнес	0,16	1,39
Мультидисциплинарные науки	-	1,39
Науки о пространстве	2,78	1,25
Компьютерные науки	0,39	1,20
Образование	0,12	0,37
Право	0,03	0,26

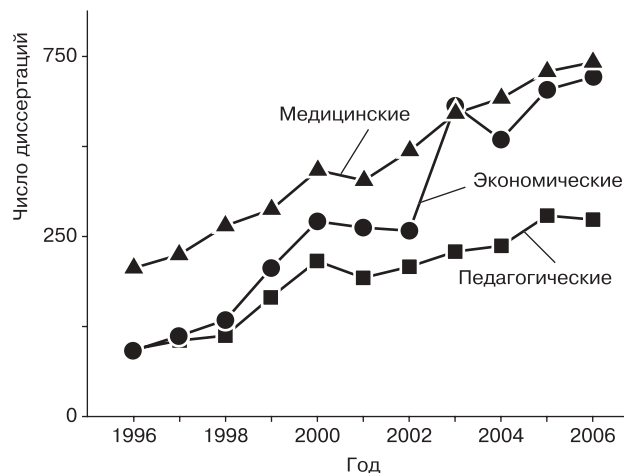
циной, бионауками, социальными науками и даже агронауками. Существенно, что структура публикаций практически не меняется со временем или, вернее, со времени СССР, то есть представляет нам «отпечатки пальцев» нашей национальной науки, ориентированной в основном на фундаментальные исследования в области естественных наук. Интересно, что похожая структура публикаций наблюдается в настоящее время и в таких странах, как Польша, Чехия, Румыния и, естественно, Украина. Вместе с тем эти данные вызывают чувство неудовлетворенности, подозрение, что они не могут соответство-



1 Общее количество кандидатских и докторских диссертаций, утвержденных ВАКом России в 1996–2006 гг.

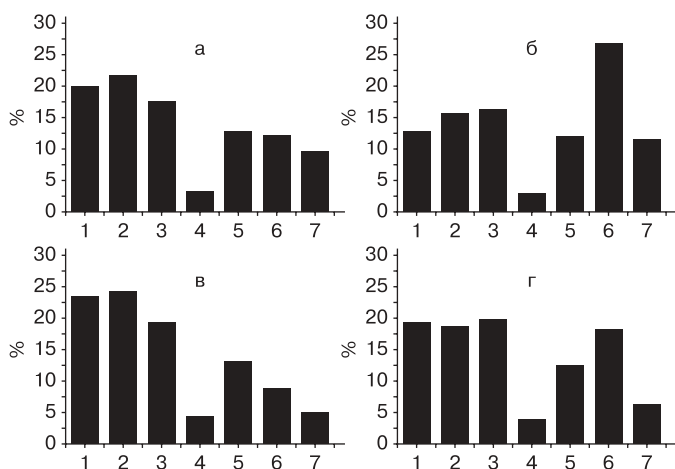


2 Количество кандидатских диссертаций по химическим, политическим и военным наукам, утвержденных ВАКом России в 1996–2006 гг.



3 Количество кандидатских диссертаций по медицинским, экономическим и педагогическим наукам, утвержденных ВАКом России в 1996–2006 гг.

вать положению дел в отечественной науке. В связи с этим мы запросили в ВАК данные о диссертациях, утвержденных в течение последних десяти лет. Некоторые результаты представлены на рисунках 1–4. Не останавливаясь подробно на их анализе, отметим лишь следующее. Во-первых, резкий рост количества кандидатских диссертаций на фоне приблизительно постоянного количества докторских. Последнее, кстати, — отрядный показатель, опровергающий тезис о смерти отечественной науки, потому что защита докторских диссертаций имеет к науке гораздо больше отношения, чем защита кандидатских, по



4
Распределение кандидатских (а, б) и докторских (в, г) диссертаций, утвержденных ВАКом России в 1996 (а, в) и 2006 (б, г) годах, по областям знания:

- 1 – естественные (физико-математические, химические, биологические, геолого-минералогические) науки;
- 2 – технические науки;
- 3 – медицинские (медицинские, фармацевтические) науки;
- 4 – сельскохозяйственные (сельскохозяйственные, ветеринарные) науки;
- 5 – гуманитарные (исторические, философские, филологические, искусствоведение, архитектура) науки;
- 6 – социальные (экономические, юридические, социологические, политические, культурология) науки;
- 7 – педагогические и психологические науки.

Не учтены данные по географическим наукам из-за неопределенности отнесения к физической и экономической географии, а также данные по военным наукам, но их суммарный вклад не превышает 1,5%

сути квалификационных диссертаций. Во-вторых, структура распределения диссертаций по отраслям науки находится в волющем противоречии со структурой публикаций (табл. 3). Число защищенных диссертаций по многим специальностям превосходит число статей, учитываемых статистикой. Но этого не может быть, потому что требования ВАКа к числу и «качеству» статей никто не отменял, а количество статей в рецензируемых журналах, как нам представляется, приблизительно одинаково в диссертациях по естественным и прочим наукам. В-третьих, структура российской науки по данным о диссертациях приближается к мировой, и если в «докторском» секторе наблюдается относительное постоянство, то в «кандидатском» происходит отчетливый сдвиг в социальную сферу. Не подтверждается также тезис о том, что медицина у нас находится в заgone: судя по количеству диссертаций, она у нас развивается, и весьма успешно.

В чем же причина столь разительного расхождения между данными о числе научных учреждений (и количестве научных сотрудников), занимающихся различными отраслями науки, структурой публикаций и распределением числа защищаемых диссертаций? По нашему мнению, все упирается в критерии, по которым оцениваются уровень и эффективность науки. Об эффективности мы поговорим чуть позже, пока же рассмотрим критерии.

Россия, что бы там ни говорили, великая держава, и мышление у нас великодержавное, проявляющееся даже в самоуничтожительных стенаниях о всеобщем разорении. Мы согласны мерить себя только по высшим образцам. Мы сетуем, что отстаем в космической области, как-то забывая, что многие страны, признаваемые нами за экономически более развитые, чем Россия, даже не помышляют о космических исследованиях. Нас нисколько не удовлетворяют темпы нашего экономического роста, в два-три раза превышающие соответ-

ствующие показатели ведущих стран Европы, потому что есть Китай, у которого они выше. И, говоря о науке, мы подразумеваем исключительно фундаментальную науку, более того – науку высших достижений ранга Нобелевской премии, почитая только ее одну достойной великой державы. И в запале алармистских сравнений забываем, что другие страны, например Сингапур или даже Швеция, вкладывают в это понятие (и соответственно в статистику) нечто иное, куда более скромное.

Мы предлагаем следующую общую классификацию научной деятельности: исследовательская, инженерная, лаборантская и учебная. (Заметим, что большинство авторов, говоря о науке, подразумевают научную деятельность, что в общем-то не одно и то же. Можно сказать, что с наукой у нас дела обстоят более или менее неплохо, а вот с научной деятельностью – беда.) Различие между ними проще всего проиллюстрировать примером из близкой нам химии. Итак, ученый-исследователь синтезирует соединение нового класса; другой ученый занимается оптимизацией условий синтеза, изучением характеристик и возможных применений этого соединения и, при наличии полезных практических свойств, масштабирует синтез; третий ученый адаптирует разработанные процедуры к конкретному сырью, разрабатывает методы анализа, оценивает воздействие соединений на окружающую среду, предлагает способы утилизации отходов; и наконец, еще один ученый занимается синтезом ближайших аналогов базового соединения, используя разработанную методику и варьируя заместители, меняя, например, метил на этил, пропил, изопропил, трет-бутил, etc., – такие работы характерны в наибольшей степени для образовательных учреждений: не прибавляя научного знания как такового, они прибавляют ученых.

Кому-то такая классификация может показаться обидной, но обратим ваше внимание: ко всем категориям исследователей мы применили слово «ученый». И мы ни в коем случае не хотим ранжировать научные исследования и уж тем более самих исследователей, ими занимающихся. Чем заниматься – зависит не только от желания самого исследователя, а высокая квалификация нужна везде. Инженерные задачи требуют как минимум не меньших затрат умственных и физических усилий, чем исследовательские; ошибки на третьем уровне, в отличие от первых двух, могут привести к катастрофическим последствиям, а низкая квалификация преподавателей лишит науку будущего. Все это – наука, необходимая для развития человечества, и каждая страна для собственного блага и безопасности развивает (вынуждена развивать) науку, расставляя в ней приоритеты в соответствии со своими стратегическими целями и имеющимися интеллектуальными, а главное, финансовыми возможностями.

Мировая и национальная науки

При обсуждении ситуации в отечественной науке оппоненты постоянно ссылаются на мировую науку: вклад России в мировую науку падает, по всем основным показателям финансирования и эффективности российская наука отстает от мировой и т. п. Тезисы в целом справедливые, но давайте разберемся, что есть мировая наука и есть ли она вообще.

Под мировой наукой интуитивно понимают науку фундаментальную, науку высших достижений, науку в нашей классификации преимущественно исследовательскую, направленную на познание окружающего мира и служащую таким образом всему человечеству. Подавляющая доля (по минимуму 80%) научных исследований, подходящих под это определение, выполняется в развитых западных странах, так что мировая наука – фактически синоним западной науки. Мировая наука – такой же миф, как, например, глобализация, постиндустриальное общество и общество знаний, миф, который навязывает миру западная цивилизация, уверенная в универсальности своих ценностей.

Утверждение, что наука не имеет национальности, – не более чем заезженный штамп. Еще как имеет! Один из ярчайших примеров – споры о национальном приоритете в том или ином открытии, лишенные смысла в рамках концепции мировой науки. И не надо думать, что упорствуют в этих спорах преимущественно представители слаборазвитых стран, находящихся на обочине мировой науки (обойдемся без уточнений). Америка не то что не спорит, она зачастую просто игнорирует чужие достижения. Это не так заметно в естественных науках, где все же существуют некие объективные критерии (кто первым написал математическую формулу, создал физическое устройство или синтезировал химическое соединение), но режет глаз в гуманитарных науках. Откройте американскую монографию по истории – сплошь ссылки на американских авторов (особенно это умиляет при исследованиях, например, эпохи Возрождения), по сути же – перепев европейских исследований, причем довольно старых. Полная аналогия с кинематографом: американский зритель уверен, что существует только один кинематограф – американский, и воспринимает европейские фильмы только в виде американских римейков.

Каждая страна в соответствии со своими собственными национальными, региональными и цивилизационными целями и задачами развивает свою собственную национальную науку, в которой исследовательская наука составляет обычно незначительную долю. Но даже исследования, выполняемые в самых что ни есть фундаментальных областях, могут ничего не привносить в мировую науку. В первую очередь это относится к не западным странам, которые воспроизводят исследования, направленные на разработку военных и двойных технологий (ведь доступа к западным технологиям такого рода нет по понятным причинам). Китай разрабатывает национальную космическую программу, вот недавно человека в космос запустил, теперь планирует высадку «лунохода». Индия, Пакистан, Иран и другие страны занимаются национальными ядерными программами. В этих программах задействовано множество ученых, на это расходуются огромные средства, которые в иных условиях могли бы быть потрачены на другие, действительно новые исследования. Все это высококлассная национальная наука, дающая конкретный результат, но какое отношение она имеет к мировой науке? И как при этом сравнивать эффективности указанных национальных наук и российской науки, если они только стремятся к тому, что мы уже имеем?

Национальный характер науки может проявляться и в других областях, далеких от военных применений. Существует множество проблем, которые важны для какой-то конкретной страны (региона, цивилизации), но мало или совсем не интересны всем остальным. Особенно наглядно это проявляется в гуманитарной сфере. Проблемам образования на Западе уделяется огромное внимание, разрабатываются новые методические подходы, публикуется множество статей, в которых практически полностью отсутствуют ссылки на работы российских/советских ученых. Из этого многие делают вывод об отсталости нашей педагогической науки. Мы имеем некоторое отношение к этой науке и могли бы сказать о ней много нелицеприятных слов, но справедливости ради заметим, что отсутствие ссылок определяется в первую очередь

принципиально разным подходом к образованию на Западе и в России и снобистским отношением Запада к чужому опыту. При этом наша «отсталая» педагогика обеспечивала хорошее образование, удовлетворяющее потребности страны и дающее специалистов, востребованных тем же Западом. В то же время упорные попытки внедрить в нашу систему образования западные методики, стандарты и структуру, базирующиеся на «передовой» педагогической науке, нанесут, по общему мнению здравомыслящих людей, непоправимый ущерб нашему образованию.

Другой пример национального характера науки – медицина. Понятно, что азиатская медицина плохо стыкуется с западной, полагающейся во всем на инструментальные методы и всеисильные синтетические лекарственные средства, в первую очередь антибиотики. Было бы интересно проанализировать структуру цитирования в медицине. Можно предположить, что западные ученые преимущественно цитируют работы западных же коллег, а азиатские – азиатских, число же перекрестных ссылок должно быть относительно невелико.

При всем том слова о необходимости воссоздания и развития именно национальной российской науки воспринимаются нашей прогрессивной общественностью в штыки и на произносящих их вешают ярлыки ретроградов, изоляционистов, шовинистов и т. п. Мы должны интегрироваться в мировую науку, вот наша приоритетная цель, – звучит на самых разных уровнях. И ладно бы это были только слова, хотя важны и слова – многократно и безальтернативно повторенные, они формируют ложное сознание. Но сейчас в РАН внедряется новая система оценки эффективности деятельности научных сотрудников, в которой наибольшие баллы начисляются за статьи в западных журналах, за цитирование в тех же западных журналах и за участие в различных международных проектах и мероприятиях, то есть, по сути, за индивидуальный вклад в мировую науку. В зависимости от величины этого вклада будет определяться зарплата ученого.

Наши ученые и без этого ориентированы на мировую науку. И дело тут не только в том, что она предлагает фундаментальные, исследовательские задачи, близкие сердцу каждого настоящего ученого. Участие в международных проектах дает заработок (не прибавку к зарплате, а основную), возможность поездок по миру, чувство самоуважения и сознание выполнения важной и общественно-значимой работы (что немаловажно при уничижительном отношении к ученым внутри страны). Новая система оценок лишь укрепит эти устремления, окончательно отвлечет наших ученых от решения национальных задач и превратит их в подмастерьев (по реальному вкладу) западной науки.

Между тем наше общество, наша экономика и промышленность предлагают множество задач-головоломок, способных увлечь ученых. И они возьмутся за них, потому что всегда интереснее самому решать какую-то проблему пусть в рамках инженерной науки, чем участвовать в решении какой-то другой, возможно, и более общей проблемы. Потому что приятно видеть конкретный результат твоих исследований «в металле», а это почти невозможно при выполнении западных научных грантов. Потому что уважение соотечественников важнее одобрительного похлопывания по плечу западными коллегами. Для этого необходимо сменить акценты, как минимум – перестать талдычить о мировой науке и подкрепить это организационными и, естественно, финансовыми мерами.

Итак, национальная наука существует. Она включает в себя исследовательскую составляющую, адаптацию мирового опыта к условиям государства и решение сугубо национальных, социальных, культурных и технологических проблем.

Оценка эффективности науки

Роль науки в современном мире огромна. Мы не разделяем несколько заносчивого мнения научного сообщества, что наука – главенствующая сила постиндустриального социума,

но признаем, что ее значение выходит далеко за рамки «главной производительной силы». Наука много дает, но она и много потребляет людских и материальных ресурсов. Как же оценить ее эффективность?

Желающие найти ответ на этот вопрос обнаружат лишь один общепризнанный, систематически подсчитываемый и анализируемый критерий, уже упоминавшийся в нашей статье, — структуру научных публикаций. Общее количество научных статей определяет вклад страны в мировую науку или долю научной дисциплины в совокупном продукте науки; индекс цитирования используется как критерий качества работы. Именно так предлагается оценивать эффективность работы научных сотрудников РАН. Монография известного отечественного специалиста по наукометрии И.В.Маршаковой-Шайкевич «Вклад России в развитие науки» имеет симптоматичный подзаголовок, отражающий этот критерий, — «библиометрический анализ».

На Западе этим занимаются несколько специализированных организаций, например Институт научной информации США, ISI (соответствующие данные приведены, в частности, на сайтах <http://www.isi.edu>, <http://scientific.thomson.com>, <http://www.isihighlycited.com>). Несмотря на декларируемое всемогущество информационных технологий, обработать весь массив научных публикаций не удастся, поскольку неизвестно даже точное число выходящих в мире научных журналов. По данным «Вестника РФФИ» (2001, № 4, с. 5–23), в 2000 году ISI работал примерно с 10% мировой научной периодики. Сейчас эта доля, несомненно, возросла, но все же далека от насыщения. В результате мы имеем картину верхнего среза науки, науки исследовательской и части инженерной. Перекос становится еще сильнее, когда анализируется 1% наиболее цитируемых работ, почти исключительно западных. Получить из этих данных объективную картину развития национальных наук так же невозможно, как оценить уровень экономического развития страны по уровню жизни 10% самых богатых. Система эта вызывает справедливую критику даже на Западе. Авторы одного из наиболее авторитетных в научном мире проекта «Foresight» в стратегическом меморандуме «Policy Recommendations from M2020» рекомендуют «изменить методы оценки академических исследований путем сдвига от измерения количества научных статей и цитирований к включению прикладных параметров, таких, как патенты и цитирование патентов, и публикаций в прикладных журналах». Корректировка неприципиальная, но даже она не производится.

Давайте посмотрим на картину, которую дает нам статистика научных публикаций (табл. 4). Оговоримся, что картина эта несколько меняется от автора к автору — она зависит от высоты «среза» (количества обработанных журналов), от вы-

Таблица 4
Структура научных публикаций за 1997–2001 гг. («Nature», 2004, 15.07)

Страна	Публикации		Цитирование		1% наиболее цитируемых работ	
	Общее количество	% от всемирного	Общее количество	% от всемирного	Общее количество	% от группы сравнения
США	1265808	34,86	10850549	49,43	23723	62,76
Великобритания	342535	9,43	2500035	11,39	4831	12,78
Германия	318286	8,76	2199617	10,02	3932	10,4
Франция	232058	6,39	1513090	6,89	2591	6,85
Япония	336858	9,28	1852271	8,44	2609	6,9
Россия	123629	3,4	315016	1,43	501	1,33
Израиль	45944	1,27	293039	1,33	568	1,5
Китай	115339	3,18	341519	1,56	375	0,99
Индия	77201	2,13	188481	0,86	205	0,54
Сингапур	15306	0,42	55929	0,25	97	0,26
Бразилия	43971	1,21	155357	0,71	188	0,5
ЮАР	18123	0,5	67916	0,31	81	0,21



РАССЛЕДОВАНИЕ

бора группы научных дисциплин и от целей автора. Мы остановились на данных главного советника по науке правительства Великобритании сэра Дэвида Кинга, изложенных в журнале «Nature» (2004, 15.07) (не имеющие доступа могут ознакомиться с ними по публикации в «Химии и жизни», 2004, № 12, с. 6–10). Они привлекли нас, в частности, тем, что в них анализируются близкие нам естественные науки. Для экономии места мы приводим данные только по некоторым странам, которые представляют интерес для последующего анализа.

Первый вопрос: как там Россия? Почти единодушный ответ отечественных аналитиков: чрезвычайно низко, что свидетельствует о полной деградации российской науки (для вящей убедительности этого вывода многие авторы приводят диаграммы, где рядом с пиком США высятся монбланы ЕС-15, ЕС-25, группы высокоразвитых стран, суммарных данных для членов ОЭСР и где-то далеко внизу прыщик России). Но попробуем отбросить эмоции и проанализируем данные таблицы 4 спокойно. Заодно вспомним, что в 80-е годы по общему числу статей СССР занимал второе место в физике, химии, материаловедении и науках о Земле, отставая при этом от лидировавших США в два-четыре раза; самая распространенная позиция СССР — седьмая (в биологии/биохимии, клинической медицине, фармакологии и математике); по общему числу статей СССР занимал четвертое место в мире после США, Великобритании и Японии, тогда как по общему числу ссылок — лишь 12-е, доля в мировом цитировании — 1,16%, если же относить общее число ссылок к общему количеству статей, то... стыдно сказать. Все эти цифры использовали «реформаторы» для доказательства крайне низкой эффективности советской науки. Теперь, после реформ, авторы различных публикаций, ностальгируя по советской науке и признавая задним числом, что она была очень даже ничего, почти теми же цифрами обосновывают вывод о глубоком кризисе уже российской науки.

Но если посмотреть на общее число публикаций, то Россия занимает восьмое место, в точном соответствии со своим ран-

Таблица 5

Индикаторы научной деятельности в различных странах мира (www.unesco.org, http://stats.uis.unesco.org)

Страна	Год	Количество исследователей, тыс.	Количество исследователей на млн. жителей	ВВП, млрд. \$	Расходы на R&D, млрд. \$	Доля расходов на R&D от ВВП, %	Расходы на одного исследователя, тыс. \$
Мир в целом	2002	5521,4	894,0	47599,4	829,9	1,7	150,3
США	1999	1261,2	4373,7	10414,3	290,1	2,8	230,0
Великобритания	1998	157,7	2661,9	1574,5	29,0	1,8	184,2
Германия	2002	264,7	3208,5	2226,1	56,0	2,5	211,4
Франция	2002	177,4	2981,8	1608,8	35,2	2,2	198,4
Япония	2002	646,5	5084,9	3481,3	106,4	3,1	164,5
Россия	2002	491,9	3414,6	1164,7	14,7	1,3	30,0
Израиль	1997	9,2	1395,2	124,8	6,1	4,9	661,1
Китай	2002	810,5	633,0	5791,7	72,0	1,2	88,8
Индия	1998	117,5	112,1	2777,8	20,8	0,7	176,8
Развитые страны Восточной Азии (без Китая и Японии)	2002	291,1	777,2*	2305,5	53,5	2,3	183,7
Бразилия	2000	54,9	314,9	1300,3	13,1	1,0	238,0
ЮАР	2002	8,7	192,0	444,8	3,1	0,7	357,6

гом в G8, не уступая в целом показателям всего СССР. По цитированию Россия превосходит СССР, и, что более существенно, наблюдается положительная динамика роста «качества» статей. Давайте признаем, что в этой шкале ценностей наше место – восьмое, и не будем комплексовать по этому поводу. В данных таблицы 4 есть еще несколько интересных моментов. Все говорят о бурном прогрессе науки в Индии – это ниоткуда не следует. Видно, как прогрессирует Бразилия, лидер Южной Америки, но ей еще очень далеко до уровня России. Сингапур взлетел на высоких технологиях, но это никак не подкрепляется индикаторами научной деятельности.

Количество опубликованных статей и индексы цитирования – это выходные характеристики научной деятельности, а что мы имеем на входе? На входе мы имеем самих ученых и деньги. Соответствующие данные мы взяли из отчета ЮНЕСКО за 2006 год.

При анализе данных таблицы 5 в первую очередь бросается в глаза их явная нестыковка с показателями эффективности научной деятельности (табл. 4). Научный бюджет Японии в разы превосходит соответствующие бюджеты ведущих европейских стран, тогда как по публикациям имеется приблизительный паритет, а по цитированию Великобритания и Германия заметно опережают Японию. В немалой степени это определяется языковыми проблемами (та же ситуация и со статьями на русском языке). Но для объяснения кажущегося отставания Китая (при громадности научного бюджета, уже превзошедшего и японский, и европейский и вплотную приблизившегося к американскому) и других развитых восточноазиатских стран одних языковых проблем недостаточно – причины следует искать в иной структуре научных исследований.

А что же Россия? Когда-то СССР лидировал по количеству ученых, что служило весомым доводом в пользу тезиса о неэффективности советской науки. Сейчас численность российских ученых уменьшилась до уровня, соответствующего показателям развитых стран. Мы также не принципиально отстаем, например, от Великобритании по расходам на научные исследования, как доли ВВП. По этому показателю мы даже опережаем такие страны, как Индия и Бразилия, то есть страны, которые мы ставим в пример как быстро развивающиеся в научном отношении, и в точности соответствуем Китаю. Таким образом, в структурном смысле мы вполне соответствуем мировому уровню. В чем мы катастрофически отстаем, так это в расходах на одного исследователя. Единственная причина этого – наша относительная бедность, которую в одночасье не ликвидируешь. Мы можем увеличить и, судя по тенден-

циям, увеличим квоту расходов на науку до уровня Германии, Франции и даже США, мы можем удвоить ВВП за 10 лет, но и этого будет недостаточно для ликвидации имеющегося провала.

Посмотрим на ситуацию с другой стороны. Мы убеждены, что жизненно необходимо двукратное увеличение расходов на науку до уровня (в доле от ВВП) развитых стран. Но сможет ли такое одномоментное, росчерком пера, увеличение принципиально изменить положения российской науки, приведет ли оно к пропорциональному росту ее эффективности в духе индикаторов таблицы 5? Вот здесь у нас есть большие сомнения. Дело не только в том, что двукратное увеличение зарплат научных сотрудников все равно не поднимет ее до средней по стране. Главная наша проблема заключается в изношенности и устарелости научного оборудования, для замены парка которого при двукратном увеличении финансирования потребуется несколько лет (необоснованно оптимистичная оценка).

Так, может быть, для повышения эффективности отечественной науки до мирового уровня надо соответственно, то есть в десять раз, увеличить расходы на одного исследователя? Но таких расходов не может себе позволить ни одна экономика. Значит, надо сокращать ученых, в разы, а это катастрофа. В структурном плане мы низведем себя на уровень слаборазвитых стран, а поскольку демографические проблемы решаются всегда намного медленнее, чем экономические, то ликвидация последствий такой «интенсификации» займет очень много лет. Понимают это и сами ученые, планы правительства о 20%-ном сокращении численности сотрудников институтов РАН, подаваемые под соусом повышения зарплаты, вызвали справедливые протесты научного сообщества.

При анализе данных таблицы 5 поражает даже не столько мизерность суммы расходов на одного исследователя в нашей стране по сравнению с другими странами, сколько то, что при этом Россия занимает достаточно высокое место по показателям эффективности науки – непостижимый феномен русской жизни, один из многих. Непостижимый, он тем не менее должен учитываться при восстановлении и обустройстве всего здания российской науки – недопустимо во всем или в основном следовать западным образцам. Необходимо также учитывать, что процесс этот небыстрый, поэтому следует запастись терпением: ученым – в ожидании манны небесной, власти и обществу – в ожидании высокой отдачи науки. Терпеть – и работать.





МЕДИЦИНА

Тромбы можно лечить снаружи



Современная медицина остро нуждается в тромболитических препаратах, но их арсенал пока невелик. Подавляющее большинство лекарств, растворяющих тромбы, вводят внутривенно, в крайнем случае внутрибрюшинно или внутримышечно. Российские биологи, сотрудники кафедры физиологии человека и животных МГУ им. М.В.Ломоносова и Института молекулярной генетики РАН, впервые создали наружное тромболитическое средство лонголитин и получили хороший результат. Пока на крысах.

Наносить препарат снаружи во многих случаях удобнее, однако при тромбофлебитах и флеботромбозах вен это оставалось недостижимой мечтой. Первым тромболитическим средством наружного применения может стать лонголитин. Это белковый комплекс, полученный из низших грибов, которые в процессе жизнедеятельности выделяют ферменты, препятствующие свертыванию крови, и разрушают тромбы.

Тромболитическое действие препарата исследовали на крысах, которым искусственно образовали тромбы в яремной вене. Кожу над тромбом каждый час обильно смазывали раствором лонголитина в глицерине, контрольным животным в кожу втирали чистый глицерин. Сами по себе тромбы рассасываются плохо. От глицерина через сутки несколько полегло только четырем крысам из 16, а смазывания лонголитином помогли всем подопытным животным: тромбы полностью рассосались у 23 крыс из 31, у остальных уменьшились. Полное рассасывание заняло чуть больше четырех часов. Исследователи подсчитали, что средняя скорость рассасывания составила около 0,05 мм²/мин — это в 13 раз быстрее, чем в контрольной группе.

Обычно в тромболитические средства добавляют антикоагулянт гепарин. Лон-

голитин с гепарином действует значительно быстрее и ликвидирует тромб за 3,2 часа со скоростью 0,09 мм²/мин. Создатели препарата считают, что в нем обязательно должен присутствовать гепарин, причем не только для ускорения процесса — гепарин препятствует образованию новых тромбов.

Исследователи убедились, что лонголитин в комплексе с гепарином — специфичный препарат, не обладающий побочным действием. Проникая через кожу в кровь, он практически не меняет ее биохимические показатели и взаимодействует только с фибрином, основным белком тромба. Так что, по их мнению, лонголитин может стать основой лекарственных препаратов наружного применения для лечения тромбозов поверхностных и глубоких вен человека.

ГЕНОТЕРАПИЯ

Средство проникновения в клетку

Специалисты Института акушерства и гинекологии им. Д.О.Отта РАМН, Института высокомолекулярных соединений РАН и кафедры генетики и селекции Санкт-Петербургского государственного университета создали носитель для доставки генов в клетки млекопитающих. Носитель представляет собой упорядоченные разветвленные молекулы аминокислоты лизина, на основе которых ученые планируют получить более совершенные векторные конструкции (baranov@vb2475.spb.edu).

Несмотря на успехи, которых добилась генная терапия за двадцать с небольшим лет своего существования, эффективная доставка ДНК в клетку остается величайшей проблемой. ДНК либо внедряют в клетку с помощью электрического разряда, ультразвука и тому подобных физических процессов, либо посылают ее в составе вирусного носителя, который сам по себе создает массу проблем, включая возможные тяжелые осложнения. Можно использовать и невирусные носители — различные химичес-

кие соединения, образующие комплексы с нуклеиновыми кислотами и способные проникать в клетку. Увы, существующие носители ДНК либо не могут ее должным образом защитить, либо плохо проходят в клеточное ядро, либо неспецифичны. Одним из путей решения проблемы может стать создание синтетических носителей на основе дендримеров — сферических ветвящихся полимеров аминокислот. Дендримеры по некоторым параметрам похожи на глобулярные белки. Их размеры можно контролировать в процессе синтеза, а на концы молекул привешивать необходимые функциональные группировки.

Питерские ученые работали с лизиновыми дендримерами — они могут долго циркулировать в крови и нетоксичны. Исследователи синтезировали пятисферный дендример (сферы дендримера — это степени его ветвления). Первую сферу составляют две молекулы лизина, отходящие от центра, вторая сфера — четыре молекулы, ответвляющиеся от двух предыдущих, затем восемь, шестнадцать и тридцать две аминокислоты.

Такие носители хорошо связывают ДНК и защищают ее от разрушения ферментами. В экспериментах они доставляли маркерный ген бактериальной бета-галактозидазы в клеточную культуру эпителиальной карциномы человека. Эффективность доставки ДНК достигала 2,6% при использовании модифицированного носителя с остатками каприновой кислоты. Но этот показатель можно увеличить почти в четыре раза, добавив в конструкцию специальный пептид (короткий белок) JTS-1, который позволяет ДНК преодолевать внутриклеточные барьеры.

Исследователи не сомневаются, что лизиновые дендримеры могут стать основой для эффективных невирусных носителей. Их можно усовершенствовать, присоединив сигналы ядерной локализации, которые направляли бы носитель непосредственно в ядро клетки, где и надлежит быть ДНК. Если к дендримерам присоединить лиганды, узнающие рецепторы к определенным типам клеток, то решится проблема адресной доставки генов. Не исключено также, что более эффективным носителем станет конструкция не чисто лизиновая, а с добавлением гистидина и аргинина.

Литературные жеммы Макса Перутца



Макс Перутц. Мне бы рассердить вас раньше. Эссе о науке, ученых и гуманизме. Перевод с английского Н.С.Андреевой, Н.А.Киселева, Н.Л.Трауберг. М.: Научный мир, 2007, 432 с., тираж 400 экз.

Наука о гемоглобинах успешно развивается, причем в последнее время интерес исследователей переместился с животного белка на его растительные и бактериальные аналоги. Их изучают во взаимосвязи с другими, родственными им гем-содержащими биомолекулами. Обо всем этом «Химия и жизнь» недавно подробно рассказала (см. № 10 и 11 за прошлый год, а также этот номер).

А первопроходцем в этой области был химик и основатель рентгеновской кристаллографии белков Макс Перутц (1914–2002), работавший в английском Кембридже. Он посвятил жизнь расшифровке пространственного строения гемоглобина, взятого из эритроцитов животных, а также выяснению, каким образом белок выполняет свою функцию (см. статью «Глобулист Макс Перутц» в «Химии и жизни», 2003, № 11). Его аспирант Джон Кендрию определил трехмерную структуру более простого белка миоглобина, за что оба ученых удостоились Нобелевской премии в 1962 году.

Перутц известен не только как классик науки, но и как автор (помимо монографий) множества эссе и развернутых рецензий на книги. Большинство из них сначала публиковались в периодических изданиях Великобритании и США, а затем печатались в сборниках. Недавно вышел русский перевод последнего из них.

Книга состоит из пяти разделов. Первые три – «Как орала превращаются в мечи», «Как делаются открытия», «Права человека» – обращены к широкой публике. Это повествования о жизни и достижениях Фрица Хабера, Лизы Мейтнер, Лео Сциларда, Питера Медавара, Макса Дельбрюка, Лайнуса Полинга, А.Д.Сахарова и других известных ученых, а также размышления на тему «Наука и общество». Скажем, почему нацистская Германия не создала атомную бомбу? Насколько опасно мирное использование атомной энергии?

Свое название сборник получил от одного эссе. В нем Перутц вспоминает, как в 1951 году бился над строением спирали, которую образует цепь аминокислот. Тогда Полинг опередил его: предложил структуру и нарек ее альфа-спиралью. Сразу после этого Максудалось подтвердить и уточнить

его выводы. Он поделился новостью со своим шефом Лоуренсом Брэггом, добавив, что очень зол на себя – ведь из-за его «тупости» Кавендишская лаборатория упустила приоритет в этом принципиальном вопросе. На что сэр Лоуренс холодно заметил: «I wish I'd made you angry earlier». Эта фраза и стала названием книги.

В автобиографическом очерке «Враждебный иностранец» Перутц описывает события военных лет. В мае 1940 года его, выходя из Австрии, интернировали, и такая же участь постигла иммигрантов-антифашистов, нашедших в Англии убежище от политических или расовых преследований на родине. Их отправили морским путем в Канаду, и один из кораблей был потоплен германской подлодкой, многие люди погибли. Для самого Перутца все закончилось благополучно – после ряда приключений он вернулся к своей работе в Кембридже. Но горечь от виденного и пережитого в те годы осталась надолго.

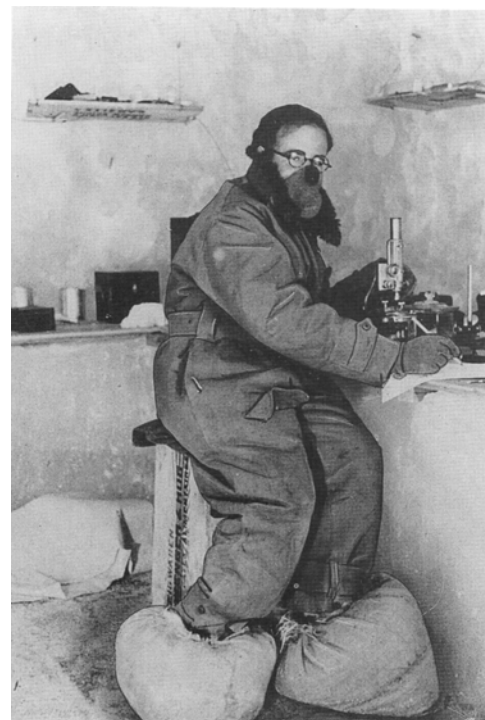
Эссе «Всезнающий» посвящено Джону Берналу, который руководил диссертацией Перутца. Его называли мудрецом, волшебником, «так как он знал все: от физики до истории искусств... Его научный энтузиазм был безграничен... Он щедро раздавал свои идеи, вдохновляя и поддерживая других». На часто задаваемый вопрос, почему Бернал не получил Нобелевскую премию, Перутц отвечает так: «Он начал многое, но не был погружен в какое-то конкретное дело и не имел терпения довести его до конца, истратив свой истине великий талант на никчемные комитеты и поездки».

Четвертый раздел «Еще об открытиях» предназначен для читателей с научной подготовкой и охватывает темы, близкие профессиональной деятельности автора. Тут есть обстоятельный рассказ о создателях метода рентгеноструктурного анализа отце (Генри) и сыне (Лоуренсе) Брэггах, и здесь же попутно объяснены суть и особенность самого метода. Научное сообщество, по мнению Перутца, склонно преуменьшать заслуги Лоуренса, и он пи-

шет: «Современные циники пытаются убедить нас в том, что наукой занимаются ради славы или денег. Однако Брэгг-младший, уже став нобелевским лауреатом, взвалил на свои плечи тяжелый, рабский труд... Им двигала страсть к познанию... Его научная продуктивность в 20-е и 30-е годы была феноменальной...»

В статье «Второй секрет жизни» автор описал перипетии своего многолетнего труда над раскрытием механизмов, позволяющих гемоглобину играть роль переносчика кислорода. Оказалось, что этот состоящий из четырех субъединиц белок представляет собой сложнейшую молекулярную систему, в которой проявляют себя многие тонкие эффекты. Перутц признает, что если бы заранее представлял себе всю грандиозность проблемы, то вряд ли отважился бы взяться за нее. И он благодарен судьбе, что прожил достаточно долго, чтобы увидеть подтверждения выдвинутых им идей.

Ну а «первый секрет жизни» – это молекулярное строение гена, об открытии которого Перутц конечно же не мог умолчать: ведь Джеймс Уотсон и



М. Перутц исследует срезы льда ледника Юнгфрау, 1938 г.



КНИГИ

Фрэнсис Крик создавали свою модель ДНК прямо на его глазах. Эта история хорошо известна по нашумевшей книге Уотсона «Двойная спираль» (кстати, вначале он собирался назвать ее «Честный Джим» и хотел, чтобы иллюстрации делал Сальвадор Дали). Но изложение «честного Джима» далеко не беспристрастно, поэтому важно знать точки зрения других участников и свидетелей тех событий.

Последний раздел содержит выдержки из записной книжки Перутца, куда он заносил понравившиеся ему мысли самых разных авторов (от У.Шекспира до Б.Пастернака, от Ч.Дарвина до П.Капицы), а также свои собственные. Приведем несколько записей.

Роберт Музиль: «Жажда знаний – как пьянство, или влюбленность, или тяга

к убийству, ибо она лишает равновесия. Ученый не гонится за истиной; истина гонится за ним, и он страдает». Альберт Сент-Дьерди: «Настоящий ученый готов к лишениям. Если надо, он будет голодать, но никому не позволит указывать, в каком направлении ему двигаться». А вот мысль самого Перутца: «То, что известно наверняка, очень скучно. Я редко планирую исследования, это они меня планируют».

Книга содержит богатую фотогалерею, которая иногда оказывается весьма полезной. Так, говоря о коллеге-рентгеноструктуристе из Оксфорда Дороти Ходжкин, Перутц заметил, что в ее личности было что-то магическое. А по словам художницы, писавшей портрет Дороти, она походила на святую. Взглянув на фото знаменитой «кристаллографини», лучше понимаешь, что они имели в виду.

В качестве приложения напечатана статья «Жизнь и труды Макса Перутца» одного из переводчиков книги, члена-корреспондента РАН Н.А.Киселева из Института кристаллографии им. А.В.Шубникова, много раз бывавшего в Англии и хорошо лично знакомого с автором. В ней много ценных сведений о семье, образе жизни, взглядах и привычках Перутца. К примеру,

гостю из СССР было странно услышать, что тот, будучи директором лаборатории (фактически института), ночью сам устанавливает белковый кристалл в капилляре, а затем уезжает домой на велосипеде. А в ответ на его удивление Перутц сказал, что свое дело он не доверяет никому.

Эта заключительная статья служит как бы эпилогом – в ней описаны кончина ученого и посвященный его памяти симпозиум.

Итак, суровый рентгеноструктурный анализ с его огромными вычислениями, которые Перутцу приходилось выполнять в докомпьютерную эру, не иссушили его ум. Читая книгу, мы видим в авторе оригинального мыслителя и одаренного литератора, сумевшего показать науку в ее человеческом измерении. И можно задать вопрос: почему подобные книги появляются редко?

Конечно, не у всех ученых есть литературные способности. Но и те,

кто ими обладает, часто рассматривают научно-художественную, популяризаторскую деятельность как отвлекающую от основной работы. К счастью, есть и другие мнения. Например, Рольф Хофман считает, что если научный работник пишет о своих поисках и находках для неспециалистов, то его исследования идут успешнее. Потому что в процессе писания высвобождаются, выходят из подсознания (почти по Фрейду!) плодотворные, но обычно подавляемые образы и метафоры.

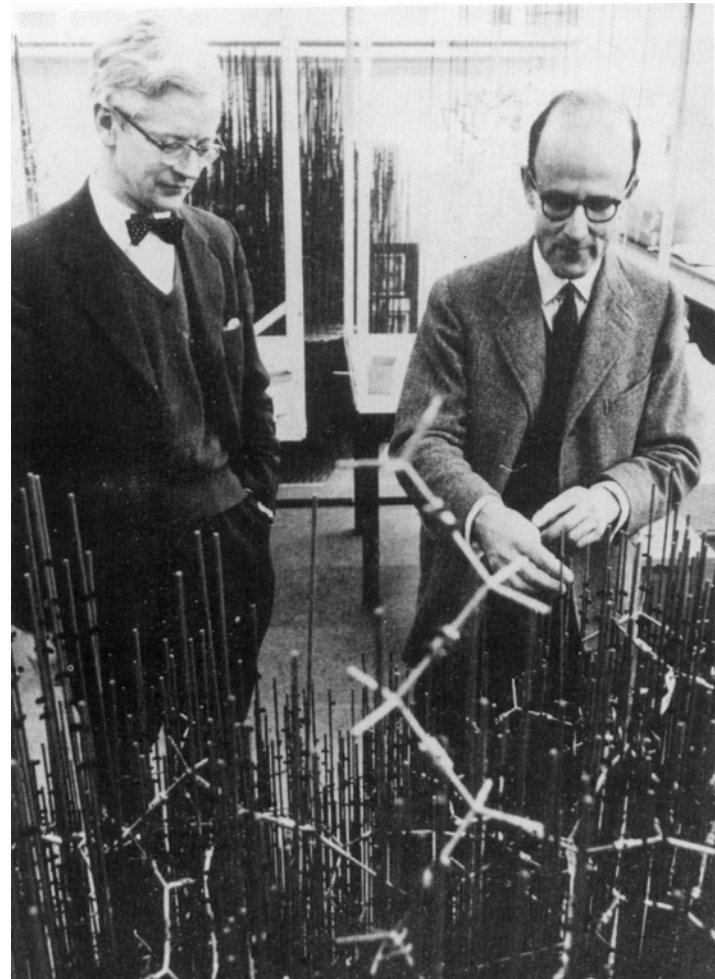
А возглавлявший «Химию и жизнь» академик И.В.Петрянов-Соколов был убежден, что «научная литература соотносится с научно-популярной, как золотоносная руда с чистым золотом». В самом деле, где, как не в жанрах популярной статьи или эссе, ученый может осмыслить пройденный путь, поделиться смутными идеями и философскими прозрениями? Иначе говоря – наиболее полно выразить свою творческую индивидуальность. Ведь все личностные аспекты науки остаются за рамками специальных журналов и монографий.

Книги, соединяющие «две культуры» (Чарлз Сноу) – естественно-научную и гуманитарную, – не только повышают эрудицию читателей, но и развивают у них интуицию и воображение. Макс Перутц подчеркивал, что воображение играет ключевую роль в творчестве и художника, и ученого, а разница между ними в том, что первый более свободен в своих решениях, тогда как через плечо второго смотрят взыскательная природа и критически настроенные коллеги.

Перутц был человеком скромным, доброжелательным, умеющим радоваться чужим успехам. Он отказался от рыцарского звания, так как полагал, что это помешает его научному общению. А в отношении соавторства придерживался такой заповеди: «Ты не должен забирать у молодого сотрудника то, что ему принадлежит». Когда одна из газет проводила опрос ученых и среди прочего поинтересовалась, какими будут их последние слова, Перутц ответил: «Сохранить европейскую культуру!»

Он не идеализировал героев своих новелл, но был терпим к их недостаткам, поскольку эти люди доказали свою преданность науке и сумели, несмотря на все препятствия, реализовать себя в ней. А наука, говорил он, прекрасна, ибо в ней рано или поздно торжествует истина. У входа в лабораторию молекулярной биологии, которой много лет руководил Перутц, установлена круглая табличка с его изречением: «In science truth always wins» («В науке правда всегда побеждает»). И рядом с ней – модель гемоглобина.

Л.Каховский



М.Перутц и Дж.Кендрю у модели миоглобина



Болезнь, о которой забыли

Макс Перутц

Что могло быть общего между кардиналом Ришелье, Генрихом Гейне, Фредериком Шопеном, Антоном Чеховым, Францем Кафкой, Джоржем Оруэллом и Элеонорой Рузвельт? Их объединила болезнь, от которой они все умерли, — туберкулез. Еще 50 лет назад лечение туберкулеза не могло продлить жизнь страдающим от него людям. Райен написал увлекательную повесть об открытии антибиотиков и других лекарств, используемых при борьбе с туберкулезом, и она стала не менее популярной, чем книга Поля де Крюи «Охотники за микробами».

В прежние времена основным лекарством против туберкулеза считались мягкий климат и чистый воздух, но это далеко не всегда помогало. Шопен, например, оставил печальные воспоминания о своей жизни на Мальорке: «Я слаб, как собака за пару недель до смерти. Меня одолела простуда, несмотря на 18 градусов тепла, сплошные розы, апельсины и пальмовые деревья, а также заботу трех знаменитых местных докторов... Один из них говорит, что я фактически умер, второй, что я умираю, а третий, что я умру». Господствовавшая в XVIII веке боязнь чахотки нашла свое отражение в творчестве классиков романтической немецкой поэзии, они не раз обращались к теме преждевременной смерти. Вышедшая в наше время книга Шейлы Ротман посвящена трагической жизни чахоточных больных в Новой Англии XIX столетия. Она основана на обширной коллекции писем этих больных.

Кроме вспышек во время Крымской войны, а также Первой и Второй мировых войн, смертность от туберкулеза в Британии падала в течение второй половины XIX столетия и первой половины XX; к 1947 году она снизилась до одной восьмой величины смертности, установленной в 1800 году, несмотря на отсутствие эффективного способа лечения. Считается, что причиной был подъем общего уровня жизни, однако переселение большой массы людей из сельской местности в тущобы новых индустриальных городов в течение XIX столетия противоречит такой точке зрения.

Определенную роль в этом спаде мог сыграть естественный отбор. Болезнь убивала тех, кто тяжелее всего ее переносил, до достижения ими репродуктивного возраста, оставляя более выносливых. Таким образом, возрастала часть популяции, резистентная к болезни. Иногда голословно утверждают, что вакцинация, новые антибиотики и лекарства не сыграли никакой роли в уменьшении смертности от туберкулеза, однако скорость ее снижения увеличилась в пятьдесят раз, а число инфицированных больных упало в два раза по сравнению с тем, что было до применения лекарств. В 1935 году в Англии и Новом Уэльсе умерло от туберкулеза приблизительно 70 тысяч человек, в 1947 году после открытия антибиотиков это число уменьшилось до 55 тысяч, а в 1990 году их было всего 330. Аналогичная картина наблюдалась в других высокоразвитых странах.

Такой потрясающий успех породил амбициозные планы искоренить эту болезнь и в слаборазвитых странах. При поддержке международного Союза по борьбе с туберкулезом и значительных ассигнований из США и других богатых государств некоторые беднейшие африканские страны, включая Мозамбик, охваченный гражданской войной, разработали национальные программы по борьбе с этой болезнью. Однако в 1990 году смертность от нее в странах, лежащих вблизи Сахары, еще в 1500 раз превышала смертность в Англии. Казалось, что намечился какой-то просвет, как вдруг в этом регионе разра-

Из сборника «Мне бы рассердить вас раньше» (см. предыдущую статью). Рецензия на книги: «Забываемая болезнь: как была выиграна и проиграна битва с туберкулезом» Фрэнка Райена (издательство «Little Brown»), «Жизнь в тени смерти: туберкулез как социальный опыт болезни в истории Америки» Шейлы Ротман («Basic Books») и «Безмолвные странники» М.Краута («Basic Books»). Публикуется в сокращении.



зился СПИД. Это подорвало всю систему здравоохранения, включая борьбу с туберкулезом, так как СПИД разрушает иммунную систему. Во многих азиатских странах, не имеющих эффективных программ по борьбе с туберкулезом, взрыв эпидемии СПИДа мог привести к огромному бедствию; а в западных странах «привыкаемость» к антибиотикам также обернулась ростом заболеваемости.

Книга Райена начинается с открытия Кохом туберкулезной палочки, о котором он доложил 24 марта 1882 года на заседании Немецкого физиологического общества в Берлине. Кох обнаружил эти мельчайшие, еле различимые бактерии благодаря своему способу окраски препарата, однако решающим было использование в микроскопе новой иммерсионной линзы. Эту линзу преподнес Коху Карл Цейс — основатель знаменитой оптической фирмы в Йене. После открытия Коха стала ясна инфекционная природа этой болезни. К концу XIX столетия ее распространение во многих странах удалось сократить благодаря профилактическим мерам: изоляции туберкулезных больных в санаториях и больницах и строгому запрету для них плевать в общественных местах.

В начале следующего века ученик Пастера Альберт Кальмет и Камилла Гверин из Лилля открыли, что бациллы туберкулеза коров теряют свою вирулентность после 231-кратного переосаждения из растворов, содержащих бычью желчь, в течение 11 лет. Животные, инфицированные этими ослабленными бациллами, приобретают иммунитет против туберкулеза. Кальмет и Гверин использовали эти бациллы для приготовления вакцины, известной в наши дни как BCG (*Bacille Calmette Guerin*). Впервые она была использована в 1921 году для ребенка, мать которого умерла во время родов от туберкулеза. Однако в 1930 году эффективность BCG была поставлена под вопрос, так как из 249 вакцинированных детей в Лийбеке умерли 73 ребенка. Но потом выяснилось, что причиной было случайное попадание вирулентных бактерий в некоторые препараты BCG. В конце концов при Медицинском исследовательском совете был создан отдел по борьбе с туберкулезом, который предпринял широкомасштабные исследования пригодности BCG.

Из 16 000 подростков в возрасте от четырнадцати до пятнадцати с половиной лет по случайной выборке была отобрана половина, которую вакцинировали с помощью BCG, вторая половина оставалась невакцинированной. В течение последующих 20 лет 248 невакцинированных умерли, а из вакцинированных только у 62 развился туберкулез. Аналогичные исследования были проведены дважды в США, одно на американских индейцах в возрасте 21 года, другое — на детях из Чикаго. Такое же обследование было предпринято в Гаити. Однако вторичное обследование в США, Пуэрто-Рико и Южной Индии не подтвердило целебных свойств BCG. Сейчас склоняются к мысли, что испытываемые в Пуэрто-Рико и Южной Индии препараты вакцины были заражены распространенной, но безвредной бациллой, родственной *Mycobacterium tuberculosis*, которая ослабила их иммунную систему. В результате количество заболевших среди вакцинированных и оставшихся без прививок оказалось приблизительно одинаковым.

В начале XX столетия немецкие химики добились значительных успехов в борьбе против инфекционных болезней. В 1910 году Пауль Эрлих открыл сальварсан — «магические пули», уби-

вающие сифилис. Следующее выдающееся открытие, которое привело к выделению сульфаниламида, сделал в 1935 году в Эльберфельде Герхард Домагх.

Заняться поисками антибактериальных агентов Домагх побудили воспоминания о Первой мировой войне. Будучи студентом-медиком, он работал в госпитале на русском фронте и, нагнавевшись на мучения молодых солдат, зараженных газовой гангреной, не мог успокоиться. Уже в тридцать два года он был назначен главой исследований по экспериментальной патологии и бактериологии в гигантской фирме «Фарбен Индустри» в Эльберфельде. Этот пост он сохранил за собой до последних дней жизни. Фирма попросила Домагха организовать поиск химических агентов против бактериальных инфекций. Англичанину, посетившему Домагха, показали «весьма странные лаборатории, которые только и делали, что испытывали один реагент за другим на предмет способности влиять на инфекцию животных разными бактериями». В 1932 году два химика, Фриц Мич и Кларер, дали Домагху «красное вещество» — синтезированный ими «быстрый» краситель для кожи. Это был пронтозил, предшественник сульфаниамидов. Хотя эта краска не останавливала рост бактерий в культурах, она убивала стрептококков у животных и способствовала выздоровлению смертельно больных людей.

Домагх не публиковал эти исследования до 1935 года, когда пронтозил был наконец запатентован. В течение нескольких недель после его публикации Жак Трефуэль и его коллеги из Пастеровского института в Париже провели дополнительные исследования и показали, что пронтозил содержит бесцветный активный компонент — сульфаниламид, молекула которого отщепляется от большой молекулы пронтозила. Патентованное было бесполезным.

Колбрук напоминает, какой удар нанесло открытие Домагха по родильной горячке и по другим инфекционным болезням. Оно открыло широкие возможности для успеха терапии. «Гермолитический стрептококк (который убивается пронтозилом) играет решающую роль в тяжелых, иногда смертельных заболеваниях родильной горячкой, в острых ревматоидных воспалениях, в бесчисленных случаях сепсиса от ран во время войны, сепсиса от различных травм, включая ожоги, в рожистых воспалениях (заболеваниях кожи), в многочисленных случаях воспалений дыхательных путей и уха, причем последние могут сопровождаться развитием глухоты. В Англии сразу обнаружили, что церебральный менингит (который считался фатальным) теперь легко излечивается, и пневмония также поддается контролю, и отвратительная венерическая болезнь гонорея излечивается всего за несколько дней».

Исходный сульфаниламид был не очень эффективен в борьбе против стрептококковой пневмонии, зато его модификация — сульфопиридин, используемый с начала 40-х годов, оказался очень действенным. Он спас Уинстона Черчилля от пневмонии в Северной Африке в 1943 году.

26 октября 1939 года, спустя несколько недель после германского вторжения в Польшу, Домагх получил телеграмму о присуждении ему Нобелевской премии в области физиологии и медицины. Гитлер запретил немцам принимать эту премию. Вероятно, потому, что Домагх не отверг награду, к нему явился гестапо и вооруженные солдаты забрали его в городскую тюрьму для допроса. Он пробыл там неделю, боясь за свою

жизнь. Через некоторое время гестапо его вновь арестовало, приказав подписать письмо с отказом от Нобелевской премии. Только в 1947 году Домагх смог наконец приехать в Стокгольм и получить Нобелевскую медаль, но денежный чек так и не получил. Деньги вернулись в Нобелевский фонд.

Сульфаниламида не убивал бацилл туберкулеза. Он вызывал также неприятные и опасные побочные эффекты — рвоту, сыпь, заболевания печени, почек и костного мозга. Однако его открытие побудило многих химиков и микробиологов искать другие антибактериальные лекарства. Одним из них был Селман Ваксман, который перебрался в Соединенные Штаты из маленького еврейского городка на Украине в 1910 году. К 1939 году он стал главой лаборатории по изучению микробиологии почвы в Сельскохозяйственном институте в Рутгерсе (штат Нью-Джерси). Его исследования охватывали большой спектр проблем, начиная с азотфиксирующих бактерий и таксономии грибов и кончая изучением возможности использования человеческих испражнений для приготовления компоста. Ваксман знал о публикациях, сообщавших, что туберкулезные палочки долго не выживают в почве. Начало Второй мировой войны в сентябре 1939 года заставило его заняться поисками антибактериальных агентов, продуцируемых микроорганизмами почвы. Эти исследования продолжались пять лет, пока аспирант Ваксмана Альберт Шац не выделил вещество из грибка *Streptomyces griseus*, которое останавливало рост многих вирулентных бактерий, включая туберкулезную палочку. Это был первый открытый антибиотик, стрептомицин.

Не могу не подчеркнуть поразивший меня контраст между медлительным и сдержанным шотландцем Флемингом, открывшим пенициллин, и динамичным и практичным Селманом Ваксманом. Флеминг в 1929 году обнаружил, что плесень *Penicillium notatum* ингибирует рост стрептококков и стафилококков, которые инфицируют раны, а также рост микроорганизмов, ответственных за гонорею, менингит и дифтерию. Проведя эти эксперименты, Флеминг непонятно почему остановился, не сделав следующий шаг — шаг, который Эрнст Чэйн и Говард Флори сделали одиннадцать лет спустя, решив проверить, спасет ли инъекция плесени заболевшую мышь от летального исхода. Убедительнейший результат заставил их превратить Оксфордскую лабораторию в фабрику для производства пенициллина, чтобы его можно было использовать для людей.

Ваксман, напротив, во время долгих поисков антибактериальных агентов поддерживал регулярные контакты с врачами из Клиники Майо — с докторами Фельдманом и Хиншоу. Всего через несколько недель после открытия Шаца Ваксман послал им десять граммов стрептомицина для опытов на животных. Вот что писал об этом Фельдман: «Результаты дают основание полагать, что это вещество устойчиво в течение достаточного промежутка времени, чтобы оказать сильный подавляющий эффект на развитие туберкулеза у морской свинки, обреченной без него на смерть...»

Вдохновленный результатами тестов Фельдмана и Хиншоу, Ваксман убедил фирму «Мерк» созвать заседание правления. Сначала члены правления медлили с принятием постановления о производстве стрептомицина, но тут на заседание явился сам основатель фирмы Джордж Мерк, который принял решение выделить пятьдесят человек, чтобы начать работу с этим антибиотиком.

Хотя стрептомицин приостанавливал рост туберкулезных бацилл, но не убивал их, он казался эффективным лекарством для безнадежных больных. Результаты его применения заставили в 1945 году Совет по медицинским исследованиям в Англии провести контрольное лечение больных туберкулезом. Филипп д'Арси Харт, который проводил испытания, отобрал 107 больных острой формой туберкулеза легких. Пятьдесят пять пациентов, выбранных случайно, стали лечить стрептомицином, предписывая строгий постельный режим. Оставшимся пятидесяти двум пациентам никаких лекарств не давали, им предписывался только постельный режим. По прошествии шести месяцев четверо из тех, кто принимал стрептомицин, умерли, а из тех, кто не принимал, умерло 14 человек. У 28 из тех, кто лечился, легкие улуч-

шились, и только у четырех — кто не лечился. Однако через пять лет надежды, подаваемые этими результатами, рухнули. Среди принимавших препарат умерло к тому времени 32 человека, а в другой группе — 35. Стало ясно, что один стрептомицин туберкулез не лечит. Уже к тому времени Фельдман и Хиншоу открыли, что спустя четыре недели после действия стрептомицина начинают появляться бациллы туберкулеза, устойчивые к нему. Кроме того, стрептомицин вызывает заболевание среднего уха, и продолжительное его использование может вызвать глухоту. В 1948 году курс стрептомициновой инъекции вызвал у Джорджа Оруэлла ремиссию, благодаря чему он смог закончить свой роман «1984», но у него развилась такая аллергическая реакция на лекарство, что он был вынужден прервать лечение. Болезнь снова дала о себе знать, и он умер в 1950 году. Тем не менее в 1952 году Ваксман получил Нобелевскую премию «за открытие первого антибиотика, эффективного против туберкулеза». Это стимулировало поиски микроорганизмов в почве, продуцирующих антибиотики.

Альберт Шац, которого в первую очередь цитируют в публикациях, премии не получил. Он был сыном бедного еврейского фермера в Коннектикуте и стал изучать микробиологию почвы, чтобы улучшить урожаи на отцовской ферме. Он занялся поисками антибиотиков только потому, что Ваксман согласился выплачивать ему жалкий заработок, 40 долларов в месяц, если он будет работать в его лаборатории. Шац тестировал сотни различных микроорганизмов почвы на антибактериальную активность. После трех с половиной месяцев рабского труда Шац нашел в отвалах компоста грибок, останавливающий рост некоторых вирулентных бактерий, в том числе резистентных к пенициллину. Вопреки советам коллег и отнюдь не по инструкции Ваксмана Шац проверил влияние этого грибка на бациллы туберкулеза и с восторгом обнаружил, что он подавляет их рост в культурах. Затем он разработал способ экстракции активного вещества из грибковых культур. Открытие было опубликовано от имени двух авторов — Шаца и Ваксмана, но в последующих публикациях вклад Шаца был забыт.

В своей автобиографии Ваксман воспроизводит текст лекции, прочтенной им в октябре 1944 года в Клинике Майо: «В сентябре 1943 года мой ассистент и я успешно выделили в нашей лаборатории организм, который продуцирует антибиотик...», в то время как сам он сидел в своем офисе, а Шац трудился в лабораторном подвале. Он не сказал ни о Шаце, ни о Рене Дюбосе, ни о Бойде Вудрофе, исследования которых предварили открытие стрептомицина. В течение всей лекции он употребляет только местоимение «мы»...

Вдохновленные открытием Домагха, но разобренные из-за войны, исследователи в Европе и Соединенных Штатах, да и он сам продолжали поиски лекарств против туберкулеза. Одним из них был Иорген Леман, сын датского профессора по теологии. Он возглавлял отдел патологии в Сальгревском госпитале в Гетеборге в Швеции. Райен описывает его как эксцентричного человека, наделенного гениальным воображением. Леман сделал себе имя, показав, что дикумарол — химическое соединение, выделяемое из подкислого сладкого клевера и продаваемое под названием варфарин, является прекрасным антисвертывающим агентом (это соединение используется не только как лекарство, из него делают родентициды — отраву для грызунов. — *Примеч. ред.*). В 1940 году он сделал сообщение о том, что салициловая кислота — соединение, родственное аспирину, заставляет бациллы туберкулеза «дышать», то есть поглощать кислород сильнее, чем обычно. Это показывало, что бациллы «едят» салициловую кислоту и что вместо нее им можно подкинуть отраву.

После сообщения Лемана, опубликованного в журнале «Ланцет», химики шведской фармацевтической фирмы «Феррозан» синтезировали около пятидесяти производных салициловой кислоты, и одно из них, PAS, подавляло рост туберкулезных бацилл в культурах. Морские свинки легко переносят это соединение, и двоим, заболевшим туберкулезом, стало лучше. Сначала шведские медики отнеслись к открытию Лемана с недоверием, но вскоре убедились, что они не правы. Проведен-

ные в 1952 году опыты под эгидой Британского совета по медицинским исследованиям показали, что если использовать PAS как единственное лекарство, то он слабее, чем стрептомицин, но если их принимать одновременно, то бактерии, резистентные к лекарствам, не возникают снова в течение долгого времени.

Открытие Леманом PAS было не менее важным, чем открытие Шацем и Ваксманом стрептомицина; оба они были сделаны почти одновременно, только Леман опубликовал свои результаты на два года позднее. Леман стал вторым ученым, несправедливо лишенным Нобелевской премии.

В Эльберфельде в течение всей Второй мировой войны Домагх продолжал свои поиски, несмотря на то что город был разрушен авиацией союзников. К 1945 году он нашел лекарство, названное «контебен», и разъезжал, преодолевая невероятные трудности, по разрушенной Германии, чтобы убедить коллег в ценности найденного им препарата. Усилия Домагха и других улучшить контебен привели к созданию самого мощного лекарства против туберкулеза — изониазида. К началу 1950 года стали уже широко продаваться несколько сильных противотуберкулезных лекарств: контебен, изониазид, PAS и стрептомицин, однако ни одно из них в одиночку не вылечивало пациентов, потому что требовалось много месяцев, чтобы полностью удалить бактерии туберкулеза из организма, а за это время гораздо быстрее возникали устойчивые к этому лекарству мутантные бактерии. Комбинация нескольких лекарств внушала больше надежд. Допустим, что вероятность появления бактерий, резистентных к одному лекарству, равна одной на миллион бактерий, тогда вероятность возникновения бактерий, устойчивых одновременно к двум лекарствам, равна одной на миллион миллионов бактерий. Поэтому под эгидой Британского совета по медицинским исследованиям начались длительные испытания с целью найти наиболее эффективные комбинации и дозировки лекарств. Другие тесты, проведенные в Индии, показали, что нет особой разницы, принимают больные лекарства в санатории или дома. Эти результаты привели к постепенной ликвидации туберкулезных санаториев во всем мире, включая знаменитый санаторий в Давосе, известный по роману Томаса Манна «Волшебная гора». Их давно превратили в отели.

Статистическая обработка результатов испытаний выполнялась Брэдфордом Хиллом и позднее Яном Сазерлендом. Их данные оказались решающими для почти полного искоренения туберкулеза во всем мире. На их примере можно было впервые оценить эффективность процедуры лечения, основанной не на разноречивых советах врачей, а на точном математическом анализе. Они помогли перевести клиническую практику из ранга искусства в ранг научной дисциплины.

К 1980 году количество вновь заболевших туберкулезом в западных индустриальных странах (речь не идет о смертельных случаях) упало до единицы на 10 000 населения. Но уже десять лет спустя Центр по контролю за болезнями в Атланте предупредил, что туберкулез не только появился вновь, но и успел выйти в США из-под контроля. Только в одном Нью-Йорке за 1991 год было зарегистрировано 4000 вновь заболевших туберкулезом. Главным виновником такой вспышки заболевания считался СПИД. Многие из нас, включая меня самого, болели в детстве туберкулезом, но потом поправились и приобрели иммунитет против этой болезни. Но видимо, какие-то бактерии туберкулеза выжили и сохранились в наших организмах; мы были в безопасности, находясь под контролем нашей иммунной системы. Но пришел СПИД и разрушил иммунную систему, разбудив заснувшие бактерии туберкулеза.

Иммиграция из неразвитых стран, где с туберкулезом никогда толком не боролись, могла оказаться другой причиной роста заболеваемости. В 1990 году Центр по контролю за болезнями сообщил, что заболеваемость среди иммигрантов в США превышает в 13 раз заболеваемость среди коренного населения. В книге «Безмолвные странники» Алан Краут сообщает, что число явно заболевших туберкулезом в Нью-Йорк-Сити возросло с 2545 случаев в 1989 году до 3673 случаев в 1991-м, причем среди афро-американцев оно увеличилось на 56%,



ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

среди выходцев из испаноговорящих стран на 52,6%, среди выходцев из азиатских стран на 46,9% и только на 13,2% среди коренного белого населения. В США по стране в целом заболеваемость туберкулезом возросла на 10% в период с 1989 по 1990 год, причем это не связано с ростом числа новых иммигрантов. В Лондоне один из пятидесяти бездомных болен туберкулезом, и это следствие бедности, а не СПИДа. Недоедание и плохая одежда делают бездомных чувствительными к инфекции, ночлег в переполненных приютах вызывает инфекцию, а кочевание от приюта к приюту способствует ее распространению.

У некоторых современных пациентов бактерии устойчивы ко всем обычно используемым лекарствам и антибиотикам, главным образом потому, что они не прошли полный полугодовой курс лечения комплексом лекарств — изониазидом, рифампицином и пиразинамидом. Другие бездумно занимаются самолечением, принимая только одно антитуберкулезное лекарство; иногда им прописывают неадекватное лечение некомпетентные доктора. В США почти в половине случаев появление туберкулеза, резистентного к обычно используемым лекарствам, удается победить с помощью специальных комплексов лекарств, однако каждому пациенту это обходится примерно в 200 000 долларов.

Некоторые ученые полагают, что сейчас самая важная задача — поиск вакцины, которая была бы эффективной во всем мире и для детей, и для взрослых. Молекулярные биологи пытаются приготовить новую вакцину, используя рекомбинантную ДНК.

Книга Райена напоминает нам, какими мы были беззащитными до открытия антибиотиков, когда порез пальца или воспаление горла могли обернуться смертью. В то же время автор подчеркивает, что мы редко до конца выигрываем битву против какой-либо смертоносной бактерии, потому что естественный отбор всегда приводит к появлению мутантов, устойчивых к самым лучшим лекарствам. Микроорганизмы, устойчивые к антибиотикам, стали общей проблемой для многих госпиталей. Среди них гемолитические стафилококки, вызывающие родильную горячку и воспаление ран, стафилококки фурункулеза, а также стафилококки, ответственные за наиболее тяжелую форму пневмонии. Благодушие и снижение ассигнований привели к развалу системы надзора за распространением болезней. Центр по контролю за болезнями предполагает возродить эту систему и усилить надзор за распространением болезней, открыв центры по обнаружению новых инфекций и создав глобальную систему предупреждений об их миграции. Поиск новых антибиотиков и вакцин не должен прекращаться, и образцом для тех, кто ищет, могут служить труды героев Райена.

Уже на закате жизни Домагха биохимик Отто Варбург сказал ему, что он заслуживает памятника повсюду, на каждой горе и в каждой долине, а Домагх ответил, что теперь уже никому не интересны болезни, которые можно легко излечить. Однако в наши дни туберкулез должен быть исключен из списка таких болезней, так как он снова представляет смертельную угрозу для всего человечества, и не только для стран третьего мира, где он лидирует как причина смерти.





Фото В. С. Горелик

Фонтан в городе Ульме, где родился Эйнштейн

История с языком

Эта история случилась в конце 80-х годов, на излете перестройки. Я узнал, что Библиотека иностранной литературы (ВГБИЛ, как она тогда называлась) за неимением места для хранения книг списала много тысяч томов, которые были вывезены в подвал одной из пятиэтажек в конце улицы Вавилова, недалеко от Черемушкинского рынка. И эти книги можно забирать и пополнять ими государственные библиотеки, оформив заявку. Долго уговаривать меня – химика и жену-филолога было не нужно. Мы нашли нужный дом, спустились в подвал и сразу почувствовали неладное: запах гнили и плесени. «Нас уже давно залило, – сказал библиотекарь Илья. – А на ремонт нет денег». И, чуть прихрамывая, повел нас по комнатам, уставленным до потолка стеллажами с книгами, – повел по хлюпающим в лужах доскам. «Вот здесь вы можете смотреть, а вот туда заходить без респиратора не следует: эта плесень опасна для здоровья», – сказал наш гид. И действительно, в тех комнатах вода стояла уже по колено, а книги прогнили насквозь и были безвозвратно испорчены. Да и состояние тех, что нам разрешили смотреть, было ненамного лучше.

У меня и жены разбежались глаза. У нее – от массы замечательных книг по литературоведению. У меня – от книг по естественным наукам и прежде всего по химии. Чего там только не было! Многотомная американская Энциклопедия по истории фотографии, множество книг по истории науки и техники, в том числе популярных, различные практикумы по неорганической и органической химии. Среди книг, которыми я часто пользовался в нашей факультетской библиотеке и потому хорошо запомнил, – тома Бейльштейна, американская Энциклопедия химических реакций Якобсона, английская Энциклопедия прикладной химии Торпа, красный шестнадцатитомник Мелло-



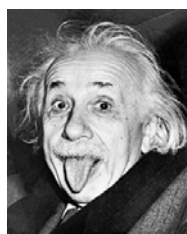
Слева направо: Альберт Эйнштейн, Франк Эйделот, Освальд Веблен, Марстон Морс

ра... Помню, что, когда я был еще студентом 1-го курса и впервые взял в руки справочник Меллора по неорганической химии, меня поразило написанное автором на титульном листе своего огромного труда: «Посвящается рядовым огромной армии химиков. Их имена забыты, их работы остались»...

Я обратил также внимание, что целые стеллажи были уставлены немецкой классикой, отпечатанной готическим шрифтом. Фолианты были в чуть тронутых плесенью кожаных переплетах, и не исключено, что все они были вывезены в 1945 году из библиотеки какого-нибудь рейхсминистра.

Места для хранения книг не было не только в ВГБИЛ, но и в Отделе художественного воспитания Московского городского дворца пионеров и школьников (как он тогда назывался и где работала жена), и в библиотеке химфака МГУ, где работал я. Несмотря на большое хранилище нашей библиотеки, занимавшей несколько этажей-ярусов, многим книгам и журналам уже не хватало места на полках, и они хранились стопками на полу; устаревшую литературу списывали и за символическую сумму продавали студентам и сотрудникам...

Мы отобрали книги по минимуму. Несколько книг на английском – замечательные подборки из Шекспира, Байрона, Шелли, Мильтона... – жена потом отвезла во Дворец, а я по химии – на химфак. (Но сперва я привез все книги в лабораторию и там, поместив их в большой герметичный бокс из оргстекла, окуривал, по совету библиотекаря, парами формальдегида, чтобы уничтожить все микроорганизмы.) Пока Илья составлял их опись, я продолжал осматривать ближайшие полки. Мое внимание привлек изданный в США альбом, посвященный самым известным фотографиям. Кажется, это был не подлинник, а ксерокс, чуть влажный от



Вот как выглядела знаменитая фотография полностью

сырости, но довольно хорошо сохранившийся. Начав листать его, я увидел, что рядом с замечательными фотографиями помещены воспоминания их авторов о том, в каких ситуациях эти снимки были сделаны.

Конечно, там была знаменитая фотография горящего немецкого дирижабля «Гинденбург», сделанная в мае 1937 года в американском штате Нью-Джерси, и некоторые подробности я выписал. Кстати, во многих источниках эту катастрофу описывают как «взрыв дирижабля с 200 тысячами кубометров водорода». Но скорее всего, это был гигантский пожар, который продолжался несколько минут. Ведь водород в дирижабле не был смешан с воздухом, а гремучий газ — это заранее приготовленная смесь водорода с кислородом (или с воздухом). Выходящий же из баллонов с водородом газ немедленно сгорал на воздухе огромным пламенем. Взрываться в горячем водородном пламени могли баки с дизельным топливом для моторов дирижабля. Но если бы взорвался весь водород, которым был наполнен дирижабль, или хотя бы значительная его часть, взрыв уничтожил бы все вокруг, включая фотографа. На самом деле при пожаре из 97 человек, находившихся на борту, погибли 22 члена экипажа, 13 пассажиров, а также техник наземной службы, но 62 человека спаслись, хотя многие получили ожоги.

Всю эту историю я вспомнил потому, что в сентябрьском номере журнала за 2007 год была опубликована очень интересная статья А.Галигузова «О языке с уважением». В качестве заставки к ней была помещена фотография Альберта Эйнштейна с высунутым языком. Эта черно-белая фотография получила широкую известность. Ее можно увидеть на обложках журналов, на плакатах, на майках и рубашках и даже на чашках. В том альбоме, о котором шла речь, конечно, была и эта фотография. Правда, рядом с Эйнштейном на ней были еще два человека: все трое сидели в автомобиле. А на соседней странице был помещен подробный рассказ автора снимка, фамилию которого я, конечно, не запомнил. К счастью, с помощью Интернета удалось довольно быстро ее разыскать, как и имя соседей Эйнштейна, а также установить точную дату.

Снимок был сделан 14 марта 1951 года фотографом крупнейшего информационного агентства United Press International (ЮПИ) Артуром Сассе. В этот день отмечали 72-летие Эйнштейна. Празднование проходило в Принстоне, где великий физик до конца жизни работал в Институте перспективных исследований, основанном в 1932 году. Поздно вечером, после окончания торжеств, заметно утомивших ученого, бывший директор института Франк Эйделот (он возглавлял его с 1939 по 1947

год) предложил Эйнштейну отвезти его домой на своей машине. У выхода их ждали репортеры, которые стали наперебой задавать Эйнштейну вопросы и щелкать камерами. Уставший Эйнштейн пытался их остановить возгласом «Хватит, хватит!», но это, разумеется, было бесполезно.

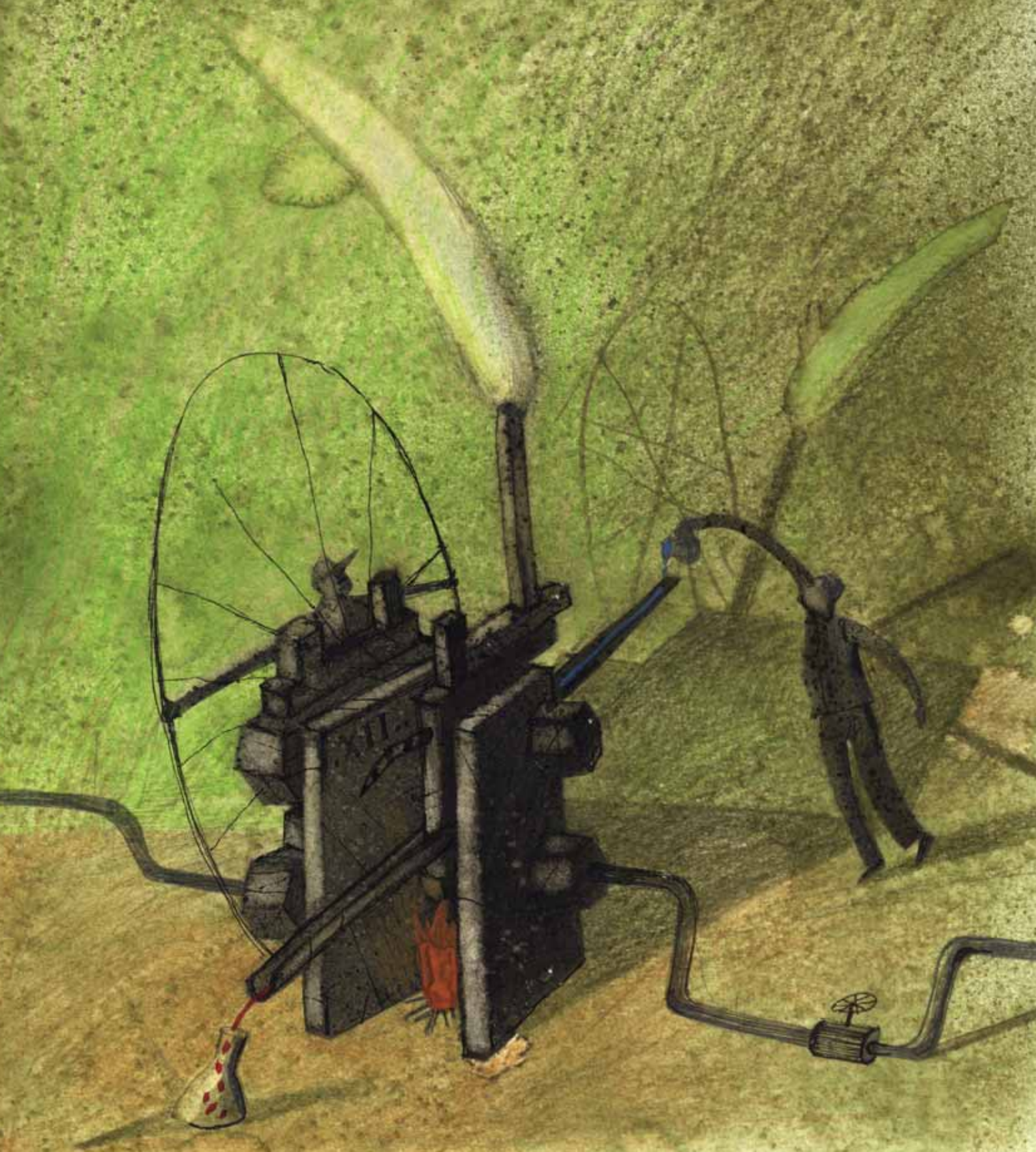
Как рассказал автор знаменитого снимка, сам он поступил иначе: спрятался с камерой наготове за задней дверцей автомобиля. И когда Эйнштейн уже сидел между Эйделотом и его женой, а шофер собирался захлопнуть дверцу, Сассе попросил о последнем снимке (кажется, он даже обратился к нему по-немецки «Herr Professor!»). «В ответ он показал мне язык, будучи уверен, что я не успею, — вспоминал Сассе. — Но я успел!» Кнопка фотоаппарата была нажата в нужную долю секунды.

На следующий день снимок был опубликован и очень понравился Эйнштейну. Он вырезал из него свое изображение и сделал с него несколько копий, которые посылал друзьям в качестве поздравительной открытки. Конечно, теперь фотография приобрела совершенно другой вид! На второй помещенной здесь фотографии Эйнштейн стоит рядом с Франком Эйделотом (1880–1956) и профессорами института математиками Освальдом Вебленом (1880–1960), одним из организаторов института и его первым профессором, и Марстоном Морсом (1892–1977), автором известной топологической теории.

А фотография Эйнштейна, показывающего язык, вошла в золотой фонд культуры. Обычно говорят, что она показывает величайшего гения XX столетия живым и веселым человеком, символизирует единство эмоций и разума. Но это, несомненно, еще и символ крепкой дружбы ученых и журналистов...

Кандидат химических наук
И.А.Леенсон

Парадокс Мамкина





— Не может такого быть! — удивился профессор. — Это что, программа?

— Да, Валентин Дмитриевич, это всего лишь моя разговаривающая программа. Вот только разговаривает она не голосом, а текстом на экране.

— А у меня была полная уверенность, что я переписываюсь с живым человеком. Нет, погодите... но она же задавала вопросы!

— Она просто перефразировала ваши высказывания.

— Вы шутите! Ну а эта ее фраза: «Вы считаете, что все может быть познано наукой?» Это же глубокая философская мысль. Я не задавал себе такого вопроса.

— Да нет, профессор, она просто переставила ваши слова из предыдущей фразы и построила вопрос. Вы подумали, а программа прекрасно знает, где существительное, где глагол, как построить вопросительное предложение или как сделать предположение. Повторяю, она не думает, думаете только вы.

— Здорово, эффективно!

— Видите, оказывается, можно разговаривать, при том не думая. Это лишь имитация умственной деятельности. Пытаясь воспроизвести человека, мы скользим по поверхности и имитируем лишь одну из его оболочек, не затрагивая его сути — души.

— Да, тут вы, наверное, правы... Но я пришел к вам, Сергей Николаевич, по делу, причем довольно щепетильному. — Профессор отодвинулся от монитора и жестом пригласил собеседника сесть. — Вы известны в институте как человек аналитического ума, что еще раз доказали сегодня, и исключительно порядочный.

— Спасибо.

— Ну чего вы усмехаетесь, я говорю искренне. А тут, понимаете... С одной стороны, вы не посторонний и не выметете сор из избы, а с другой — не член коллектива нашей кафедры, а значит, не заинтересованы в том или ином исходе. Поэтому я решил обратиться за помощью именно к вам. Однако прежде чем изложить суть дела, хотел бы заручиться вашим согласием, а именно: посвятить этому вопросу неделю-другую (с вашим руководством я договорюсь) и, главное, соблюдать конфиденциальность, так как это дело я не могу назвать иначе как расследованием.

— Вы меня заинтриговали. Но я же не следователь, я — программист. Полагаете, смогу помочь?

— Итак, если вы согласны, — кивнул профессор, — я начинаю. На кафедре оргсинтеза, которой, как вы знаете, я имею честь руководить, произошел скандал, и он может оказаться проблемой не только нашей кафедры. Некий молодой ученый Мамкин опубликовал непроверенные данные. К нам посыпались письма возмущенных оппонентов. Они сообщают, что в указанных условиях эксперимент не воспроизводится. Мы провели проверку и убедились, что эта реакция действительно не идет.

Сергей Николаевич пожал плечами:

— И что за проблема? Надо опубликовать другую статью, где и описать действительное положение вещей.

— Казалось бы, именно так, но... — Профессор кашлянул в кулак. — Понимаете, Мамкин представил нам продукт той самой реакции, состав которого подтвержден анализами.

— Откуда же он взял продукт реакции, если реакция не идет?

— Он утверждает, что синтезировал его по этой реакции. Вот так. — И профессор развел руками.

— А можно ли синтезировать его другим методом?

— Другого метода синтеза этого продукта я не знаю. Но вот что еще: продукт довольно интересный, как и сама реакция. До сих пор мы считали, что такого типа реакции не идут. Если же это возможно, то она могла бы открыть путь к семейству очень интересных производных. Это была бы маленькая революция в химии азотистых гетероциклов. Именно поэтому статья вызвала такой интерес и такое, мда, возмущение.

— То есть задача состоит в том, чтобы выяснить, действительно ли Мамкин провел эту реакцию, и если это так, то почему другие не могут ее воспроизвести?

— Именно. Правда, есть еще один аспект. Но с ним вас познакомит мой заместитель Наталья Сергеевна. Думаю, так будет лучше. Жду вас завтра на кафедре после десяти.

Первый визит Сергей Потапов нанес научному секретарю кафедры Наталье Сергеевне Никандровой, чья рабочая комната походила скорее на медицинский кабинет, чем на химическую лабораторию: все безукоризненно чисто, разложено по своим местам. Никандрова сказала буквально следующее:

— Уважаемый Сергей Николаевич, наша кафедра уже шесть лет занимается изучением тиофильных производных. Эту тему начал наш профессор Владимиров. Именно он доказал, что нуклеофильное замещение по тиофильной группе в принципе невозможно. Это подтверждено сотнями экспериментов, это фундамент теории тиофильной группы. И вот сегодня какой-то мэнээс замывается на наши святыни. Лично я не нуждаюсь ни в каком расследовании, мне все ясно и так. А вот другим надо наглядно показать, насколько низко может пасть ученый, подтасовывая факты. Поэтому вы должны найти доказательства его вины. Мотивы-то очевидны: производные тиофильной группы проявляют значительную биологическую активность и могут служить основой для сильных лекарственных препаратов, что подтвердили коллеги с кафедры биохимии. Это сулит большие деньги. Видимо, среди нас еще есть такие, кто ради выгоды...

Сергей уже все понял и дальнейшее слушал вполуха, а дослушав и вежливо простившись, отправился к, так сказать, герою этого детектива — Мамкину. В комнате под

номером 37 трудились четверо сотрудников, но повернулся к нему только один.

— Вы, видимо, ко мне? Да, я Мамкин.

— Как вы догадались?

— У нас редко бывают посторонние. Очевидно, Владимиров пригласил вас, чтобы разобраться в моем вопросе. Алексей, — назвал он себя и, улыбнувшись, протянул большую руку.

Сергею он понравился, хотя, понятно, это еще ничего не решало.

— Садитесь вот сюда, за стол, — указал Мамкин, — здесь обычно сидит мой шеф, когда приходит ко мне. Вы, наверное, хотите спросить про ту самую реакцию? Спрашивайте, я все расскажу, мне и самому хочется разобраться, а то меня тут чуть ли не в жулики записали.

— А вы, стало быть, не жулик? — Потапов нарочно задал не совсем тактичный вопрос, чтобы посмотреть на реакцию Мамкина. Но тот ничуть не смутился.

— Я просто описал то, что сделал. Где тут обман?

— А почему в Интернете опубликовали?

— Вы уже разговаривали с Никандровой? Наверняка разговаривали. Значит, знаете, какова у нас линия руководства. Ну кто бы мне дал публиковать такую статью! Ведь доказано, что нуклеофильное замещение по тиофильной группе не идет — и баста. А тут какой-то мелкий научный сотрудник решил поспорить с отечественной наукой. Но ведь все правда. Может, и не стоило публиковать... Впрочем, нет, стоило.

— Но если реакция не идет, то как она могла пойти у вас?

— Ну вот, и вы тоже!

— Что я?

— Поддаетесь гипнозу общественного мнения. Если все говорят, что не идет, — значит, не идет.

— Уточним: не «говорят», а есть результаты экспериментов, причем не одного, сотен.

— Результаты есть, но о чем они свидетельствуют? Ни о чем. Вот, к примеру, такой эксперимент. Вы идете по улице, заходите в случайную дверь, допустим, вон в ту — видите здание напротив? — и проверяете сто первых попавшихся человек, какого они пола. После этой проверки вы должны сделать вывод, что все люди на Земле мужского пола.

— Почему?

— Потому что это артиллерийское училище. Вот вам и эксперимент. А ведь кажется, что все правильно: случайная дверь, случайная выборка людей. И совершенно неверный результат.

— То есть вы хотите сказать... что эта реакция может идти?

— Но ведь у меня она получилась.

— Ну а почему у других она не идет?

— Вот в этом-то и вопрос. Я все точно описал, все условия, все анализы. Я и подумать не мог, что она не воспроизведется.

— А вы сколько раз ее проводили?

— В четырех разных растворителях, при трех температурах с тремя заместителями, и как минимум тридцать шесть раз. Так ведь в статье все это есть — вы что, не читали?

— Я не химик, я программист.

— А-а...

— Ладно. Так вы считаете, что эту реакцию неправильно воспроизводили?

— Честно скажу: не знаю. За свои действия я отвечаю, а почему у них не воспроизводится... не знаю. — И Мамкин удивленно развел руками.

Потапов встал, покивал.

— Что ж, будем разбираться. А кто ваш непосредственный шеф, кстати?

— Самуил Аркадьевич. Он через две комнаты, в тридцать девятой

Шеф Мамкина опять же произвел хорошее впечатление.

— Заходите, заходите, меня уже предупредила Наталья Сергеевна... Ну что вам сказать? Парень с головой, с руками, но немного недотепа. Сами посудите: ему тридцать шесть, а он все не защищается. Я ему говорю, сходи к завкафедрой, попроси, а он — нет. Вот так... Конечно, эту работу он делал не по теме, в общем, самовольно.

— А что, действительно доказано, что та реакция не идет в принципе?

— О, молодой человек, вы не химик!

— Верно. Я программист.

— Ну ничего, я объясню. Смотрите, вот тиофильная группа, — он начал рисовать формулы на листе бумаги, — вот этот атом, второй атом углерода, — это центр нуклеофильной атаки, то есть, проще говоря, реагент мог бы подойти только сюда, но заметьте, мог бы, если бы не было вот этих двух, посмотрите, таких больших заместителей. Они очень большие и полностью закрывают этот бедный атом углерода, короче, не дают подойти к нему. То есть, образно говоря, девушка готова замуж, но стражники не пускают к ней. Да, знаю, можно обмануть стражников. Наверно, можно, но когда бы это у кого получилось! А раз не получилось...

— Но ведь у Мамкина получилось.

— Вы знаете, молодой человек, чем отличается химия от программирования? В химии никто никому не верит на слово. Ни за что! Если вы поставили опыт, то должны его точно описать, и вам поверят лишь тогда, когда повторят этот опыт в тех же, заметьте, описанных вами условиях и получат тот же результат. Опыт Мамкина не воспроизводится. И что вы тогда хотите?

— Однако такая установка не позволяет изучать изменчивые явления. Кажется, Конфуций сказал, что нельзя войти в одну реку дважды. Так мы можем познавать только застывшие вещи. То есть получается, что химия основана на недоверии.

— Извините, но как же еще может быть?

— Я задам вам встречный вопрос. Если я сфотографирую небо, опубликую фотографию, а вы не сможете ее воспроизвести, потому что небо будет уже другим, то вы скажете, что это ненаучно, и не поверите? Вот об этом недоверии и я говорю.

— Что делать, что делать! Такова наука, мы не умеем изучать природу по-другому.

— Ну а сам продукт этой реакции, что он собой представляет? Я слышал, он может оказаться перспективным.

— Перспективным — не то слово! Он мог бы стать лекарственным препаратом. Успешные испытания на кафедре биохимии кое-что значат. Профессор Владимиров в течение нескольких лет пытался его получить. И — ничего. А теперь представьте его чувства, когда он узнал, что это вещество получено в одиночку тридцатишестилетним недотепой без степени, и получено, можно сказать, кустарным способом, да еще самовольно, не по утвержденной программе.

— Это последнее многое значит?

— Значит. Еще как значит!

Кафедра биохимии оказалась достаточно далеко, в другом здании, и была на удивление небольшой — всего две комна-

ты. В одной из них, маленькой, стоял телефон, по которому разговаривал мужчина в резиновых перчатках.

— Я хотел спросить у вас вот про этот препарат, — обратился к нему, представившись, Потапов, когда тот закончил разговор. И развернул сложенный клочок бумаги. — Вот прочтите, мне не повторить его название.

— Да, мы работали с таким препаратом, но потом перестали.

— Перестали — почему?

— Очень дорогой. Мы выделяли его из экстракта некоторых растений, но с очень низким выходом. Процесс совершенно не технологичный. Хотя препарат перспективный.

— А что можно сказать о его свойствах?

— Он может использоваться как сильное успокаивающее средство. Если бы найти сравнительно дешевый способ его получения... Увы, все наши попытки не дали удовлетворительного результата. Отсутствие приемлемого способа выделения — это единственное препятствие. А сам препарат замечательный.

— На нем можно заработать большие деньги?

— Безусловно. А почему вы спрашиваете?

— Дело в том, что некто Мамкин утверждает, что синтезировал его.

— А, Алексей! Знаю, знаю. Неужели все-таки синтезировал? Отличный парень. Он частенько сюда заходил.

— Скажите, а у вас есть в наличии этот препарат?

— Конечно. Правда, совсем немного.

— А Мамкин мог его у вас взять?

— Не только мог, но и брал. Он снимал с него инфракрасный спектр.

— А мне вы могли бы дать его?

— Э... Поскольку вы не наш сотрудник, а препарат очень дорогой, то вам придется взять разрешение у завкафедрой.

— А Мамкин тоже брал такое разрешение?

— Нет. Ведь Мамкин непосредственно работает с ним.

За ужином Потапов ел без аппетита.

— Ну и о чем ты все думаешь? — спросила его Света.

— Извини, — спохватился Сергей. — Как у тебя — все готово?

— Все. Развесила, осветила и ушла. Работа закончена. Может, мне завтра вообще туда не ходить?

— То есть как не ходить! Ты же там самая главная.

— Да нет, — улыбнулась жена, — теперь главные они — мои мальчишки, старики, беженцы. Теперь они будут работать.

— Но ведь завтра придут люди, будут смотреть на твой полотно, критиковать.

— Мое дело сказать, и я сказала. А их дело услышать. Услышат или нет, это уже от меня не зависит, это зависит от них. Ладно... А вот ты-то чего такой взъерошенный?

— Да вот все не идет из головы этот Мамкин. Получается, что он мог взять продукт с кафедры биохимии и выдать его за свой. Но тогда... тогда он должен скрывать свою связь с этой кафедрой. Так?

— Если хочешь его проверить, принеси ему этот порошок. Якобы с кафедры биохимии. Как он отреагирует? Если твой Мамкин мухлюет, то наверняка будет смущен, начнет юлить, оправдываться.

— Это мысль. Только где его взять?

Часть коридора была уже темной, рабочий день закончился. Но 37-ю комнату Потапов отыскал.



ФАНТАСТИКА

— Я встре-ети-ил ва-ас, и все-е былое... — довольно громко пел Мамкин. Он стоял у тяги, погрузив в нее руки, и что-то там поворачивал. В комнате больше ни души.

— А вы неплохо поете! Здравствуйте, кстати.

— О, привет, проходите! — Мамкин совершенно не смутился из-за того, что его пение услышал посторонний. — Сотрудники не возражают, а у меня работа лучше спорится, когда пою. Когда-то пел в студенческом хоре, а сейчас вот мурлычу иногда.

— Работа лучше спорится? В этом что-то есть. А почему в коридоре темно?

— Когда все уходят, выключают свет.

— Вы часто так задерживаетесь?

— Да, бывает.

Потапов заглянул в вытяжной шкаф. В каждой из трех секций был собран стеклянный прибор, и в каждом что-то происходило. В одном позвякивало, в другом капало, а в третьем вообще вертелась сама колба.

— А почему вы не защищаетесь? Материала не хватает?

— Да нет, материал есть. Но знаете, не нравится мне вся эта кухня.

— Что вы имеете в виду?

— Чтобы защититься, надо расталкивать друзей локтями, надо эксплуатировать студентов. Это не по мне. А то, что суждено открыть, я и так открою, беззащитный.

— Ну да, ну да, — покивал Потапов. — Э, вот, кстати. Тут на кафедре биохимии мне дали этот продукт. Такой же, как вы получили. Для анализа. Они, биохимики, оказывается, выделяют его из растительного экстракта.

— Это вам дали на их кафедре? Не может быть!

— Почему?

— Бюкс без этикетки. Они не могли так дать. Для химика склянка с веществом без этикетки — это преступление.

— Ну почему же? Ведь они мне сказали, что там находится.

— Химик, если он действительно химик, никогда не оставит склянку без этикетки или не наклеит неправильную. Самое страшное — это неправда. Но и само вещество, видимо, не то, — после паузы произнес Мамкин, взяв у Потапова бюкс и поворачивая его.

— Да? Вы так думаете?

— Уж очень белые кристаллы. Вещества органического происхождения такими не бывают. Да и плотные они, кажется. Смотрите, как пересыпаются. Скорее всего, это минеральная соль, что-то вроде хлористого кальция или натрия. Вы не на кухне ее взяли?

Потапов улыбнулся:

— Ну что ж, придется признать, что мой розыгрыш не удался. Это действительно соль.

— Это вы напрасно, — без обиды сказал Мамкин. — Я вовсе не скрываю, что брал продукт на кафедре биохимии. Надо же было сравнить спектры!

— И как, совпадают?

— Ну, природные вещества всегда немного отличаются от синтетических, но в основном — да, строение вещества доказано. А вы всерьез думали, что можно вот так всех обмануть, выдав чужое вещество за свое?

— А почему нет?

— Во-первых, это неэтично. Во-вторых, это сразу раскроется, стоит только попытаться воспроизвести. Хотя, да, ведь как раз воспроизведение опыта и не удастся. Так что же получается: я обманщик? Ну, хотите, я при вас проведу эту реакцию и вы сами все увидите?

— Вы можете дать мне ваш продукт, чтобы еще раз убедиться в его подлинности?

— Конечно. А как вы убедитесь?

— Надо провести анализы. Я сам точно не знаю. Наталья Сергеевна просила.

— Ах, Наталья Сергеевна! Опять что-то задумала.

— Почему вы так говорите?

— Знаете, есть люди, которые работают, а есть те, кто плетет интриги. Вы когда-нибудь видели ее за работой?

— Я ее вообще видел лишь однажды.

Мамкин открыл дверцу стенового шкафчика, протянул туда руку — и...

— Что такое? Я же его сюда ставил!

Потапов тоже заглянул в шкафчик:

— Действительно нет. Может быть, где-то в другом месте?

— Да не может он быть в другом месте!.. Тут его место...

«Странно, — подумал Потапов, выйдя в коридор. — С одной стороны, Мамкин теперь не может предъявить продукт своей реакции как доказательство, а с другой — ему может быть выгодно пропажа, так как, если продукт не его, то теперь этого не докажешь».

Комната физико-химического анализа была заставлена огромными железными приборами с самописцами. Маленький стол доктора химических наук Муравьева, руководителя группы, ютился у окна. Потапов с трудом разминулся с лаборанткой в узком проходе.

— Здравствуйте, Константин Иванович.

— Вы ко мне? — обернулся Муравьев. — Здравствуйте. Присаживайтесь вот сюда, извините за тесноту. Чем могу быть полезен?

— Хочу с вами проконсультироваться. А что, если Мамкин действительно провел эту реакцию? Тогда надо ответить, почему она не воспроизводится у других в тех же самых условиях. Я искал, чем же отличается эксперимент Мамкина от других, и, кажется, нашел. Мамкин поет.

— Что значит, поет?

— Он поет, когда работает. Во всяком случае, других отличий нет. Как вы считаете, может ли пение способствовать ходу реакции? Ведь акустические колебания, без сомнения, воздействуют на молекулы. А если именно это и заставляет реакцию идти?

— Должен вас разочаровать: частоты совершенно разные.

— Какие частоты?

— Как я понял, ваша идея заключается в том, что акустические колебания могут резонировать с колебаниями молекулы или ее частей, правильно? Так вот, частоты колебаний молекулы несоизмеримы с акустическими частотами. Разве что с очень высокими гармониками, но их амплитуда резко падает. Но даже если бы и существовало такое поле, то как оно могло сделать молекулу восприимчивой?

— Самуил Аркадьевич говорил, что центр атаки закрыт дву-

мя объемными заместителями. Как будто стражники охраняют вход. Можно ли обмануть стражников?

— Обмануть? А что, это мысль. Знаете, как обманывают стражников? Кидают камушек в сторону, стражник отворачивается, и тогда... Да, это мысль. Если заместители одновременно повернутся вокруг связи углерод-углерод, тогда проход откроется. Вот только как это сделать? Давайте-ка прикинем, какова может быть резонансная частота вращения. — Муравьев открыл справочник, выписал несколько цифр на лист бумаги и хмыкнул: — Нет, вряд ли мы сможем как-то их повернуть. А что касается пения, то оно тут точно не поможет.

— Жаль. А что поможет?

— Нужно определенное поле, но у нас нет таких приборов, чтобы его создать.

— А сам человек мог бы его создать?

— Человек? Создать поле? Вряд ли.

— Ну что ж, спасибо. Будем думать дальше. А идея была хорошая.

— Вы к Мамкину? Так он на репетиции, — встретила Потапова лаборантка Маша.

— Не понял. На репетиции?

— Ну да. Он у нас капустник делает к празднику. Минут через пятнадцать вернется. А вы садитесь, подождите. — И продолжила после паузы: — Что я хотела вам сказать. В общем, не мог он обмануть. Не такой он человек.

— Не такой? А какой?

— Честный. Он лучше сам пострадает, чем другого обманет. Ну скажи, Вадим!

— Да, — откликнулся присутствующий тут молодой человек, — это правда. И голова светлая. Он постоянно что-то изобретает, что-то выдумывает, и все пользуются его идеями.

— И он отзывчивый! — горячо добавила Маша.

— А почему же он до сих пор не защитился, если такой изобретатель? — усмехнулся Потапов.

— Чтобы защититься, мало одного ума, — пробурчал Вадим.

— И кроме того, не любят его, — сказала Маша.

— Не любят? Но ведь вы же сами говорили, что он всегда готов помочь. Как не любить такого человека?

— Я имею в виду руководство.

— И за что же оно Мамкина не любит?

— Повторяю, он честный.

— Да, — вступил в разговор Вадим, — оказывается, иногда это вредно... для карьеры. Вот посмотрите, на стенке висят его авторские. Что вы видите?

— Ну, много красивых листков, — ответил Потапов, — и все принадлежит Мамкину.

— Надо было спросить, чего вы не видите. Вы не видите ни одной фамилии руководителя.

— Но там есть и соавторы!

— Это те, кто работал вместе с ним. А начальства нет. Потому что Мамкин честный: тех, кто участвовал, он включал, а тех, кто не участвовал... Вот и не любят.

— Однако в его статьях, — не сдавался Потапов, — помимо прочих авторов, я видел и фамилию завкафедрой, причем самой последней.

— Статьи отсылает руководство. Если там не будет соответствующих фамилий, то не будет и статьи. Может быть, поэтому Мамкин и опубликовал свои данные в Интернете. А что касается того, что фамилия завкафедрой

последняя, это знают все химики. Существует строгий порядок расстановки фамилий авторов. Сначала идет самый младший исполнитель, потом тот, кто ему помог, потом научный руководитель, а в самом конце — руководство. Хотя последний иногда даже плохо представляет, о чем эта статья. Однако число его публикаций растет, а это важный показатель при назначении на новую высокую должность, для присвоения звания и так далее.

— Хочу с вами проконсультироваться, Наталья Сергеевна, — сразу с порога Потапов пошел в атаку.

— Ой, вы меня напугали! — Она обернулась и, встав из-за стола, поспешно закрыла какую-то книгу. — Как продвигается ваше расследование?

— Пока нет никаких доводов в пользу утверждения, что Мамкин действительно сам провел эту реакцию.

— Я так и знала. И какой у вас вопрос?

— Скажите, как химики хранят вещества? Какие существуют правила? Вот вы, например, где храните ваши продукты?

Наталья Сергеевна на мгновение замялась.

— Ну... правила простые. — Она открыла настенный шкафчик, такой же, как у Мамкина. — Обычно безопасные вещества просто стоят на полке в бюксах с притертой пробкой. По технике безопасности на дверце шкафа должна быть опись всех веществ.

— То есть если вы поставили в шкаф новое вещество, то должны указать его вот в этой описи?

— Именно так.

Потапов посмотрел на лист, прикрепленный к дверце шкафчика с внутренней стороны. Бумага выглядела старой — очевидно, сюда давно не добавляли новых записей.

— А если вещества опасные? Вы сказали, если вещества безопасные, то они стоят здесь, а если опасные? И кстати, какие вещества опасные?

— Опасные... ну, это яды, тогда их хранят в сейфе, а если они пахучие, то в тяге.

В углу комнаты действительно стоял небольшой сейф.

— Не могу поверить, что у привлекательной женщины в сейфе лежит страшный яд.

— Нет, яд, конечно, там не лежит, — улыбнулась Наталья Сергеевна.

— Тогда мне ничего не грозит. Вы позволите взглянуть?

— Конечно, да, вот только ключ... Кажется, я оставила его в другой сумочке.

— Тогда еще один вопрос. Где выключается свет в коридоре?

— На щитке около препаратной.

— Там же, где висят ключи от комнат? Ну да. А кто обычно выключает свет по вечерам?

— Да откуда мне знать? Наверное, дежурный. А зачем вам это?

— Дело в том, что Мамкин часто задерживается допоздна. Он говорит, что когда все уходят домой, то гасят свет в коридоре, чтобы показать, что в комнатах никого нет. А позавчера, когда я решил зайти к нему, но не застал, свет горел. Я прошел по всем комнатам, и никого не было.

— Да? — растерялась Наталья Сергеевна.

— Я думаю, кто-то вернулся, зажег свет, но не вспомнил или вовсе не знал, что его надо погасить. Это мог быть человек, который никогда не задерживается после работы и не в курсе о таком порядке. А вчера Мамкин обнаружил пропажу продукта. Помните, вы мне посоветовали взять у него этот продукт для анализа?



ФАНТАСТИКА

— А почему вы меня об этом спрашиваете?

— Думал, может, вы знаете.

Как Потапов ни торопился, он все же опоздал к началу профсоюзного собрания, на котором планировалось обсуждение дела Мамкина. Хотя какое отношение к этому имеет профсоюз, было непонятно. В общем, финал обсуждения вышел таким:

— ...И поэтому я считаю поведение Мамкина недостойным! — горячо заключила выступление молоденькая сотрудница кафедры и посмотрела на Наталью Сергеевну, сидевшую в президиуме. Та кивнула и спокойно сказала:

— Ну что ж, если вопросов нет, приступим к голосованию. Кто за то, чтобы...

— Есть вопрос! — перебил ее из зала Вадим. — Граждане ученые, ну сколько же мы будем молчать?

— Это и есть ваш вопрос? — усмехнулась Наталья Сергеевна.

— Нет, мой вопрос в том, что, собственно, сделал Мамкин предосудительного или недостойного? То, что он опубликовал свою статью нетрадиционным для нас способом? Так на это имеет право каждый гражданин. Или то, что он провел реакцию, которую другие провести не могут?

— Для вас специально повторю, — подчеркнуто выговаривая каждое слово, произнесла Наталья Сергеевна: — Мамкин заявил, что провел реакцию, которая, во-первых, в принципе проходить не может и, во-вторых, не воспроизводится другими экспериментаторами. Вам этого недостаточно?

— Насколько я знаю, в этом вопросе поручено разобраться Потапову, пусть он и скажет, — спокойно ответил Вадим.

Потапов поднялся, вышел вперед. Посмотрел на Мамкина. Тот сидел в первом ряду, понурился. Аргументов в его защиту у Потапова не было, только какое-то предчувствие.

— Коллеги, сегодня я пока не могу сказать, действительно ли Мамкин провел эту реакцию. Нужно проанализировать еще некоторые факты, прежде чем я сделаю какое-либо заключение.

— Вот видите! — опять подал голос Вадим. — Так почему бы нам не дождаться результатов?

— Да потому, что жулик ваш Мамкин! — не выдержала Наталья Сергеевна. — Он опозорил нашу кафедру! А вам, — обратилась она к Потапову, — какие еще нужны доказательства? Чего еще не хватает? Может быть, вы хотите увидеть, как эта реакция не получится у самого Мамкина? Вас это убедит?

— А действительно, Алексей, — подумав, сказал Потапов, — вы ведь говорили мне, что можете воспроизвести эту реакцию. Если бы на наших глазах вы получили искомым продукт, то тогда... никаких сомнений. Идет? Прямо сейчас?

Мамкин встал, кашлянул.

— Что ж, можно и сейчас.

Прозвучало это спокойно, но не слишком уверенно...

Какое-то время ушло на то, чтобы переместиться в комнату Мамкина. Вокруг его рабочего места пространства хватило лишь шестерым. Остальные сгрудились по ту сторону большого лабораторного стола, разделявшего комнату. Потапов и Наталья Сергеевна, конечно, были рядом с героем.

Мамкин укрепил в штативе трехгорлую колбу, настроил мешалку, вставил термометр, взял капельную воронку, но воронка неожиданно выскользнула и, упав на кафельную плитку вытяжного шкафа, разбилась вдребезги. Мамкин вздохнул, собрал осколки, полез в шкаф за другой.

— Если все пойдет нормально, а я в этом уверен, то минут через пятнадцать после того, как дозировка будет закончена, в колбе должен появиться белый осадок, — пояснил Потапову Вадим. — Тогда мы его отфильтруем, и дело сделано.

Мамкин приоткрыл кран капельной воронки и, периодически поглядывая на термометр, начал дозировку. Потапов посмотрел на часы. Все затихло. Был слышен лишь равномерный стрекот мешалки. Так прошло тридцать минут. Жидкость в колбе оставалась совершенно прозрачной. Мамкин решительно выключил мешалку, снял колбу и вылил содержимое в раковину.

— Ну вот видите!.. — начала была Наталья Сергеевна, но осеклась под тяжелым взглядом Вадима.

В абсолютной тишине, не глядя друг на друга, сотрудники вышли из комнаты.

Улица, упоительно свежо. После душного помещения даже настроение стало лучше.

— Хорошо, что мы убежали с банкета. Там состояние совсем не то. — Света раскинула руки и закружилась.

— Что значит — не то?

— Стрелка направлена не в ту сторону. Не от себя, а к себе.

— Что еще за стрелка?

— Когда создаешь, стрелка должна быть направлена от себя. То есть создавать надо для других. А если стрелка к себе, то ничего путного не получится. А там, — жена кивнула на салон, — там все для себя: похвалы, угощения, вино. Так можно и привыкнуть.

— И тем не менее я, честно говоря, не ожидал такого успеха. Эти твои беженцы, это же просто роман. Как тебе удалось маленькими черточками рассказать судьбу этих людей? Ты научилась видеть человека.

— Наверное, все дело в душе. Доброта спасет мир.

— Доброта? Было сказано — красота.

— Это одно и то же. Красота не может быть не доброй. Это закон. А доброта может все.

— Может все? Интересно. А может ли доброта заставить идти химическую реакцию, которая не идет в принципе?

— Ты о чем?

— Слушай, Светка, хочешь авантюру? У меня гениальная идея! Поехали в институт, если, конечно, там еще кто-то есть.

Наталья Сергеевна решительно отодвинула стул и заговорила из зала:

— Я уж не пойду на трибуну, я отсюда. Итак, господа, надо что-то решать. Писем становится все больше, и этот вопрос уже выходит за рамки кафедры и, может быть, даже института. После того как младший научный сотрудник Мамкин самовольно, да, я подчеркиваю, самовольно, то есть без одобрения руководства, опубликовал результаты своих опы-

тов в Интернете, к нам посыпалась куча гневных писем с опровержениями. Стоит ли напоминать, что эти, с позволения сказать, результаты не только не воспроизводятся в других лабораториях, но и противоречат общепризнанным научным канонам, которые заложены в фундаментальных работах нашей кафедры, в особенности в работах Валентина Дмитриевича. Ведь именно он давно доказал, что тиофильная группа в принципе не способна к реакциям нуклеофильного замещения.

— Ну, что касается моих работ... — задумчиво начал профессор, сидевший в президиуме, — то, кажется, академик Ананьев сказал, что величина ученого определяется тем, насколько он задержал развитие науки. Думаю, не надо объяснять, что речь о тех, кто упрямо держится своих давних концепций и отвергает все новое, что им противоречит. Так вот, — добавил профессор после паузы, — я не хочу задерживать развитие науки.

— Вот поэтому подобные исследования прекращены! — ничуть не смутившись, продолжила Наталья Сергеевна. — Но такого позора мы не переживали никогда. Это так оставлять нельзя. Надо принимать какое-то решение.

— Ну что ж, теперь давайте заслушаем результаты экспертной комиссии, — сказал профессор, по привычке поигрывая карандашом. — Вы готовы, Сергей Николаевич?

Потапов подошел к трибуне и достал из портфеля несколько листов бумаги. Профессор положил карандаш. Наталья Сергеевна отвернулась к стене.

— Итак, Алексей Мамкин утверждает, что провел реакцию нуклеофильного замещения по тиофильной группе. Должен сказать, что попытки воспроизвести реакцию в различных условиях не увенчались успехом. Тем не менее я исходил из предположения, что Мамкин действительно провел эту реакцию. Поскольку у других этот процесс не идет, причем условия те же, значит, подумал я, дело в самом Мамкине. И тогда я задал себе вопрос: а чем, собственно, Мамкин отличается от других?

В зале зашушукались, какая-то девица рассмеялась.

— Единственное видимое отличие, которое я обнаружил, — продолжил Потапов, — это то, что Мамкин поет во время работы. Однако доктор Муравьев утверждает, что акустическое воздействие не может изменить ход реакции. Возможно, существуют другие отличия. И тут мне неожиданно помогла моя жена. Она, видите ли, художник и воспринимает мир несколько по-иному. Но прежде я хотел бы задать вам один маленький вопрос. Скажите, Мамкин добрый человек или злой? Давайте начнем с младших научных сотрудников. Вот вы, Маша, как считаете?

— Ну, конечно, добрый. И сомнений нет.

— А вы, Наталья Сергеевна?

— Право, я не понимаю, какое отношение это имеет к науке? Добрый, не добрый — какая разница?

— Я с удовольствием объясню, но после того, как вы выскажете свое мнение, — кивнул Потапов.

— Ну, злым, конечно, его не назовешь...

— Правильно! Такое же мнение я неоднократно слышал и от других сотрудников. А теперь вот что сказала моя жена, художник. Она сказала, что доброта может все.

Теперь зал загудел.

— Так уж и все? — возвысил голос кто-то.

— Тише, тише, господа! — поднял руку Потапов. — Я вовсе не хочу проповедовать идеализм, я прекрасно знаю, что все вы ученые, материалисты, как и я, поэтому мое доказательство будет исключительно материалистическим... Есть мне

ние, что тиофильная группа может быть, на вашем жаргоне, раскачана и тогда ворота для атаки открыты. Но это теоретически. Мы установили, что пока не можем подобрать такого воздействия на эту группу, которое способно ее раскачать. Акустические колебания не подходят, поэтому пение Мамкина никакой роли вроде бы не играет. Вроде бы... Потому что потом мне в голову пришла такая мысль. А только ли акустические колебания создает человек, когда поет? Ведь пение — не просто звук, а еще и определенное состояние души. Светлое состояние, доброе. А что, если это состояние генерирует некие волны, которые и раскачивают молекулу?... Вот вы только что сказали, что Мамкин человек добрый. Значит, у него это состояние может быть выражено более ярко, значит, эти гипотетические волны у него могут быть сильнее, значит, их частота может быть другой... или что-то еще, чего мы пока не знаем. Во всяком случае, другого объяснения парадокса Мамкина я предложить не могу.

— То есть вы призываете меня поверить, — громко заговорила Наталья Сергеевна, — что какое-то настроение или какая-то доброта может заставить химическую реакцию идти в другом направлении? Извините, абсурд! Ну ладно, здесь все ясно, а вот с этим, с этим-то что прикажете делать? — Она потрясла грудой бумаг. — Вся научная общественность возмущена. Вот послушайте!

— Наталья Сергеевна, может быть, уже не надо? — попытался возразить профессор.

— Нет, я прочитаю! Вот, пожалуйста, уже и до Америки докатилось. Это из Массачусетского технологического института, только сегодня получили по электронной почте, я еще не успела прочесть... Значит, перевожу: «Мистер Мамкин! Ознакомившись с результатами ваших экспериментов, нам удалось воспроизвести... — тут Наталья Сергеевна замялась, но затем продолжила чтение, хотя явно изменившимся голосом, — воспроизвести вашу реакцию нуклеофильного замещения по тиофильной группе, используя высокочастотное возбуждение молекулы на приборе биоманнитного резонанса. Мы знаем, что в вашем институте нет подобного прибора, способного произвести раскачку молекулы, поэтому мы пришли к выводу, что ваш поразительный результат есть следствие вашего личного воздействия на ход процесса. Это предположение подтверждается последними данными Гарвардской лаборатории биофизических исследований, которые показали, что частота биоизлучений человеческого мозга может находиться в диапазоне, близком к частоте возбуждения тиофильной группы». — Наталья Сергеевна прикрыла глаза и медленно опустила лист на стол.

— Ну-ну, а дальше? — крикнул из зала Вадим. — Ведь это явно не все. Уж почитайте, пожалуйста.

Совсем посеревшая, Наталья Сергеевна вновь уставилась в бумагу.

— «Замещение по тиофильной группе представляется нам перспективной работой. Поэтому ученый совет Массачусетского технологического института уполномочил меня предложить вам отдельный контракт по исследованию нуклеофильного замещения по тиофильной группе на двести тысяч долларов в год. Искренне ваш, доктор Рональд Дж. Браун».

Гвалт длился минут пять. Наконец стих.

— Сергей Николаевич, — обратился профессор к Потапову, — конечно, вы понимаете, что эксперименты, проведенные в Америке... это пока говорит лишь о том, что в определенных условиях, при определенном воздействии замещение все-таки идет. Ну, положим. Однако оправдывает ли последнее Алексея Мамкина, который утверждает, что сам



ФАНТАСТИКА

провел эту реакцию? Где его величество факт? Вы сказали, что располагаете каким-то доказательством. Вы можете его предъявить?

Потапов кивнул и достал из портфеля стеклянный бюкс, точь-в-точь как тот, в котором у Мамкина хранился продукт реакции, даже этикетка была такой же.

— Что это? — вырвалось у Натальи Сергеевны. — Как вам не стыдно, Сергей Николаевич? Вы уже и до воровства докатились!

— До воровства? А что я украл?

— Вы еще спрашиваете! А где вы взяли этот бюкс?

— Этот бюкс мне дал Мамкин. Я попросил его подобрать точно такой же, какой вместе с продуктом замещения странным образом у него исчез, сделать точно такую же этикетку, написать точно такое же название. Поэтому я ничего не украл. Но почему, Наталья Сергеевна, вы так разволновались? Уж не причастны ли вы к исчезновению продукта? Вы, видимо, подумали, что это тот самый, который стоит у вас в сейфе?

Наталья Сергеевна резко встала и, бросив на Потапова возмущенный взгляд, вышла из зала.

— Нет, это другой бюкс, — продолжил Потапов, — но внутри него действительно находится продукт замещения. Только получен он не Мамкиным. А вот результаты его анализа — посмотрите на диаграммы! — этот факт доказывает его правоту.

— Поясните! — заинтересовался профессор.

— Когда Мамкина попросили воспроизвести опыт, у него ничего не получилось. Во время проведения реакции он находился в весьма подавленном состоянии. Именно поэтому реакция не пошла. Но это было тогда, а вот этот продукт, — Потапов приподнял бюкс, — получен в присутствии двух квалифицированных химиков и еще одного человека, мягкого, доброго и в тот момент находившегося в приподнятом состоянии духа. Это моя жена, художник. Вот, как я считаю, ключ успеха! Значит, реакция замещения может идти в обычных условиях, но ее исход зависит от душевного состояния экспериментатора. Если это сопоставить с результатами американцев, то получается, что душевное состояние — совершенно материальная вещь. И нельзя сказать, что она не имеет к нам никакого отношения. Американцы раскачали реакцию с помощью биоизлучений, генерированных прибором, а Мамкин и моя супруга — с помощью своих собственных излучений. Можем ли мы утверждать, что доброта нематериальна? Ведь она — своего рода программа поведения человека. Можем ли мы утверждать, что программа нематериальна? Как программист, я заявляю: не можем. Важно, куда у вас направлена стрелка — на себя или от себя.



Соль

Что такое поваренная соль? Название «поваренная соль» обязано своим происхождением не кулинарам, а солеварам. Выпаривание — один из самых древних способов добычи хлористого натрия. Раствор из природных соляных источников долгое время «варили» на огне, и такую соль вполне естественно было назвать поваренной. Поваренная соль — это минерал галит, и, как всякий природный минерал, он содержит примеси, состав и количество которых зависят от месторождения и способа получения соли. Чаще всего в ней присутствуют хлористый магний, сернистый магний, сернистый калий, углекислый кальций, бромистый магний, а иногда и марганец, железо, никель, медь, фтор, рубидий, стронций, барий, серебро, золото, кобальт, хром, цинк, уран, свинец и другие элементы, правда в ничтожных количествах. Общее содержание примесей достигает порой 8%.

Как примеси влияют на качество соли? В некоторых случаях соль специально обогащают разными добавками. Например, для большинства домашних солений — огурцов, капусты, грибов — нужны более грубые сорта с примесями кальция и магния. Они делают воду жесткой, поэтому соленья получаются хрустящими. Рафинированная соль «Экстра» тут не годится. А мэтр кулинарии В.В.Похлебкин порошкообразную выварочную соль вообще не одобряет.

Но иногда примеси вредны. Железо, например, придает маслу металлический привкус, а примеси магния и кальция ускоряют каталитические реакции окисления, из-за чего появляется горечь. В процессе стерилизации консервов, богатых белками, железо образует сульфиды, которые портят вкус и внешний вид консервированных продуктов, разрушают витамин С.

Сколько сортов соли существует? Соль из разных месторождений отличается по составу примесей, которые сообщают ей слабый, но ощутимый привкус. Иногда приятный, а иногда и не очень. Различают соль и по способу добычи: она бывает кристаллическая (каменная), осадочная (из соленых водоемов) или выварочная. Кристаллическая соль самая чистая и обладает более мягким вкусом.

Вообще, сортов соли должно быть много, на разные случаи. Крупная кристаллическая соль хороша для засола рыбы. Она медленно растворяется в воде, отчего рассол приобретает нежный, но крайне устойчивый и равномерный вкус. Каменная соль нужна для производства колбас и мясных копченостей. Знатки различают также специальную соль для масла, мелкую для булочников и сыроваров, специальную столовую — с примесью магнезии и крахмала. В России ассортимент поваренной соли пока невелик.

Что такое йодированная соль? Зачем она нужна? Чаще всего в российских магазинах продается йодированная соль. Йод входит в состав гормонов щитовидной железы, и его недостаток приводит к нарушению многих функций, прежде всего памяти и зрения. На территории России, Украины и Белоруссии природного йода недостаточно, поэтому большинству наших соотечественников соль, обогащенная йодом, полезна. Однако знатоки ругают ее за резкий вкус.

Можно ли улучшить вкус соли? Можно. Для этого ее нужно перекалить на чистой, сухой эмалированной сковороде, на дне которой положен лист белой нелинованной бумаги. Если пережечь соль с квасной гущей, а затем гущу отсечь, получится так называемая четверговая соль, которую прежде употребляли раз в году — на Пасху с отварными блюдами. Она черного цвета и имеет своеобразный вкус.

А моря — в самом деле из поваренной соли? Упаривая морскую воду, мы получим морскую соль. Помимо основного компонента, хлорида натрия, она содержит и другие соли, принесенные в океаны поверхностными и подземными водами, которые представляют собой не что иное, как слабые растворы солей, вымытых из горных пород. В среднем на литр морской воды приходится 30 г разных солей. Морская соль очень для нас полезна. Давно установлено, что концентрат морской воды обладает высокой биологической активностью и антиоксидантными свойствами, повышает сопротивляемость организма. Оно и понятно: по минеральному составу морская вода очень близка к плазме человеческой крови.



Правда ли, что физиологический раствор – это раствор поваренной соли? Физиологические водные растворы близки по солевому составу, величине pH и другим параметрам к сыворотке крови. Основу физиологических растворов составляет хлорид натрия. Самый простой из них – 0,9%-ный NaCl. В другие физиологические растворы (Рингера, Рингера – Локка и др.) добавлены в небольших количествах хлориды калия и кальция, бикарбонат натрия и глюкоза. Применяют их для подкожных инъекций, внутривенного введения при недостатке жидкости в организме и других физиологических процедур.

Какая польза от соли и какой от нее может быть вред? Сколько соли можно есть в сутки? Клетки и тканевая жидкость нашего тела содержат около 300 г хлорида натрия. Наша внутренняя среда – соленая и все биохимические процессы протекают в соленом растворе. Для нормальной передачи нервных импульсов, поддержания осмотического давления и кислотно-щелочного баланса необходима постоянная концентрация хлористого натрия. Но мы постоянно теряем соль с мочой и потом, поэтому ее запас необходимо пополнять.

Считается, что человек должен потреблять 10–15 г соли в сутки. Половину этого количества мы получаем с продуктами питания, остальное нужно добирать. Людям, которые тяжело работают и много потеют (кочегарам, сталеварам или забойщикам) соли нужно вдвое больше. К сожалению, многие люди пересаливают еду. Средний европеец ежедневно высыпает себе в тарелку до 15 г соли, японец – около 40 г. Избыток соли связывает воду, а в результате – отеки, заболевания почек, отложение солей, гипертония, атеросклероз, инфаркт миокарда и мозговой инсульт. Именно японцы держат мировое первенство по числу больных гипертонией.

Полностью отказываться от соли тоже неразумно. При ее дефиците объем крови и других жидкостей может уменьшиться, а это опасно для работы сердца и системы кровообращения. В таком состоянии человек обычно ощущает слабость и сонливость.

Как правильно солить? В одном литре воды растворяется 3,5 г соли. Все остальное при готовке переходит в варимый продукт. Это случается довольно часто, потому что в процессе варки вода испаряется, а соль остается. Чтобы не случилось пересола, суп, кашу или другое варево солят в самом конце, когда вся вода уже упарилась и легче рассчитать необходимое количество соли.

В перекаленном масле растворяется мало соли, а весь избыток выпадает в осадок на дно сковородки. Поэтому если при жарке солить не продукты, а масло, блюдо никогда не будет пересоленным.

В чем суть консервирующего действия соли? Соль – губительница многих микробов. Она повышает осмотическое давление в бактериальных клетках, вызывая плазмолиз, то есть потерю протоплазмой воды. К тому же на клетку вредно действуют ионы хлора. Но надо помнить, что в привычных дозировках соль, к сожалению, не смертельна для самых опасных микроорганизмов: стафилококка, сальмонеллы, ботулинуса. Она только замедляет их развитие. Зато в слабом рассоле отлично себя чувствуют молочнокислые бактерии, которые также тормозят развитие «дикой» микрофлоры, особенно плесеней. А молочнокислое брожение (плюс чуть-чуть спиртового) формирует тот бодрящий аромат, который мы так ценим в хорошо сквашенной хрустящей капусте. При засолке сок теряют не только микробы, но и консервируемые овощи или рыба, что придает рассолу дополнительный вкус.

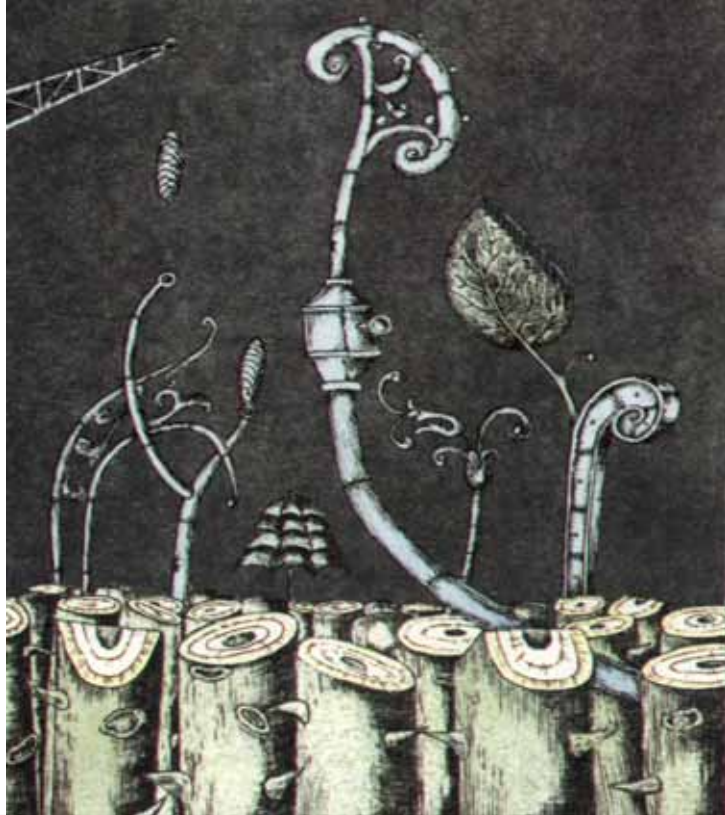
Что еще можно посолить? Дрова, посыпанные солью, легче разгораются и горят ровнее и дольше. Кухонный нож лучше заточится, если предварительно подержать его с полчаса в слабом соляном растворе. Щепотка соли, добавленная в молоко, предохранит его от скисания. Соль изгоняет червячков из грибов, цветной капусты или малины – в 1–2%-ном растворе они чувствуют себя неудобно и спешат выбраться на поверхность. В банке соленой воды можно перевозить на далекие расстояния нежную ягоду морошку. Кроме того, соль удаляет запах горелого молока, сырой рыбы и лука. А мясо можно поджарить без масла, если на сковороде насыпать тонкий слой соли и нагреть ее так, чтобы крупинки соли начали подскакивать. Мясо будет более сочным и с иным вкусом, нежели после обычной жарки.

Зачем солью посыпают тротуары зимой? Соленый раствор кипит при более высокой температуре, чем вода. Поэтому грелка с соленой водой дольше сохранит тепло. (Грелкой может служить и соль, подогретая на сковороде и сложенная в полотняный мешочек: у нее высокая теплоемкость.) А замерзает соленый раствор при более низкой температуре, чем вода. Поэтому из воды, соли и льда можно сделать отличный временный холодильник. Солью посыпают и лед в мороженице – устройстве для приготовления мороженого в домашних условиях. В то же время соль заставляет растаять скользкий лед на тротуаре – правда, сейчас для этого используют не технический хлорид натрия, а более сложные реагенты.

Л. Викторова

Художник Е. Станикова

**НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ
НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ**



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Мамонт под метеоритным дождем

Ален Вест, геофизик-самоучка из Аризоны, и его коллеги ищут свидетельства столкновения нашей планеты с большим метеоритом около 13 тысяч лет назад, что, по их мнению, привело к гибели многих крупных животных и жившего в Северной Америке народа клловис.

Как рассказывает служба новостей журнала «Нейчур» от 12 декабря 2007 года, однажды Вест побывал на распродаже костей ископаемых животных. Вспоминая перед сном помещение, битком набитое костями и бивнями, Вест вдруг подумал, что они могли сохранить в себе следы подобного события, — и наутро уже осматривал бивни, выскивая отверстия с обожженными краями. Спустя несколько часов подходящий экземпляр был найден, а когда ученый поднес к крошечной выемке магнит, тот сразу к ней приклеился — значит, там был магнитный материал. Бивень мамонта длиной в 60 см обошелся исследователю в 200 долларов, после чего он добился разрешения изучить другие ископаемые кости на складе компании, занимающейся их продажей.

Больше всего микрокапель железного метеоритного дождя удалось найти в бивнях, костях и черепах животных из Восточной Сибири. Вест купил эти экземпляры и отправился с ними в Лоуренсовскую национальную лабораторию, где к исследованию подключились химик Ричард Файрстоун и его сотрудники.

Выяснилось, что крупницы, застрявшие в бивнях и костях, по своему составу совпадают с железными метеоритами. По мнению ученых, причиной их появления мог быть взрыв в атмосфере Земли метеорита 30—34 тысячи лет назад. Это совсем не то время, которое интересует Веста. Однако палеонтологи знают, что около 34 тысяч лет назад существенно уменьшилась численность крупных животных — бизонов, лошадей, мамонтов. Падение метеорита могло бы объяснить это.

Ученые призвали коллег быть внимательнее к ископаемым останкам, которые могут оказаться носителями следов столь удивительных событий.

Е. Сутоцкая

Пишут, что...



...форма прямоугольного параллелепипеда — плитки или кирпича — наиболее часто встречается у наблюдаемых болидов, полет которых заканчивается выпадением метеоритов («Астрономический вестник», 2007, т.41, № 6, с.544—547)...

...вопрос о происхождении так называемых серебристых облаков до сих пор не решен, поскольку не до конца понятно, как водяные пары поступают в верхнюю часть мезосферы («Земля и Вселенная», 2007, № 6, с.64—69)...

...по данным Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, катастрофа 3 июня 2007 года в Долине гейзеров пощадил площадку Витраж, крупнейший гейзер Великан и к тому же создала новые интересные объекты, такие как обвальные цирки и термальные озера («Наука в России», 2007, № 6, с.80—82)...

...создан прототип персонального пробоотборника, который прикрепляется на одежду и измеряет дозу экспозиции работника аэрозолями вирусов («Оптика атмосферы и океана», 2007, т.20, № 11, с.1033—1038)...

...появилась на свет еще одна отрасль геномики, токсикогеномика, которая будет изучать, как ядовитые вещества изменяют экспрессию генов и активность белков («Environmental Science and Technology», 2007, т.41, № 23, с.7955)...

...предполагаемое строительство Алтайской (Катунской) ГЭС приведет к гибели в зоне затопления 34 тысяч птиц, 421 тысячи мелких млекопитающих и около тысячи охотничьих животных; хозяйственный ущерб составит 126,8 млн. рублей в ценах 2005 года («Природа», 2007, № 12, с.17—23)...

...несанкционированные свалки теперь можно будет идентифицировать на основе аэрокосмических данных по изменению отражающих свойств земной поверхности («Исследования Земли из космоса», 2007, № 6, с.22—28)...

...компьютерная томография тела мамонтенка из Оймяконского района Якутии, пятого из найденных в мире, подтвердила, что мамонты накапливали жир в особых полостях на холке, чем

и объяснялась их «горбатость» («Доклады Академии наук», 2007, № 6, т.417, с.830—834)...

...опубликован обзор по особенностям асимметрии мозга у правшей и левшей («Журнал высшей нервной деятельности», 2007, т.57, № 6, с.645—662)...

...обезьяны мармозетки в эксперименте бескорыстно кормят других мармозеток, причем не своих родственников, и это показывает, что альтруистическое поведение свойственно не только человеку («Proceedings of the National Academy of Science of the USA», 2007, т.104, № 50, с.19762—19766)...

...мировой рынок продаж противовирусных препаратов достиг 18 млрд. долларов в год, из которых 8,5 приходится на препараты против ВИЧ, а 3,8 — против вирусов гепатитов В и С («Nature Biotechnology», 2007, т.25, № 12, с.1390—1393)...

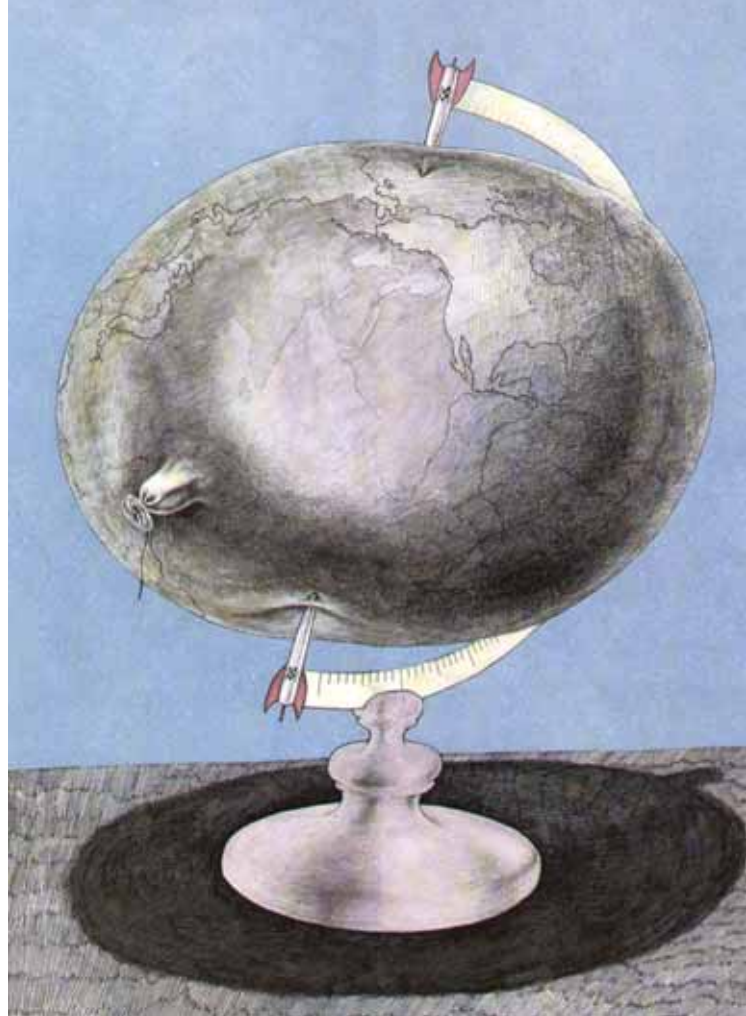
...с 1996 по 2006 год в Московской области от гидрофобии (бешенства) после укусов животных умерли 15 человек, причем некоторые из них своевременно обратились за медицинской помощью («Ветеринария», 2007, № 12, с.10)...

...вероятность наступления течки у водяной полевки зависит от полового опыта и поведения брачного партнера («Зоологический журнал», 2007, т.86, № 12, с.1507—1512)...

...опубликованы архитектурные проекты научно-технического парка с инновационным центром, который будет строиться в Москве в квартале между Ленинским проспектом и улицей Вавилова («Вестник РАН», 2007, т.77, № 12, с.1100—1106)...

...подлинная история противоборства идеи гелиоцентризма и церкви весьма отличается от популяризаторских мифов на эту тему («Physics Today», 2007, т.60, № 12, с.48—52)...

...самая старая из дошедших до нас торговых марок — авторское клеймо, относящееся к VIII в. до н. э., которое поставил на клинке кинжала китайский оружейник («Этнографическое обозрение», 2007, № 1, стр. 132—136)...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Начало эпохи человека

Взяв однажды в руку палку и занявшись преобразованием окружающего его мира, человек рано или поздно, так или иначе должен был сравняться могуществом с природными силами. Похоже, такое время уже настало и, более того, этот факт имеет шанс стать научно признанным. Речь идет ни много ни мало о предложении считать, что на наших глазах закончилась целая геологическая эпоха, голоцен, и началась новая эпоха, антропоцен.

Среди зарубежных ученых одним из первых мысль об окончании голоцена высказал в 2002 году нобелевский лауреат Пауль Крутцен из Института Макса Планка по химии. В этом году (агентство «АльфаГалилео», 25.01.2008) Ян Залашевич и Марк Уильямс из Лестерского университета и их коллеги из Стратиграфической комиссии Лондонского геологического общества решили перейти к практическим действиям. Проанализировав ситуацию, они выделили четыре основные группы глобальных последствий деятельности человека: изменение механизмов разрушения и накопления осадочных пород, нарушение углеродного и теплового циклов планеты, смена растительного и животного мира, закисление океанов. В результате Земля стала совсем не такой, какой была на протяжении всего голоцена, то есть со времени окончания последнего оледенения. В общем-то это очевидно, однако для формального признания начала новой геологической эпохи требуется решение Международной стратиграфической комиссии. Британские геологи полагают, что сообщество их коллег развернет дискуссию, которая закончится принятием такого решения.

С.Анофелес



Художник Е. Станикова



О бессмертии

Вам не приходило в голову, что амеба в некотором смысле бессмертна? Ведь клетка, когда делится, не умирает, а дает начало точным двум копиям себя. Это наши детеныши бывают похожи и на маму, и на папу, и на дедушку, и вообще непонятно на кого. А у простейших с этим строго: каждая новая клетка получает копию исходной ДНК, дочерние клетки во всем подобны маме-амебе. И дочерними-то мы их называем за неимением лучшего термина: это просто два организма вместо одного. А значит, комочки слизи, плавающие в сегодняшних лужах и прудах, — это копии древней Амебы-Праматери?

В предыдущем номере мы выяснили, что непреодолимых препятствий для бесполого размножения (партеногенеза) нет даже у млекопитающих. И ведь мы бы неплохо жили, наверное. Не оставались бы бездетными из-за отсутствия партнера, не получали бы по носу когтистой лапой, когда партнер не в настроении, и дети были бы на нас похожи, а не на кого попало... Почему же природа не соблазнилась этим вариантом?

Коль скоро половое размножение было поддержано естественным отбором — значит, от него есть польза, достаточно большая, чтобы окупить все затраты. Точное воспроизведе-

А.Ю.БЛАГОВЕЩЕНСКОЙ, Владимир: По утверждению знающих людей, жевательная резинка с одежды лучше всего отчищается хлороформом; если хлороформа нет, можно поместить предмет одежды в морозилку и затем попытаться отделить затвердевшую жвачку механическим путем.

В.П.ОРЛОВУ, Тула: *Натуральный каучук и латекс — не совсем одно и то же: каучуком называют продукт кислотной коагуляции латекса, обработанный тем или иным образом, например высушенный и брикетированный.*

С.Н.МУШНИКОВОЙ, Углич: По нормативам 2003 года ПДК ртути в воздухе населенных мест (среднесуточная) — 0,0003 мг/м³; после механического сбора ртути можно обработать пол 0,2%-ным раствором перманганата калия, подкисленным соляной кислотой, мыльно-содовым раствором (4% мыла, 5% соды); если не уверены, что сделаете все как надо, лучше вызвать специалистов.

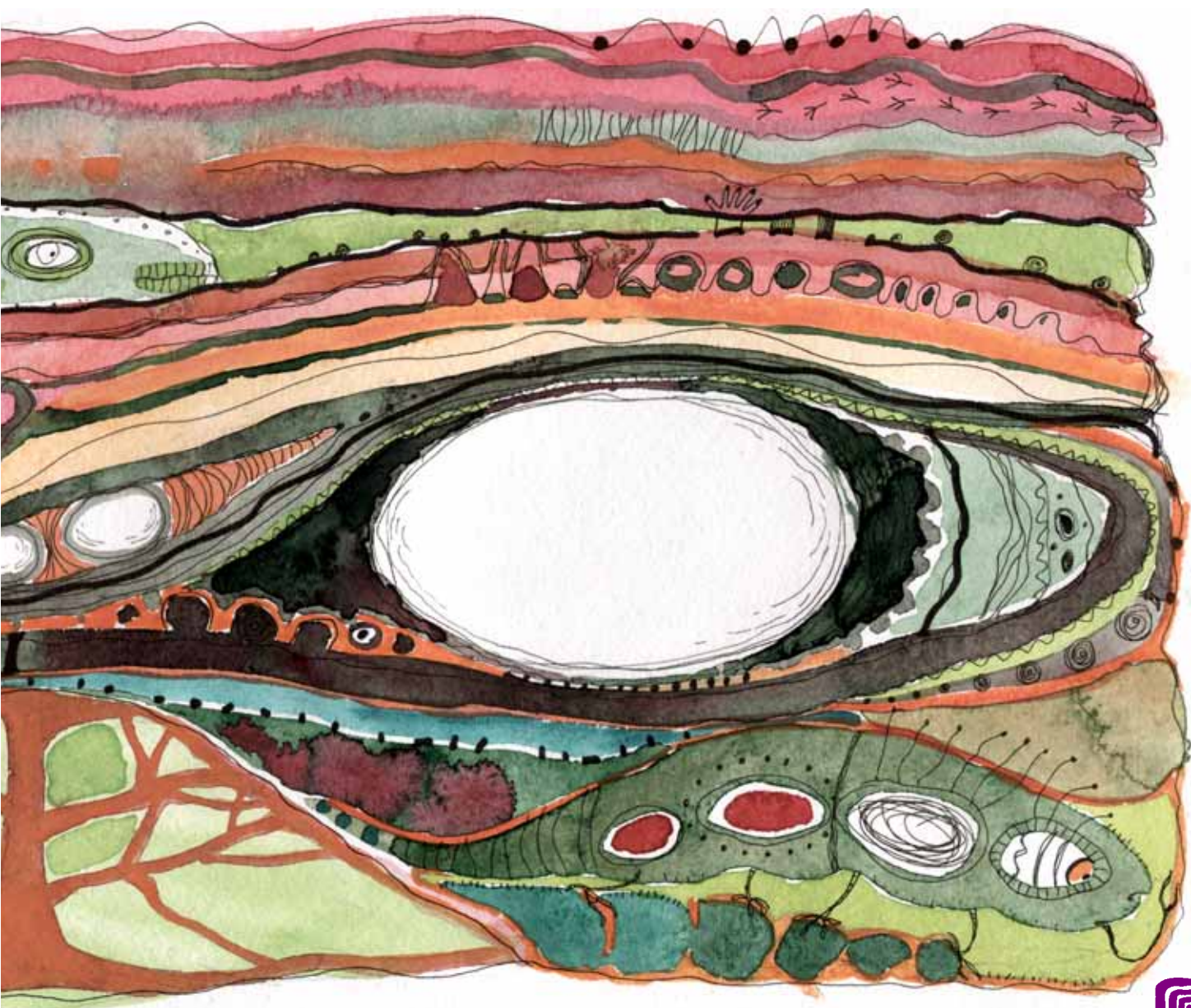
А.В., Казань: *Франций в весовых количествах не получен и вряд ли будет получен по причине отсутствия у него долгоживущих изотопов.*

Е.В.ГОЛОДНЕНКО, Москва: *Красноватый карандаш сангина, которым рисовал Леонардо да Винчи, делался из натурального материала, так называемого красного мела; современная сангина изготавливается из каолина и оксидов железа с добавлением клеящих веществ.*

Ю.П.АНДРЕЕВОЙ, Санкт-Петербург: *Принято считать, что русское слово «зеленый» происходит от «зель» — трава, то есть оно однокоренное с «зельем», поэтому и не обнаруживает сходства с обозначениями того же цвета в западноевропейских языках.*

СЕРГЕЮ, вопрос из Интернета: *Приправа васаби, называемая также хреном японским, делается из корня Wasabia japonica семейства крестоцветных; светло-зеленый корень васаби растирают в пасту или высушивают и перемалывают; в большинстве ресторанов японской кухни под названием «васаби» подают имитацию, например обычные хрен и горчицу, подкрашенные натуральным зеленым красителем.*

ВСЕМ ЧИТАТЕЛЯМ: *Просим прощения за небрежность, в предыдущем номере на с.33 при верстке были перепутаны подписи к схемам реакций «Окисление свободного лизина» и «Окисление пуриновых оснований молекулы ДНК».*



И ИЗМЕНЧИВОСТИ

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ЛЮБВИ

ние себя в потомках — на самом деле не лучший способ продолжения рода. Ведь условия, в которых существует вид, не остаются неизменными, и то, что было полезно сегодня, может стать вредным завтра. Кроме того, естественный отбор работает даже в неизменных условиях, выбирая наиболее приспособленных особей. А для этого нужно, чтобы было из чего выбирать. Если бы свойства предка передавались потомку без изменений, как могли бы появляться новые формы жизни?

Вообще-то передача генетической информации никогда не бывает абсолютно точной — из-за мутаций. Поэтому амёбы-внучки не будут точными копиями бабушки и между собой также будут различаться. Но пользы им от этого мало. Помните, как Агафья Тихоновна мечтала взять от каждой из мужских

особей в популяции самое лучшее качество и объединить их в одном идеальном женихе? Существа с бесполом размножением такой возможности лишены: удачная мутация будет передана только детям и внукам. Кстати, по определению биологический вид — это совокупность особей, способных скрещиваться между собой. Если каждый организм несет уникальный набор мутаций, который передает только прямым потомкам, не теряется ли при этом само понятие вида, не разбивается ли он на множество разновидностей?

А вот у двуполых все иначе. У каждого из нас, если повезет, может быть множество потомков, но что совершенно точно — у каждого из нас было очень много предков! Двое родителей, четверо бабушек-дедушек, восемь прабабушек и прадедушек, шестнадцать прап-

ра... на каком-то этапе окажется, что число предков одного человека больше всей численности человечества (такое возможно, конечно, только потому, что один и тот же человек будет нашим предком по нескольким линиям). В пределах своего вида мы все — родственники.

Почему это выгодно с точки зрения эволюции? Потому что генофонд превращается в «причудливо тасуемую колоду карт», как говаривал Коровьев в «Мастере и Маргарите», — в каждом поколении выбрасываются новые сдачи. (А старые генотипы уничтожаются, чтобы дать место новым. Но не будем о грустном.) Ведь гораздо практичнее испытывать все комбинации имеющихся генов, чем множить и множить мутации.

Е. Котина



ТЕМАТИКА МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Пищевая биотехнология

- Современная биотехнология и биобезопасность.
- Биотехнология, пища и здоровье. Реализация концепции здорового питания в России.
- Пища XXI века – новые подходы и технологические приемы: конструирование пищи, использование микроорганизмов, высокое давление, кавитация, тонкое измельчение и др. Прижизненное формирование качественных характеристик сельхоз сырья.
- Пищевые продукты, пищевые добавки и биологически активные добавки к пище, вспомогательные технологические средства в пищевой промышленности на основе биотехнологии.
- Методы и средства биотехнологии и нанотехнологии в контроле производства пищевой продукции, ее качества и безопасности.
- Нетрадиционные источники пищи. Перспективные штаммы микроорганизмов для интенсификации технологических процессов пищевой промышленности.
- Регулирование и контроль функциональных свойств пищевых продуктов. Современные представления о функциональных продуктах.
- Пища и пищевые контаминанты.
- Биологические объекты и нанотехнологии в пищевой промышленности.
- Генно- модифицированные организмы в производстве продуктов питания. Методы исследований, мировой опыт.
- Нанотехнологии, в том числе: катализаторы на основе наноматериалов для пищевой и спиртовой промышленности.

Секция 2. Ферменты в пищевой промышленности

- Влияние воды на ферментативную активность в пищевых продуктах.
- Направленный ферментативный катализ для получения продуктов с заданным фракционным составом и функциональными свойствами.
- Ферментативный катализ переработки сельхоз сырья – путь интенсификации биотехнологических процессов в пищевой промышленности.
- Производство пива и осветление соков, хлебобулочная промышленность, модификация крахмала, мясомолочная промышленность и другие отрасли, пробиотики, контроль качества продукции и др.

Секция 3. Вода и пищевые технологии: безопасность, качество и эффективность

- 3.1. Современные представления о структуре и свойствах воды, термодинамические и физические свойства связанной воды, энергии связей, активность воды.
- Приборы для определения активности воды.
- Пищевые продукты с промежуточной влажностью. Влияние активности воды на сроки хранения и развитие микрофлоры.
- Способы улучшения качества воды, водоподготовка и т.д.
- Изменения активности воды при различных способах хранения, технологической и кулинарной обработке.
- Структурное состояние и биологическая активность воды в продуктах питания и их изменения при различных способах хранения, технологической и кулинарной обработки продуктов питания.
- Роль и значение макро- и микроэлементного состава питьевых вод и продуктов питания в коррекции показателей здоровья населения
- Изотопный водородно-кислородный состав воды
- 3.2. Биотехнология очистки вод
- Анаэробный и аэробный процессы очистки сточных вод.
- Биохимия и биотехнология разрушения ксенобиотиков.
- ZWO (Международная организация Воды) – активность, проекты и результаты

Секция 4. Инновации, финансы и бизнес в пищевой биотехнологии.**Секция 5. Биотехнологическое образование и пищевая промышленность.****МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:****• Российско-Американский симпозиум**

«Актуальные вопросы российско-американского сотрудничества в области биотехнологий. Опыт реализации биотехнологических инновационных проектов в США и России»

• В рамках конференции традиционно проводится конкурс на лучшую научно-исследовательскую работу молодых ученых – участников конференции: условия участия на сайте:

<http://www.mosbiotechworld.ru/rus/konkurs.php>

Прием тезисов до 6 февраля 2008 г.



www.mosbiotechworld.ru

Тематика выставки: Весь спектр биопродуктов для пищевой и фармацевтической промышленности, агропромышленного комплекса, ветеринарии, геологии, промышленных предприятий, а также биоагенты для охраны и восстановления окружающей среды. Биологически активные добавки, Тест-системы для определения качества и биологической активности воды, определения алкоголя и наркотических веществ. Биокатализ и биокаталитические технологии, биодизель, биоэтанол. Питательные среды. Процессы и аппараты для очистки и подготовки воды. Оборудование и контрольно-измерительные приборы по определению активности воды, молекулярной структуры и изотопного водородно-кислородного состава воды в пищевых отраслях промышленности, медицине, косметологии и др. Промышленная и лабораторная безопасность, катализаторы на основе наноматериалов, нетрадиционные источники пищи, функциональные пищевые ингредиенты и продукты (технология получения и применения).