



Ж

2006
СНЗМЖ И РИМЛИХ





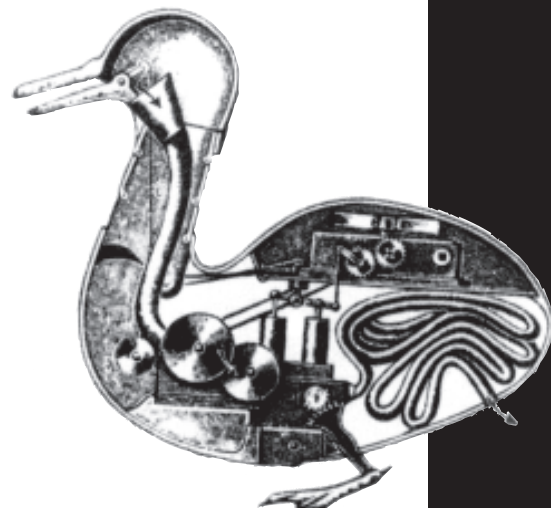


*Когда целуешь гадюку,
ворон считать
некогда.
Пол Андерсон.*



*НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А. Кукушкина
к статье И. А. Сокальского «Сцена
для вселенского спектакля»*

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ — картина
Жана Оноре Фрагонара «Качели». О чем думают
кавалеры, все сильнее раскачивая беспечную
барышню? О вечном коловращении жизни
или о слетевшей туфельке? Как узнать?
Об этом читайте в статье А. В. Шумакова
«Немного о телепатии».*





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

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

Редакторы и обозреватели
Б.А.Альтшулер, В.С.Артамонова,
Л.А.Ашкинази, В.В.Благутина,
Ю.И.Зварич, С.М.Комаров,
О.В.Рындина

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

Подписано в печать 26.06.2006

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» обязательна.

На журнал можно подписаться
на сайтах:
<http://www.hij.ru>
<http://esmi.subscribe.ru>
<http://www.new-press.ru>

© АНО Центр «НаукаПресс»

13



Химия и жизнь

Черный квадрат
«Аффиметрикса» вмещает в себя
треть всех генов человека.

24

Среди его деловых партнеров были европейские
и американские химические концерны, и он сам
вел с ними переговоры, несмотря на
недовольство Внешторга. А Косыгин однажды
принял его за итальянского шпиона...



ИНФОРМНАУКА

ФОЛЬГА, КОТОРАЯ НЕ РВЕТСЯ	4
ЧАС ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	4
ВЫБРОСЫ КАК ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТА	5
РУКОТВОРНЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР	5
ГРАДУСНИК, КОТОРЫЙ НЕЛЬЗЯ ОБМАНУТЬ	6
ТРАНСПЛАНТАЦИЯ ПУПОВИННОЙ КРОВИ –РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ...	6
ЧЕМ ДЫШАТ ГРИБЫ?	7

РАЗМЫШЛЕНИЯ

А.Ю.Рулёв, М.Г.Воронков КРАСОТА ХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	8
--	---

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Д.Трифонов ДЕСЯТЬ ТЫСЯЧ ГЕНОВ НА ПЯТАЧКЕ	13
--	----

ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

М.Ю.Корнилов НАНОТРУБКИ ГИДРИРОВАННЫЕ И ФТОРИРОВАННЫЕ	19
---	----

ИНТЕРВЬЮ

И.Харгиттай БУРИЛЬЩИКИ И ЗЕМЛЕКОПЫ	20
--	----

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Н.А.Корецкая ХАРАКТЕР, СЛУЧАЙ И ОТКРЫТИЕ	22
--	----

ПОРТРЕТЫ

С.Глушнев ВИРТУОЗ СОВЕТСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА	24
--	----

КАРТИНА МИРА: ФИЗИКА

И.А.Сокальский СЦЕНА ДЛЯ ВСЕЛЕНСКОГО СПЕКТАКЛЯ	30
--	----

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

А.В.Шумаков НЕМНОГО О ТЕЛЕПАТИИ	34
---	----

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

С.А.Цимбалюк ЛУЧИ ЖИЗНИ И ГОЛОС ЗВЕЗД	36
---	----

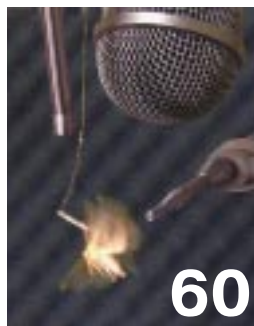
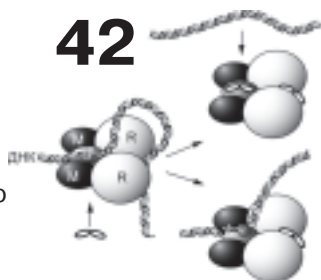
ФОТОФАКТ

С.Анофелес ЭЛЕКТРОВИДЕНИЕ МОРМИРУСОВ	37
--	----

РАССЛЕДОВАНИЕ

М.Т.Левшенко РАЗГАДКА ОДНОЙ ИЗ ТАЙН ТУРИНСКОЙ ПЛАЩАНИЦЫ	38
---	----

Этот белок имитирует структуру ДНК. Попробуйте догадаться: для чего это нужно?



Совок и летучих мышей связывают не только отношения «хищник — жертва». Между ними идет настоящая информационная война!

67



Кровавый пот у некоторых грибов — явление обычное и совсем не страшное.

4

ИНФОРМНАУКА

Про фольгу, которая не рвется, про периодичность землетрясений, про сходство между диоксидом серы и озоновым слоем, про тепловизор, который выявляет заболевших пассажиров на вокзалах и в аэропортах, и про то, что плодовое тело трутовика — на самом деле его дыхательный орган.

30

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Пространство и время образуют сцену, на которой материя видоизменяется и одни ее виды взаимодействуют с другими. По сути дела, больше ничего не происходит, только этот спектакль. Но сюжет его невообразимо сложен...

34

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ

Автор «Химии и жизни», имея за плечами десятилетний опыт практики йоги и двадцатилетний опыт работы в области ядерно-физических аналитических методов, придумал эксперимент, который помог бы установить, существует ли на самом деле телепатия.

50

ФОТОИНФОРМАЦИЯ

Двадцатилетие аварии на Чернобыльской АЭС миновало без особого шума. Все более или менее благополучно, насколько здесь применимо это слово. Но ученые продолжают идти по «чернобыльскому следу». Сейчас он привел их в клетки растений.

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ

Г.Б.Завильгельский, С.М.Расторгуев
МОЛЕКУЛЯРНАЯ МИМИКРИЯ ПРОТИВ «ИММИГРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ» 42

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

В.Б.Прозоровский
ТОРМОЗНЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ 46

ФОТОИНФОРМАЦИЯ

В.Н.Калаев
ЧЕРНОБЫЛЬСКИЕ СЛЕДЫ В КЛЕТКАХ 50

ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ

В.М.Власов
ОШИБКИ, ВЕДУЩИЕ К ВЗРЫВУ 52

ВОЗВРАЩАЯСЬ К НАПЕЧАТАНОМУ

М.А.Ряшенцева
КАТАЛИЗАТОР ИЗ ВУЛКАНА 53

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Э.К.Попова
ЗАЧЕМ РЫБКЕ ЛАЗЕР? 54

ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

Д.Н.Лапшин
КАК ОТКРЫЛИ ЭХОЛОКАЦИЮ У БАБОЧЕК 60

ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

А.А.Бенедиктов
КТО ПОЕТ, КОГДА НАСЕКОМЫЕ МОЛЧАТ? 63

ФАНТАСТИКА

С.Чаянова
ПРОДОЛЖЕНИЕ 64

ФОТОИНФОРМАЦИЯ

С.М.Комаров
ПОТ РАСТЕНИЙ 67

КСТАТИ О ПТИЧКАХ

О.Волошина
ТУПИК, ОН ЖЕ ПОПУГАЙ-НЫРЯЛЬЩИК 73

ИНФОРМАЦИЯ 17

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ 28

РАЗНЫЕ РАЗНОСТИ 40

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ 70

ПИШУТ, ЧТО... 70

ПЕРЕПИСКА 72

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Фольга, которая не рвется

Алюминиевая фольга и изделия из нее, оказывается, могут быть заметно прочнее. На выставке инноваций и изобретений «Архимед-2006» золотую медаль получил сплав на основе алюминия, который разработали сотрудники Московского института стали и сплавов. Сохраняя все достоинства известных аналогов, этот сплав превосходит их по сочетанию прочности и пластичности (nikolay-belov@yandex.ru).



В основе сплава — алюминий, его там больше 96% (как и в промышленных сплавах, предназначенных для упаковки). Остальное — легирующие добавки, среди которых, в этом изюминка технологии, цирконий. Его повышенное содержание и определяет во многом удивительные свойства новинки. Мельчайшие кристаллиты размером до десяти нанометров фиксируют структуру металла, обеспечивая более высокую по сравнению с другими подобными сплавами пластичность и прочность изделий.

«В процессе получения пищевой фольги металл несколько раз подвергается деформации, — объясняет один из авторов изобретения, профессор Н.А.Белов. — При этом прочность металла увеличивается, а вот пластичность, к сожалению, падает. Для того чтобы ее повысить, фольгу на последней стадии отжигают. Однако при этом падает прочность из-за того, что при повышенной температуре металл

утрачивает волокнистую структуру. Этого удается избежать благодаря добавке циркония. Образуя мельчайшие кристаллы в матрице алюминия, он фиксирует ее волокна подобно тому, как удержали на земле Гулливера множество маленьких лилипутских гвоздиков. Теперь после холодной деформации и последующих нагревов вплоть до 450°C волокнистая структура сохраняется, металл остается пластичным и приобретает необходимую прочность».

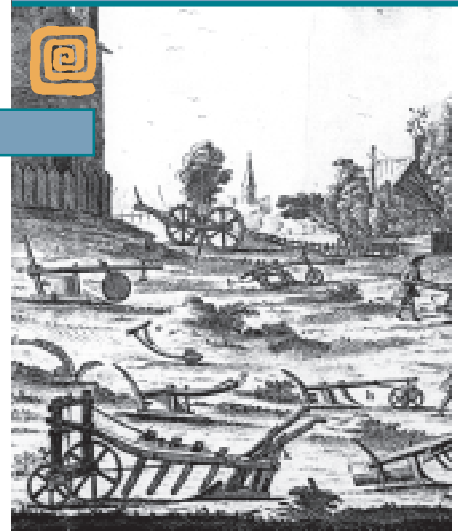
В лаборатории получили 30 кг нового сплава, выплавляли первую партию слитков и изготовили из них опытные образцы листов и фольги. Оказалось, что такие слитки действительно очень пластичны и легко поддаются холодной прокатке. Полученная фольга в отожженном состоянии в полтора раза прочнее фольги из самого распространенного промышленного сплава. И столь же стойкая по отношению к агрессивным средам.

Разумеется, из нового сплава можно делать все те вещи, что и из других алюминиевых сплавов с близкими свойствами, — сварные баки, бензо- и маслопроводы, радиаторы, контактирующие с агрессивной средой емкости и прочее. И конечно, фольгу для пищевых продуктов, которая, как известно, постоянно рвется, ломается и протыкается, особенно при запекании всяческих кулинарных изысков в духовке.

ГЕОФИЗИКА

Час землетрясений

Еще Аристотель, обсуждая природу землетрясений, отмечал, что «ночью толчки бывают чаще и сильнее, а днем только в полдень». Некоторые исследователи до сих пор сомневаются в существовании суточной периодичности, другие же ее исследуют. Сотрудники Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН обнаружили, что слабые землетрясения во многих районах мира происходят с периодичностью 24, 12 или 8 часов. Чаще всего пик землетрясений приходится на ночное время, однако в некоторых местах эта закономерность не соблюдается.



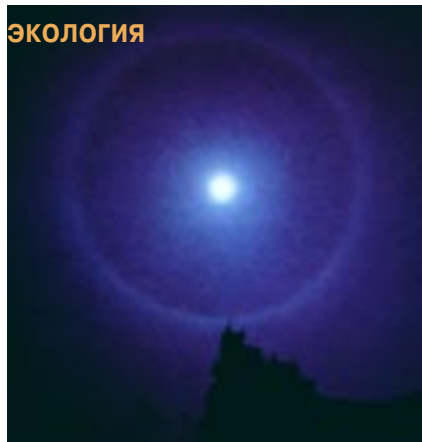
Используя собственные данные и активно взаимодействуя с отечественными и зарубежными сейсмологами, московские геофизики смогли собрать и проанализировать каталоги землетрясений 18 регионов планеты.

Все обследованные районы можно разделить на три группы. Для первой группы, в которую вошли Гармский полигон, юг Калифорнии, Невада, канадская провинция Квебек, Средиземноморье, Камчатка, Аляска и Тихий океан, характерна очень хорошо выраженная суточная периодичность с максимумом сейсмической активности в ночное время. Во второй группе (Северное море, Фенноскандия, Средняя Азия, Кавказ, Япония, Новая Зеландия и Чили) тоже соблюдается суточная периодичность, но пик землетрясений приходится на дневное время. В некоторых районах обеих групп ученые обнаружили, помимо суточной активности, периоды в 12 и 8 часов. В третью группу вошли два региона, где нет суточной периодичности землетрясений. Это Казахстан с четко выраженным периодом 12 часов и Исландия — уникальный район с сильно зашумленным спектром, в котором не оказалось ни суточных, ни полусуточных, ни 8-часовых периодов. Ни в одном из спектров ученые не обнаружили более длинных периодов, связанных с лунно-солнечными приливами. Сейсмологи подчеркивают, что эти закономерности выполняются только для слабых землетрясений с магнитудами не более 1,4–2,5. Более сильные сейсмические события не подчиняются суточному графику.

Пока что ученые не могут объяснить причину суточной периодичности слабых землетрясений. Но они уверены в



том, что эта периодичность не ложная. У них также нет оснований объяснять эти периоды деятельностью человека. Сובлазнительно связать ее с тепловым или электромагнитным влиянием Солнца на Землю. Однако такое истолкование не объясняет, почему в одних районах пик суточной сейсмической активности приходится на ночь, а в других, достаточно близких районах — на день. Не меньше интригует ученых и малая ширина пиков активности. Так, в спектре Гармского полигона она составляет всего 4–5 минут, что примерно в 300 раз меньше продолжительности суток. Для объяснения этого феномена необходимо прежде всего найти причины различий суточного хода в разных регионах, чем исследователи сейчас и занимаются.



Выбросы как защита от ультрафиолета

По мнению геофизика Н.Е. Чубаровой из Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, вредное для людей ультрафиолетовое излучение ослабляют тропосферные газы, причем не знаменитый озон, а диоксид азота и диоксид серы — продукты человеческой деятельности.

Ультрафиолетовое излучение влияет на биосферу, поэтому важно знать и контролировать его интенсивность у поверхности Земли. Считается, что ультрафиолет ослабляют озон и аэрозоль. Но есть и другие атмосферные факторы. Так, в последние годы ученые обнаружили, что некоторые газы тропосферы (самого близкого к земле атмосферного слоя) поглощают в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Это озон, диоксид серы (SO_2), оксиды азо-

та (N_2O_5 и NO_2), димер молекулы кислорода ($\text{O}_2\text{-O}_2$) и некоторые соединения брома и хлора. Кроме того, в ультрафиолетовой области спектра поглощают многие органические соединения: формальдегид, ацетальдегид, бензальдегид, ацетон и некоторые другие. Но содержание этих примесей в тропосфере, к счастью, невелико, и заметно ослабить ультрафиолетовое излучение они могут лишь вблизи источников антропогенного загрязнения или крупных катаклизмов, например лесных пожаров или вулканических извержений.

Н.Е. Чубарова провела модельные расчеты суммарного ультрафиолетового излучения у поверхности Земли при различном газовом и аэрозольном составе тропосферы. Модель учитывала изменения отражающей способности поверхности, высоты Солнца, облачности и содержания аэрозоля в атмосфере.

Человека больше всего беспокоит та часть ультрафиолетового излучения, от которой краснеет кожа (от 280 до 400 нм). Зимой обжигающее действие ультрафиолета практически неощутимо. Солнце в это время стоит низко, и его лучи проходят через более толстый слой атмосферы, чем летом, а от снега и льда они многократно отражаются и рассеиваются — это усиливает поглощение. Из-за разной высоты Солнца летом и зимой эффективная длина ультрафиолетовой волны различна. В холодное время года она составляет 324 нм, и скудный зимний загар ослабляет диоксид азота, поглощающий в этой части спектра. В летние месяцы пик излучения приходится на 313 нм. Тогда нашу кожу защищает диоксид серы. Как ни странно, меньше всего ультрафиолетовые волны любой длины задерживает атмосферный озон, который мы привыкли считать естественным экраном. Расчеты показали, что ни облачность, ни аэрозоль от ультрафиолета практически не защищают.

Диоксид серы попадает в атмосферу в основном благодаря сжиганию ископаемого топлива, угля и нефти. Атмосферный диоксид азота — тоже дело рук человеческих. В результате в сильно загрязненном районе при слабом ветре ультрафиолетовое излучение значительно ослабляется. Так, по данным измерений, уровень УФ-радиации в загрязненных районах Лос-Анджелеса наполовину меньше, чем в прилегающих относительно чистых районах. При этом тропосферные газы поглощают от 6 до 13% ультрафиолета. В Москве только диоксид азота ослабляет

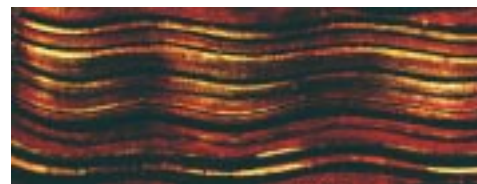
ультрафиолетовое излучение на 2–3%. В очень грязных районах этот показатель может достигать 6%, а в экстремальной ситуации, например в сезон лесных пожаров, — 11–14%. Что касается диоксида серы, основного газа летней защиты, то его в московском воздухе мало, и на его долю приходится не больше 1% поглощенного излучения.

Выходит, ультрафиолетовое излучение у поверхности Земли ослабляют в первую очередь антропогенные тропосферные газы. Сильнее всего обжигающие кожу ультрафиолетовые лучи поглощает диоксид азота в зимнее время, а сквозь озон излучение проходит легко. Хоть чем-то эти вредные выбросы искупают свою вину перед экосистемой.

ГЕОХИМИЯ

Рукотворный геохимический барьер

Новую технологию для очистки воды от кадмия, свинца и меди создали ученые из Института биологии Уфимского научного центра РАН.



В поисках дешевого и простого способа для обезвреживания токсичных стоков, содержащих цинк, кадмий, медь, хром и свинец, ученые обратили внимание на уже давно открытый феномен геохимических барьеров. Это участки в почвах или геологических пластах различной глубины и протяженности, где по разным причинам осаждаются те или иные химические элементы. Для тяжелых металлов в естественных условиях барьерами становятся области с щелочной реакцией грунтовых вод, например залежи известняка. Там тяжелые металлы превращаются в нерастворимые инертные гидроксиды или карбонаты, да так активно, что даже растениям на щелочных почвах постоянно не хватает микроэлементов. А что, если на пути сточных вод создать такую ловушку?

Химики взялись за расчеты. По концентрациям веществ и pH можно вы-

числить, сколько яда осядет на дно из воды, в которую насыпан известняк. Он поставляет гидроксид-ион, ответственный за щелочную реакцию среды. Оказалось, что эта осадочная порода способна вывести из оборота промышленные количества токсичных ионов. Итогом работы стал 600-метровый бассейн из бетона, шириной и глубиной около восьми метров, на дне которого установлены решетчатые контейнеры с мраморным щебнем. Сточные воды должны постоять в нем 12 часов, после чего их можно смело отпускать в реки и озера.

В воде, которая прошла такую очистку, количество растворенных металлов-загрязнителей падает на 75–100%, так что иногда их невозможно даже определить приборами, а pH лишь немногим выше, чем обычно бывает в природных водах. Через каждые 20 метров на дне устроены специальные углубления, чтобы гидроксиды ядовитых, но дорогих металлов было легко собрать.

Полностью заправленного известняком барьера (а это 11 тысяч тонн) хватает на три года. Чтобы сооружение не теряло эффективности, его разработчики рекомендуют иногда заменять часть щебня и менять местами контейнеры в начале и конце резервуара. Единственное, что требуется от сточных вод, — достаточная прозрачность, чтобы взвеси не засорили резервуар, а это условие нетрудно обеспечить.

Ученые считают, что их изобретение — хорошая альтернатива сложным и дорогим методикам, с которыми трудно работать, — а воду-то очищать все равно надо.

БИОФИЗИКА

Градусник, который нельзя обмануть



Обнаружить больных людей, например, в толпе пассажиров в аэропорту позволит тепловизор, разра-

ботанный российскими учеными из Института теоретической и экспериментальной биофизики и Института биофизики клетки РАН под руководством члена-корреспондента РАН Г.Р.Иваницкого. Их работу поддерживала программа Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» и Министерство промышленности и науки Московской области (ivanitsky@iteb.ru).

Биофизики используют инфракрасную систему (теповизор), которая на расстоянии регистрирует температуру человека с точностью до нескольких сотых градуса, причем тепловизор, в отличие от традиционных термометров, невозможно обмануть.

Показатель инфекции — повышенная температура. Чтобы определить температуру человека, достаточно взглянуть через инфракрасное устройство на его лицо. Сложность заключается не в получении результата, а в его интерпретации. У разных людей температура всего тела и отдельных зон лица заметно различается. Это связано со свойствами сети капилляров, жировой прослойки и особенностями самой кожи. Кроме того, у каждого человека есть устойчивый ритм естественного изменения температуры, размах которого достигает семи десятых градуса. Необходимо учитывать и то, что тепловизоры предназначены для установки на вокзалах и в аэропортах. В таких местах люди нервничают, неровно дышат, что тоже должно влиять на тепловой портрет. Очевидно, что в тепловизоре здоровые люди должны выглядеть по-разному. Чтобы научиться правильно расшифровывать изображение, исследователи провели эксперименты с участием 30 сравнительно здоровых людей разного пола и возраста. Испытуемым надо было сделать не менее пяти глубоких вдохов и выдохов, а затем на вдохе задержать дыхание на 25–30 секунд.

В начале эксперимента температура участников в зоне сонной артерии варьировала от 33° до 36,1°С, а в зоне лба — от 33° до 36,5°С. За полторы минуты, которые занимает дыхательный тест, температура в этих зонах у одних людей практически не изменилась, у других росла, а у третьих падала. Ее изменение зависело от того, в какой стадии естественного изменения температуры, увеличения или уменьшения, находился испытуемый.

Оказалось, что изменения ритма дыхания не влияют на температуру

лица. Довольно распространенное мнение, что, управляя своим дыханием, человек может изменить температуру тела, не нашло экспериментального подтверждения. Дело в том, что в процессе дыхания взаимодействуют два взаимно исключаящих механизма. Один способствует увеличению температуры, другой — ее уменьшению. Например, при интенсивном дыхании работа дыхательных мышц разогревает организм, а активная вентиляция легких охлаждает. Кратковременная задержка дыхания тоже слабо влияет на температуру, потому что резервы человеческого организма позволяют компенсировать ее последствия.

Разнообразие, вызванное естественным ритмом изменения температуры, гораздо больше разнообразия, вызванного дыхательным тестом. Но с этой проблемой ученые справились, найдя постоянную величину. Рассчитанное по экспериментальным данным отношение температуры лба к температуре в зоне сонной артерии для здоровых людей практически неизменно и лежит в диапазоне от 0,98 до 1,03. Это отношение и можно использовать в качестве показателя нормы при экспресс-диагностике больных и здоровых во время эпидемий для проведения карантинных мероприятий. Метод также позволит быстро определять инфицированных людей, прибывших из мест, где разыгралась эпидемия.

МЕДИЦИНА

Трансплантация пуповинной крови — российский опыт

За восемь лет специалисты ФНКЦ детской гематологии, онкологии и иммунологии МЗ и СР РФ под руководством А.Г.Румянцева и А.А.Масчана провели шесть трансплантаций пуповинной крови детям, страдающим различными заболеваниями крови. Этот опыт уникален для России.

Ежегодно количество трансплантаций стволовых кроветворных клеток растет, так же как и перечень заболеваний, которые можно излечить с помощью этой методики. Основным источником донорских кроветворных клеток до сих пор остается красный костный мозг. К сожалению, вероятность найти донора, чьи клетки подходили бы больно-



му по иммунологическим характеристикам, для человека европеоидной расы очень мала. Срок, необходимый для поиска донора и проведения неродственной трансплантации, нередко превышает 3–4 месяца, а сама операция требует сложной предварительной подготовки. До сих пор многие больные, перенесшие пересадку костного мозга, умирают вскоре после операции от инфекций и других осложнений. Этим осложнениям медики пытаются избежать, заменяя донорские клетки костного мозга клетками-предшественниками из пуповинной крови. Пуповинные клетки активно делятся и почти не возбуждают иммунную систему реципиента.

Прокатившаяся по миру волна трансплантации пуповинной крови не обошла и Россию. С 1997 по 2005 год в отделении трансплантации костного мозга ФНКЦ детской гематологии, онкологии и иммунологии провели шесть трансплантаций пуповинной крови детям в возрасте от 2 до 14 лет. Трое больных страдали врожденным синдромом недостаточности костномозгового кроветворения (анемия Фанкони), двое — хроническим миелолейкозом, одна больная — острым недифференцированным лейкозом. В качестве источника кроветворных клеток в трех случаях использовали пуповинную кровь, а в трех — комбинацию пуповинной крови и клеток костного мозга.

Приживление клеток зарегистрировали у всех больных, но произошло оно позже, чем при пересадке только костного мозга, потому что пуповинная кровь содержит малое количество стволовых клеток (объем образца пуповинной крови вообще мал). У российских пациентов это происходило в среднем на 24-й день, на 9 дней позже, чем при трансплантации стволовых кроветворных клеток. Позднее приживление трансплантата чревато инфекционными осложнениями. Кроме того, у пятерых пациентов развилась иммунологическая реакция пересаженных клеток против хозяина. Эта реак-

ция возникает в том случае, когда организм не может отторгнуть пересаженную ткань, а клетки донора атакуют ткани реципиента. Два случая оказались настолько тяжелыми, что привели к смерти пациентов на 52-й и 130-й день после операции. У остальных больных реакцию удалось подавить. В настоящее время все четверо больных живы и чувствуют себя удовлетворительно, пересаженные кроветворные клетки у всех прижились, иммунная система работает нормально.

По мнению российских специалистов, использование пуповинной крови может служить разумной альтернативой другим источникам стволовых кроветворных клеток. В первую очередь это касается маленьких детей, которым нужна срочная трансплантация, а времени на поиски подходящего донора нет. Однако пересадка пуповинной крови не свободна от недостатков, вызывающих серьезные послеоперационные осложнения, и считать этот метод панацеей нельзя.

МИКОЛОГИЯ

Чем дышат грибы?



Люди дышат легкими, рыбы жабрами, а некоторые грибы — плодовыми телами. Российские биологи из Института экологии растений и животных УрО РАН, Института физиологии растений РАН и ВНИИ риса РАСХН впервые описали дыхание у древоразрушающих грибов — трутовиков. Эти грибы живут в глубине древесины, но умудряются активно дышать и поддерживать метаболическую активность на таком уровне, как если бы находились на открытом воздухе. Для этого им служат плодовые тела, а не только для размножения, как считали прежде.

Феномен дыхания ученые описали для трутовика окаймленного. Этот гриб знаком всем. Его плодовые тела, темные «копытца» с вишневым краем, усеивают березовые стволы в

лесах средней полосы. В плодовых телах созревают споры, которые потом разносит ветер, а основная часть гриба, его мицелий, находится в глубине ствола. Именно в клетках мицелия происходят главные метаболические процессы, в том числе расщепление биополимеров древесины. Трутовик расщепляет древесину до воды и углекислого газа, то есть дышит — но для дыхания необходим кислород, а древесина и плотная березовая кора практически не пропускают воздух к клеткам мицелия.

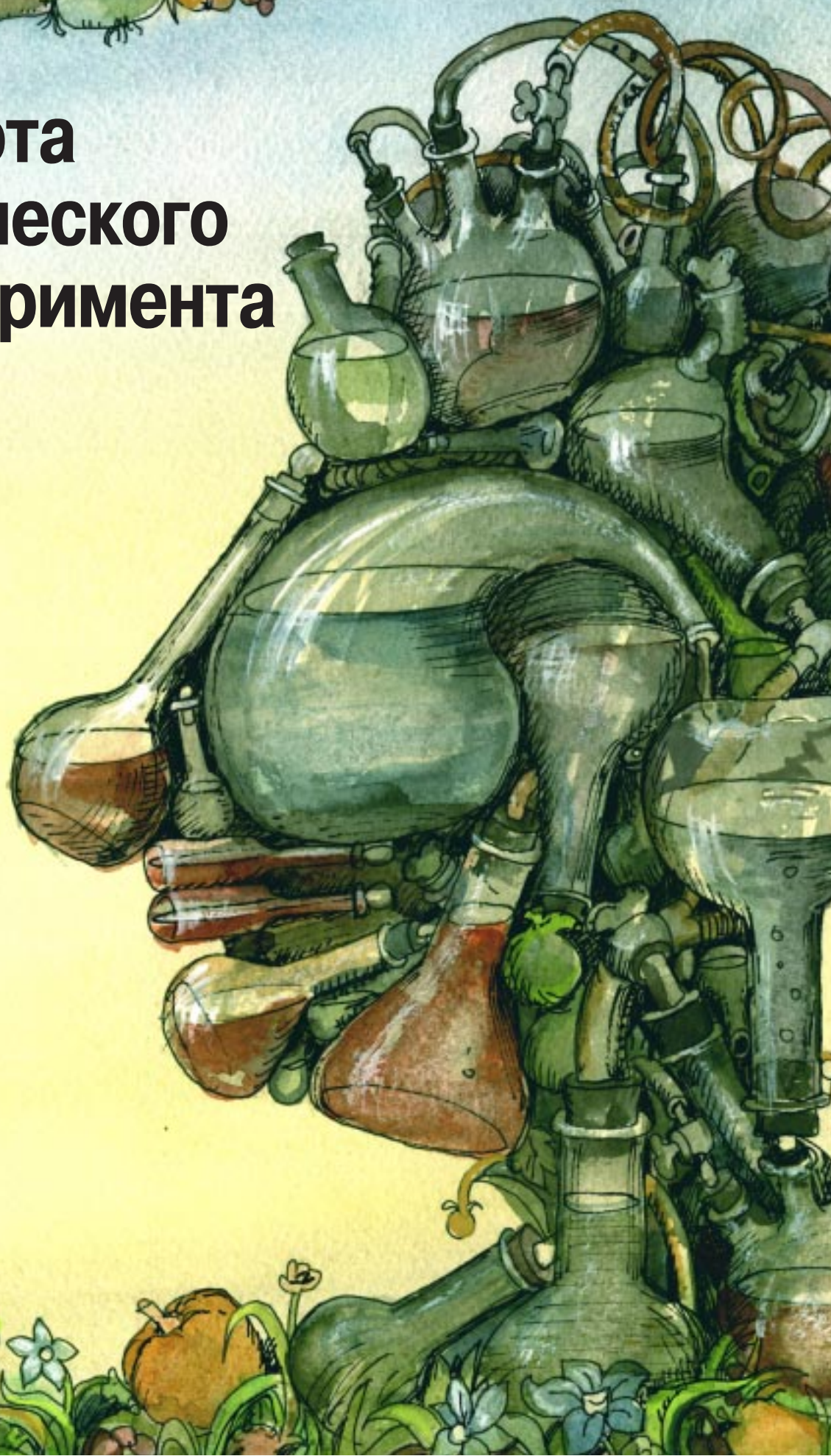
Чтобы выяснить, каким образом окаймленный трутовик умудряется активно дышать, исследователи поместили в экспериментальную камеру фрагмент ствола с плодовым телом гриба, отдельное плодовое тело или фрагмент ствола без него и регистрировали содержание углекислого газа при помощи газоанализатора. Оказалось, что фрагмент ствола без плодового тела практически не выделяет углекислого газа, а дыхание происходит только в присутствии «копытца».


Получается, что окаймленный трутовик дышит через плодовое тело, которое можно назвать грибным «легким», а точнее, через гименофор — «губку», где образуются споры, потому что остальная часть трутовика для газообмена не годится. Именно через плодовое тело гриб поглощает кислород, окисляет углеводы, выделяет углекислый газ и синтезирует энергетические молекулы АТФ и НАДФ, которые отсылают в мицелий. Здесь же, судя по всему, синтезируется и вода, необходимая для нужд гриба. А в клетках мицелия, в условиях глубокой гипоксии, происходит частичное расщепление древесины, продукты этого расщепления уходят в плодовое тело, где и происходит их полное и окончательное окисление. Оба эти этапа, необходимые для разложения древесины до углекислого газа и воды, проходят согласованно, но в разных частях гриба, поэтому грибное дыхание названо аэробным дыханием кооперативного типа. Этот физиологический механизм позволяет грибу поддерживать метаболическую активность мицелия в древесине на таком уровне, как если бы он весь находился на открытом воздухе.

Если вам в лесу попало на пути дерево, ствол которого усеян «копытцами», — не поленитесь, сбейте их. Тем самым вы перекроете кислород грибу-паразиту и продлите жизнь дереву.



Красота химического эксперимента





Доктор химических наук
А.Ю.Рулёв,
академик РАН
М.Г.Воронков

Художник Н.Кращин



РАЗМЫШЛЕНИЯ

Исследователь занимается наукой не потому, что это полезно, а потому, что он получает от этого удовольствие; а удовольствие от этого он получает потому, что она красива.

Несколько лет назад в ответ на вопрос, что самое прекрасное подарила человечеству химия, можно было услышать: «Блондинок». Сегодня достаточно взглянуть на ассортимент продукции, выпускаемой всемирно известными косметическими фирмами, или даже на туалетный столик кокетливой дамы, чтобы понять: эта шутка безнадежно устарела. Однако в этой статье речь пойдет не о химии красоты, производящей косметические краски, кремы, шампуни, лосьоны и т. п., а об искусстве химического эксперимента, о создании удивительных молекул, которые, конечно, могут найти применение и в косметологии.

Анри Пуанкаре

В былые времена среди наук только астрономию приравнивали к изящным искусствам. В мифологии Древней Греции ей, как виду искусства, покровительствовала собственная муза Урания. Другие науки в число изящных искусств не попали. Однако само название химической науки тесно с ними связано. Так, согласно одной из гипотез, слово «химия» происходит от древнего названия Египта и означает «египетское искусство». Другая версия связывает его этимологию с греческим *simoz* — сок растения. Следовательно, слово «химия» может означать «искусство выделения соков». В любом случае химическая наука, как любое искусство, имеет свою эстетику.

Один из атрибутов красоты химии заключается в изяществе главного объекта исследований — будь то простенькая молекула H_2O или сложная молекула ДНК, содержащая около полутора гигабайт генетической информации. Очарование исходит от структуры многих молекул. Но если молекула может быть объектом эстетического наслаждения, то может ли вызывать восхищение профессионалов или дилетантов основной элемент научного познания — эксперимент? Наши коллеги-химики наверняка ответят утвердительно. А вот ответ непрофессионалов будет скорее отрицательным. И это понятно: их представление о труде химика часто основано лишь на опасениях и тревожных предчувствиях очередного пожара, взрыва, выброса токсичных или отвратительно пахнущих веществ. Да и сама химическая лаборатория, в которой создаются молекулярные шедевры, представляется ими отнюдь не величественным храмом науки. Гёте в «Фаусте» изобразил средневековую лабораторию в виде мрачной комнаты, заполненной «громоздкими, нескладными приборами для фантастических целей». Классическим местом ужасов назвал лабораторию Кристиан фон Астер в очередном издании «Словаря ужасов». Этот словарь представляет собой некое подобие антологии художественного изображения ужасов. Ссылку на него мы нашли в научном эссе, опубликованном в *Angew. Chem. (Int. Ed., 2004, 1770)*. Как видно, за прошедшие после Гёте двести с лишним лет немного изменилось в бытующих представлениях о химиках и их ремесле.

Идея выбора самого красивого эксперимента в науке не нова. Недавно подобные конкурсы были проведены в биологии и физике. Вопрос, однако, в том, что именно мы понимаем под красотой эксперимента. Для большинства физиков и биологов эксперимент — процедура, позволяющая получить точный ответ на заданный естествоиспытателем вопрос об окружающем мире. Однако в химии

Идея выбора самого красивого эксперимента в науке не нова. Недавно подобные конкурсы были проведены в биологии и физике. Вопрос, однако, в том, что именно мы понимаем под красотой эксперимента. Для большинства физиков и биологов эксперимент — процедура, позволяющая получить точный ответ на заданный естествоиспытателем вопрос об окружающем мире. Однако в химии

это понятие имеет более широкий смысл. Наряду с классическим определением эксперимента как инструмента познания природы химики рассматривают его как процесс создания нового вещества или материала, ранее не существовавшего. По мнению лауреата Нобелевской премии Роалда Хоффмана, химики отличаются от любых других ученых тем, что собственноручно творят объекты, которые потом и изучают. Кстати, в точности то же самое делают писатели, художники и композиторы. Другой нобелевский лауреат, член Американской академии искусств и наук, физикохимик У.Н.Липскомб, признавался, что при решении непростых загадок химии боранов он использовал методы, более привычные для художника. Таким образом, не только изучаемый объект, но и сам творческий процесс его создания сближает химиков с деятелями искусства и отличает химию от любой другой лабораторной науки.

Приблизительно треть ученых-химиков занимается не экспериментальной проверкой различных теорий, а синтезом ранее не известных соединений. И поскольку процесс создания новых молекул похож на художественное творчество, органический или неорганический синтез как вид искусства имеет свою эстетику.

В конце 2002 года журнал «Chemical and Engineering News», издаваемый Американским химическим обществом, предложил своим читателям назвать самый красивый химический эксперимент в истории химической науки. Группа экспертов-химиков и историков науки рассмотрела все предложения читателей и составила список из 25 главных претендентов.

Три года спустя вышла книга известного английского популяризатора науки Филиппа Болла «Десять самых красивых экспериментов в химии». В ней автор назвал свою «великолепную» десятку и сопоставил ее со списком, предложенным Американским химическим обществом. Какие же эксперименты чаще всего ассоциируются у химиков Старого и Нового Света с понятием красоты и каким основным критериям они должны соответствовать, чтобы попасть в хит-парад «самых-самых»?

По мнению читателей «Chemical and Engineering News», самым красивым в истории химии следует признать разделение рацемической смеси (смеси оптических изомеров) двойной натриево-аммониевой соли виноградной кислоты. Знаменитый французский исследователь Л.Пастер в 1844 году обнаружил два вида кристаллов тартрата натрия-аммония и вручную с помощью пинцета разделил их. Итогом его монотонной и тщательной работы стала опубликованная четыре года спустя статья, в которой Пастер впервые показал, что растворы каждого типа кристаллов вращают плоскость поляризованного света с одинаковой по величине, но противоположной по знаку интенсивностью. Этот эксперимент отличает не только простота: он стал основой рождения стереохимии и в немалой степени способствовал развитию теории химического строения. Возможно, вовсе не случайно это открытие принадлежит именно Пастеру: будучи профессиональным художником-портретистом, он мог легко заметить незначительные элементы асимметрии, характерные как для лица человека, так и для формы кристалла.

Закрывает десятку избранных топ-экспериментов открытие радия. На первый взгляд трудно увидеть красоту в тяжелой, однообразной и скучной работе Марии и Пьера Кюри: из тонны руды, оставшейся после извлечения урана, им удалось получить всего 90 миллиграммов чистого хлорида радия RaCl_2 . Невольно вспоминаются строки В. Маяковского:

Поэзия —
та же добыча радия.
В грамм добыча,
в год труды.
Изводишь
единого слова ради
тысячи тонн
словесной руды.

Представьте себе супругов Кюри, которые перерабатывали в лаборатории-сараяе огромное количество горной породы и разглядывали в темноте таинственное свечение, исходящее из бутылей с раствором соли нового металла, не подозревая о вредности радиоактивного излучения. Чем не лаборатория ужасов? Однако эту мрачную картину рассеивают воспоминания Марии Склодовской-Кюри: «Особенно радовались мы, когда обнаружили, что все наши обогащенные радием продукты самопроизвольно светились. Пьер Кюри, мечтавший о том, чтобы они оказались красивого цвета, должен был признать, что эта неожиданная особенность доставила ему радость. Несмотря на тяжелые условия работы, мы чувствовали себя очень счастливыми».

Знакомясь с выбором американских химиков, невольно ловишь себя на мысли, что понятие «эксперимент» зачастую подменяется понятием «открытие». И, как следствие, красивый эксперимент нередко ассоциируется

ЭКСПОЗИЦИЯ

С 2005 года в Принстонском университете (США) проходит конкурс научных фотографий сотрудников университета. Представленные на нем работы дают неплохое представление о разнообразии и красоте экспериментов в различных областях науки. Мы отобрали несколько интересных фотографий. А остальные можно посмотреть по адресу: <http://www.princeton.edu/artofscience/gallery2006/>

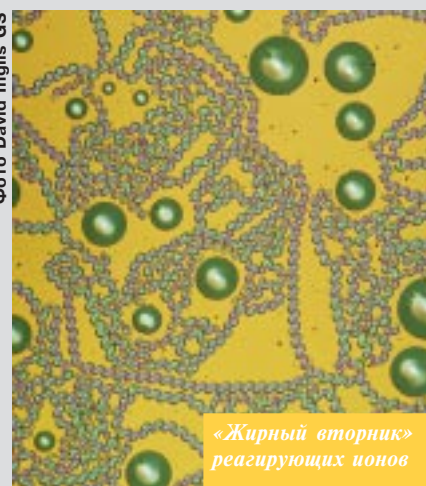
Фото Anton Darhuber, Benjamin Fischer и Sandra Troian



Движение

На поверхность кремниевой подложки налили тонкий слой воды и капнули немного масла. Благодаря изменению поверхности натяжения медленный процесс движения жидкости резко ускорился, породив каскад гидродинамической неустойчивости

Фото David Inglis GS



«Жирный вторник» реагирующих ионов

Непроизвольное повторное выпадение фоторезиста во время плазменного травления поверхности микросхемы ионами фтора и кислорода. Области желтого цвета — пленка нитрида кремния



с событием, ставшим заметной вехой в истории развития химической науки. Отсюда понятно, почему среди номинантов оказалось немало открытий химических элементов — щелочных и щелочно-земельных металлов, алюминия, кислорода, фосфора, аргона. Здесь же — реактив, синтезированный В.Гриньяром и названный впоследствии его именем, знаменитое превращение цианата аммония в мочевины, которое осуществил Ф.Велер на заре органической химии, и получение первого анилинового красителя У.Перкином. Безусловно, каждое из этих достижений заметно продвинуло вперед химическую науку.

Однако, на наш взгляд, открытие, каким бы выдающимся оно ни было, не всегда результат яркого эксперимента. Например, тот же искусственный краситель мовеин появился на свет лишь благодаря счастливой случайности. В 1856 году, когда представления о структуре органических соединений еще только зарождались, молодому Уильяму Перкину предложили получить хинин окислением смеси толуидина и аллилбромидов. Однако схема синтеза оказалась ошибочной, и вместо белых кристаллов хинина на дне колбы образовалась сильно пахнущая вязкая масса пурпурного цвета. Так удача улыбнулась Перкину-бизнесмену, который вскоре открыл производство первого анилинового красителя на радость французским модельерам. Сам же химический эксперимент Перкина такого восторга, увы, не вызывает.

Вслед за Филиппом Боллом мы полагаем, что ключевыми критериями красоты химического эксперимента следует считать элегантность, оригинальность и простоту решения зада-

чи, а также искусство экспериментатора, его настойчивость и упорство при достижении цели. Этим критериям в той или иной мере отвечают исследования Пастера и супругов Кюри. Еще более яркие шедевры искусства химического эксперимента можно найти в истории органического и неорганического синтеза.

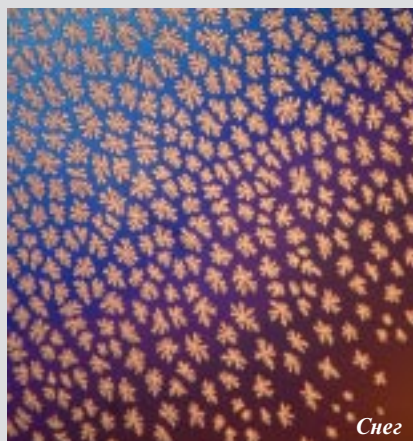
В последние десятилетия были разработаны новые методы, позволяющие получать сложные молекулы с высокой регио-, хемо-, диастерео- и энантиоселективностью. Впечатляет, например, синтез единственного (из 10^{19} возможных!) изомера чрезвычайно токсичного природного соединения палитоксина, молекула которого содержит 64 стереогенных центра.

Одним из величайших примеров классического органического синтеза по праву считается синтез витамина B_{12} , выполненный сотрудниками Роберта Вудворда и Альберта Эшенмозера. Этот поистине феноменальный проект, продолжавшийся более десяти лет, включал 72 стадии. Искусство, артистичность, удивительный сплав интуиции и точного расчета, отсутствие страха перед структурой молекулы, в возможность получения которой не верит никто, — таким был научный стиль Р. Вудворда. Его кол-

леги даже говорили, что он продал душу дьяволу за право стать гением органического синтеза. Дочь ученого вспоминала, что отец имел четкие представления о молекулярной красоте и получал огромное наслаждение от блестяще проведенных экспериментов. Не случайно искусственное получение витамина B_{12} до сих пор остается шедевром стратегии органического синтеза, сопоставимым по красоте с выдающейся шахматной партией великого гроссмейстера.

Синтез соединений инертных газов, которые по определению не должны были вступать в какие-либо реакции, признан красивым и в Старом и в Новом Свете. Его прелесть — в дерзком вызове взглядам, устоявшимся в химии середины прошлого века, и в простоте самого синтеза. Сначала сотрудник Колумбийского университета Нейл Барлетт обнаружил способность гексафторида платины взаимодействовать с кислородом. Эта реакция давала необычное ионное соединение, в котором молекула кислорода становилась положительным ионом. Обдумывая результаты, ученый предположил, что в этой реакции аналогично кислороду должен вести себя и ксенон. Эксперимент блестяще подтвердил догадку. Объединив в стек-

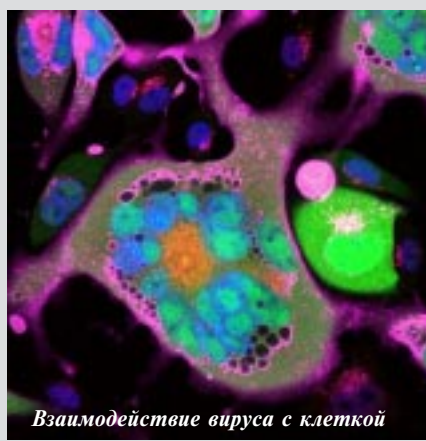
Фото Shufeng Bai GS



Снег

Если полимерную пленку нагреть выше температуры стеклования, а на поверхность наложить маску, то взаимодействие электростатических полей и поверхностного натяжения породит удивительные микроскопические фигуры

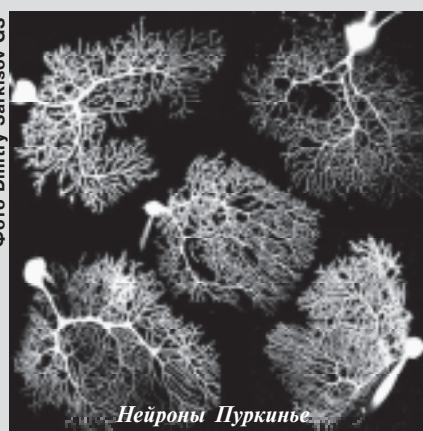
Фото Joerg Schroerer



Взаимодействие вируса с клеткой

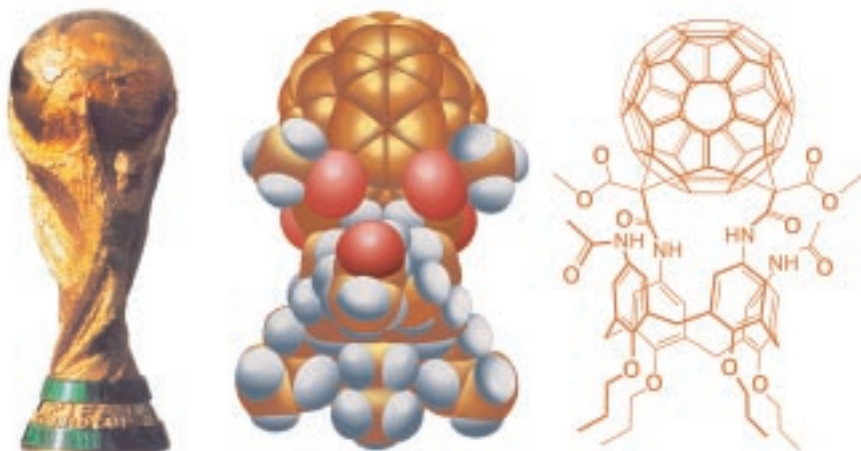
Мегаловирус порастил клетки человеческого эндотелия, и это видно благодаря тому, что флуоресцентный краситель выделил два вирусных белка красным и лиловым цветом. А синим покрашена ДНК клетки

Фото Dmitry Sarkisov GS



Нейроны Пуркинью

Нейроны Пуркинью расположены в мозжечке и обладают огромным числом входных связей, расположенных на дендритах, которые формируют запутанные древовидные структуры



Молекулярный двойник кубка чемпионата мира по футболу, построенный из молекулы каликсарена и фуллерена. Синтез этого шедевра был завершен за два дня до финального матча и посвящен французской команде — чемпиону мирового первенства 1998 года. (Воспроизведено с разрешения RSC из статьи Soi A., Hirsch A. The molecular world cup: synthesis of a fullerene-calix[4]arene conjugate containing two malonamide substituents within the upper rim // New Journal of Chemistry, 1998, № 22)

лянном сосуде при комнатной температуре газ Хе и темно-красные кристаллы PtF_6 , Барлетт получил первое соединение «инертного» газа. Этот синтез позволил преодолеть психологический барьер инертности благородных газов: оказалось, что они не так уж и инертны. Успешный эксперимент, осуществленный Барлеттом в 1962 году, открыл новую страницу химии элементов VIII группы и заставил химиков по-новому взглянуть на теорию химической связи.

В десятке избранных Боллом самых красивых экспериментов упомянуты еще два синтеза. Английский химик и физик Генри Кавендиш в 1781 году получил воду из водорода и кислорода, смешанных в объемном соотношении 2:1. Этот эксперимент не только разрушил представления о воде как о простом веществе (элементе), но и поразил точностью количественных определений. Другой восхитительный синтез принадлежит американскому биохимику Гарольду Ури и его аспиранту Стенли Миллеру (1953). Моделируя в своих знаменитых опытах атмосферу «безжизненной» Земли, они пропустили электрические разряды через нагретую смесь водорода, метана, аммиака и водяных паров. К их великой радости, через неделю в ре-

акционной смеси были обнаружены семь аминокислот, входящих в состав клеточных белков, в том числе глицин, аланин и аспарагиновая кислота. Удивительно простой эксперимент показал, как могли образоваться пребиотические органические молекулы.

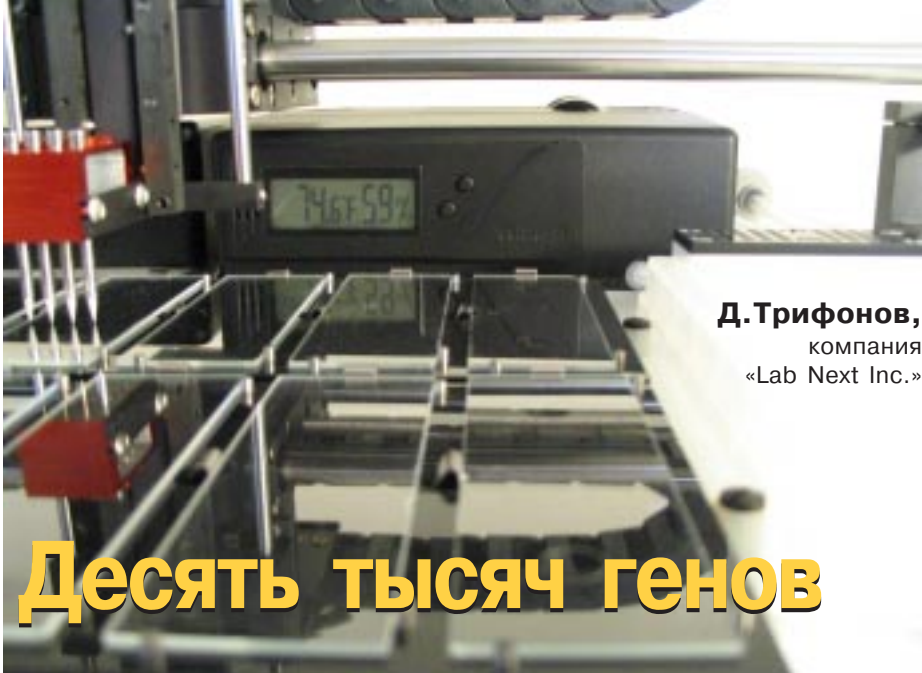
Наверное, каждый химик может рассказать о своем самом красивом эксперименте, выстраданном и доведенном до совершенства. По мнению Роланда Хоффмана, синтез элегантен не потому, что он такой на самом деле, а потому, что он получился после долгих неудач и провалов. Не случайно, говоря «красивый», мы нередко понимаем под этим «желанный». Сочетание мастерства ученого с научным ноу-хау рождает шедевры химического искусства. Например, открытие одного из самых мягких методов гидролиза сложных эфиров до свободных кислот доставило сотрудникам профессора Николау, мастера органического синтеза, несказанное наслаждение. Этот метод они использовали в дальнейшем для синтеза антибиотика тиострептона. Однако самой красивой авторы признали ключевую стадию синтеза этого антибиотика — хорошо известную реакцию гетероциклизации по Дильсу–Альдеру.

Неудивительно, что за более чем столетнюю историю химии-синтети-

ки многократно становились лауреатами Нобелевской премии. Пионером оказался Эмиль Фишер, синтезировавший сахара и пуриновые основания в 1902 году. А в 2005 году этой награды были удостоены француз И.Шовен и два американца, Р.Граббс и Р.Шрок, за вклад в развитие метода метатезиса в органическом синтезе. Греческое слово «метатезис», означающее «перестановка или изменение места», — это термин, широко применяемый в химии. Под реакцией метатезиса в широком смысле следует понимать протекающие с помощью катализаторов реакции, в ходе которых различные группы атомов занимают другие положения в молекуле. В пресс-релизе Королевской Шведской академии наук этот процесс сравнивается с танцем, в котором танцующая пара меняет партнеров (см. «Химию и жизнь», 2006, № 1). В сообщении академии наук подчеркивалось, что «лауреаты Нобелевской премии 2005 года по химии открыли фантастические возможности для создания многих новых молекул. Скоро воображение станет единственным пределом, ограничивающим синтез».

«Если бы природа не была красива, она не стоила бы того, чтобы ее познавать». Это высказывание знаменитого математика Анри Пуанкаре мы готовы дополнить следующим утверждением: если бы химики не ощущали прелести поставленной цели и безудержно не стремились овладеть ею, то многие открытия, так изменившие наш мир, возможно, не были бы совершены. Многие известные химики относятся к любимой ими науке как к искусству. Наверное, именно поэтому, по словам немецкого химика Кретса, «химия была и остается для своих поклонников роковой женщиной, при этом нередко губительной, но неизменно манящей волнующими тайнами. Прекрасной госпожой, от которой трудно уйти, даже если это и было бы разумным!».





Д. Трифонов,
компания
«Lab Next Inc.»



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Биочип не для внутреннего применения

Для одновременного определения уровня экспрессии множества генов примерно двадцать лет назад были разработаны миниатюрные устройства нового типа. Специалисты используют для их обозначения два термина: «биочип» и «микроэррей» (транслитерация английских слов «biochip» и «microarray»). В России в основном применяют первое название. Его я и буду применять, хотя в англоязычной литературе преобладает второе.

Слово «биочип» знакомо и людям, не занимающимся молекулярной биологией, но связанный с ним образ навеян техническими разработками совсем в другой области или вообще научной фантастикой. Чаще всего биочип ассоциируется с миниатюрным устройством, которое встраивают в тело человека, чтобы изучать его либо воздействовать на какие-то физиологические процессы. Те биочипы, о которых пойдет речь, в организм не вживляются и никоим образом не рассчитаны на непосредственный контакт с ним.

Биочипы возникли не на пустом месте. Они появились в результате слияния методов из разных областей науки и техники. В их основе лежит реакция гибридизации, которая на протяжении десятилетий используется для различных целей, в основном для идентификации фрагментов ДНК и РНК, а также для картирования фрагментов ДНК (определения их места на хромосоме).

Одну из разновидностей реакции гибридизации предложил в 1975 году английский биолог Эдвин Саузерн из Эдинбургского университета, и его метод получил название саузерн-блоттинг, или реакция Саузерна — о ней речь пойдет дальше.

Для изготовления биочипов применяются устройства, похожие на плоттеры для рисования чертежей, а для анализа результатов — оптические сканеры, похожие на те, что используют для сканирования бумажных документов или фотографий. Надо ли говорить, что подобное оборудование, хоть оно и появилось сравнительно недавно, никак нельзя считать экз-

Десять тысяч генов на пятачке

Гены, задающие программу развития любого организма, — это фрагменты молекулы ДНК. С них синтезируются матричные РНК (мРНК), или информационные РНК (иРНК), с которых, в свою очередь, — белки. Процесс перезаписи информации с генов на белок называется экспрессией генов. Он регулируется работой других генов и сигналами, приходящими в клетку извне, и благодаря такой регуляции с одного и того же гена может считываться больше или меньше белка, а иногда — разные белки.

Определив структуру всех генов организма, набор и количество его белков, способы регуляции их количества в зависимости от внешних условий, мы узнаем об организме очень многое.

Изменения структуры генов называются мутациями и нередко приводят к тяжелым последствиям. Так, ген под названием MYH7 отвечает за построение белка, обеспечивающего сокращение сердечной мышцы. Его мутации приводят к возникновению кардиомиопатии — заболевания, которое может вызывать неожиданные сердечные приступы у людей всех возрастов, без всяких предварительных симптомов. Раннее выявление мутаций в этом гене позволило бы предотвратить множество несчастных случаев, однако сейчас такая диагностика стоит слишком дорого, чтобы ее можно было использовать для всеобщего обследования населения.

Информация об изменениях экспрессии генов в организмах нужна в разных областях фундаментальной науки, медицины, фармацевтики, сельского хозяйства, биотехнологии. Но ее невозможно получить без метода, по-

могающего определить уровень экспрессии: с какой скоростью и в каком количестве синтезируется белок. Задача усложняется тем, что все процессы в организме определяются работой не одного, а многих генов — нескольких десятков, сотен или даже тысяч, экспрессирующихся одновременно или в определенной последовательности. Определять уровень их экспрессии немыслимо без прибора, умеющего делать это автоматически, ведь вручную трудно или невозможно провести столько измерений. Нужно еще учесть, что количество биологического материала для подобных экспериментов нередко весьма невелико. Если прибор не сможет работать с исключительно малыми объемами проб, он не найдет широкого применения.

Точно судить об уровне экспрессии следует по количеству белка, кодируемого данным геном. Однако этот показатель не всегда удается измерить, поскольку некоторых белков синтезируется крайне мало, а кроме того, не всегда известно, какой белок какому гену соответствует.

Поэтому о степени экспрессии гена судят косвенно, по количеству образующей с него мРНК — оно в целом отражает активность гена. Измерить количество информационных РНК тоже непросто. Сначала эти молекулы выделяют из клеток, затем с ними проводят реакцию обратной транскрипции. В ней образуются фрагменты ДНК с такой же последовательностью нуклеотидов, что и гены, с которых были синтезированы определяемые мРНК. Количество этих фрагментов ДНК пропорционально количеству исходных молекул мРНК.

тическим. Удачная компоновка этих элементов и несколько специализированных технических решений привели к появлению биочипов. Наша статья посвящена биочипам для работы с нуклеиновыми кислотами, но подобные устройства разработаны и для анализа белков.

Гибриды на подложке

Для идентификации генов — фрагментов ДНК — используются свойства этой молекулярной структуры. Во-первых, ДНК — это полимер, состоящий из нуклеотидов четырех типов: аденина, гуанина, тимина и цитозина (А, Г, Т и Ц). Во-вторых, нуклеотиды последовательно связаны друг с другом, образуя длинные нитевидные молекулы. Структура таких молекул записывается в виде последовательности букв — символов нуклеотидов, например АГТЦАТГЦЦАГ. Часто фрагменты ДНК называют просто последовательностями. В генах важен порядок расположения нуклеотидов — это и есть тот код, которым записана программа развития и строение организма.

Последовательность нуклеотидов в ДНК определяет другую последовательную структуру — белок, состоящий из аминокислот. Ген — это последовательность нуклеотидов в цепи ДНК, которая несет информацию для построения того или иного белка. Задача идентификации гена сводится к нахождению определенной последовательности нуклеотидов. Для этого используется еще одно важное свойство ДНК: она состоит из двух цепочек, соединенных между собой по всей длине. Образовав цепь, нуклеотиды сохраняют возможность устанавливать водородные связи с нуклеотидами из другой цепи. При этом А может связаться только с Т, а Ц — с Г, так что образуются пары А-Т и Ц-Г (их называют комплементарными). Фрагмент ДНК может быть, например, таким:

АГТЦАТГЦЦАГ
ТЦАГТАЦГГТЦ

При определенных условиях две цепи ДНК можно разделить. Для этого достаточно нагреть раствор с ДНК до некоторой температуры, после чего водородные связи между половинками распадутся и в растворе окажутся одноцепочечные фрагменты. Этот процесс называется денатурацией. Он обратим. При понижении температуры цепи вновь соединяются, причем в строгом соответствии с правилами образования комплементарных пар. Одноцепочечные фрагменты ДНК находят свои ответные (комплементарные) последовательности и связываются только с ними. К примеру, последовательность АГТЦ не сможет со-

единиться с последовательностью ГГТЦ, она будет искать свою ответную часть, ТЦАГ, и, найдя ее, образует структуру

АГТЦ
ТЦАГ

Так произойдет со всеми соответствующими последовательностями независимо от их длины. Фрагменты ДНК, не нашедшие ответных последовательностей, останутся в одноцепочечном состоянии. Процесс связывания двух одноцепочечных фрагментов ДНК вследствие нахождения комплементарных пар нуклеотидов называется гибридизацией. На этом эффекте и основана детекция фрагментов ДНК в биочипах и некоторых других методах. (См. статью С.Н.Щербо «Краски и золото гибридизации» в № 11 «Химии и жизни» за 1997 год.)

Связывание цепочек может произойти и при неполном совпадении, но прочность такого соединения существенно меньше, чем при полном совпадении. Этот эффект называется неспецифическим связыванием, и с ним борются различными способами.

А как можно обнаружить интересный нас ген в пробе, приготовленной из клеток исследуемого организма, где содержатся тысячи разнообразных последовательностей ДНК? Для этого следует закрепить на жесткой поверхности какой-либо подложки фрагменты искомого гена, достаточно длинные, чтобы избежать случайного связывания. Потом нужно поместить подложку в раствор, содержащий множество неизвестных нам фрагментов ДНК, и создать условия для их денатурации (рис. 1а). На подложке и в растворе цепочки разделяются и смогут связаться с другими, комплементарными им цепочками. Поскольку молекулы пробы подвижны, те из них, которые найдут свою ответную часть, свяжутся с ней и останутся прикрепленными к подложке (рис. 1б). А раствор с пробой

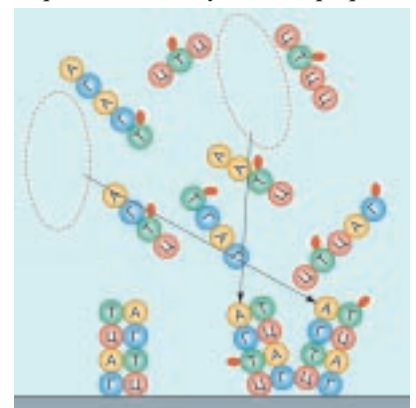
после этого удаляют вместе со всеми несвязавшимися фрагментами.

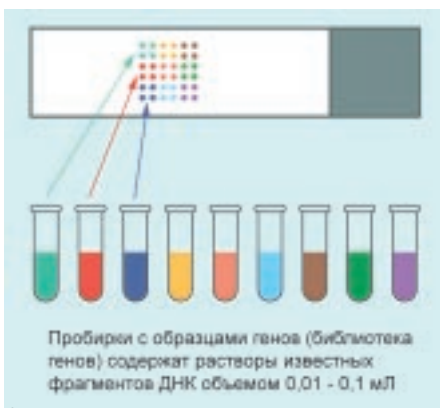
Как же заметить, что часть фрагментов ДНК из пробы нашла пары и осталась на подложке? Для этого во время обратной транскрипции (синтеза фрагментов ДНК, соответствующих мРНК клетки) в ДНК включаются нуклеотиды, меченные маркерами — молекулами, которые либо излучают свет, либо окрашены. Маркер остается на подложке, если помеченный им фрагмент связывается с ответным фрагментом ДНК. Остается только измерить, подают ли маркеры сигнал и насколько он интенсивен. Попросту говоря, зона подложки, на которой присутствуют молекулы из пробы, либо начинает светиться в том или ином диапазоне, либо приобретает определенный цвет. Для детекции создано множество устройств, от фотопленок до современных ПЗС (приборов с зарядовой связью).

Подобный эксперимент дает ответ на два вопроса: во-первых, есть ли в исследуемой пробе фрагмент ДНК, идентичный закрепленному на подложке, и, во-вторых, много ли его там. Серия таких экспериментов покажет, в каких случаях данного фрагмента ДНК в организме больше, в каких меньше. Количественная оценка содержания определенных фрагментов ДНК, как уже было сказано, позволяет судить о степени экспрессии соответствующего гена в организме.

Даже это упрощенное описание показывает, насколько такое измерение трудоемко. У биолога оно займет не менее двух дней. А ведь эксперимент нужно повторять, чтобы обеспечить необходимую точность! При такой производительности трудно в разумные сроки проанализировать экспрессию более чем дюжины генов. Есть, конечно, способы увеличить скорость измерений. Уже упоминавшийся Саузерн-блоттинг очень похож на только что описанный эксперимент и

1
Схема эксперимента по детекции в пробе определенного гена:
а — состояние до гибридизации. Молекулы ДНК находятся в денатурированном состоянии и способны связываться со своими ответными частями;
б — в результате гибридизации часть помеченных молекул из пробы перешла на поверхность подложки. Их наличие можно определить по излучению маркеров





Пробирки с образцами генов (библиотека генов) содержат растворы известных фрагментов ДНК объемом 0,01 - 0,1 мЛ

2 Схема формирования биочипа



3 Фотография биочипа. На стеклянной подложке видны прямоугольные зоны, состоящие из тысяч микроскопических точек. Каждая точка — это место, где на подложке расположены фрагменты ДНК, соответствующие определенному гену

несколько более производительен. Так или иначе, все эти способы дают выигрыш в скорости в разы, а нужно ускориться в сотни и тысячи раз, особенно если речь идет о медицине. Только тогда можно будет за день-два провести анализ экспрессии сотен или тысячи генов, да еще и не один раз проверить результаты.

Когорты микропроб

Для ускорения анализа на подложке размещают не один, а сразу сотни или тысячи известных генов. Располагают их в определенном порядке, чтобы впоследствии по положению метки можно было определить, какой ген «попался». Обычно ДНК наносят на подложку в виде небольших точек, расположенных в форме прямоугольной сетки. Отсюда и произошло название «эррей» — массив, матрица, а слово «микро» отражает миниатюрность всей конструкции. Размер точек, содержащих тот или иной ген, измеряется десятными долями миллиметра, такого же порядка и расстояния между ними. При высокой плотности нанесения на одном квадратном сантиметре можно расположить несколько тысяч образцов различных генов. Размеры подложек составляют несколько квадратных сантиметров, чаще всего используются микроскопные стекла 25 x 75 мм. Их покрывают специальным составом, с которым ДНК может химически связаться. Биочип — это и есть небольших размеров подложка, на которую в строгом порядке нанесены образ-

цы различных фрагментов ДНК. К каждому биочипу прилагается аннотация — документ с информацией о том, какой ген в какой ячейке находится. Без нее биочип бесполезен.

Слово «микроэррей» в большей степени отражает суть предмета, его синоним в данном контексте — «биочип» — произошел, скорее всего, из-за аналогии с электронными чипами. И там и здесь на поверхности подложки формируется микроскопическая структура, в одном случае из атомов кремния, в другом из отрезков молекул ДНК. В обоих случаях эту операцию невозможно выполнить вручную.

При изготовлении биочипов специальный робот переносит растворы образцов ДНК из пробирок, где они хранятся, на подложки (рис. 4 и на стр.13). Инструменты, похожие на иглы, наносят на поверхность капельки объемом всего в несколько нанолитров. Они высыхают, и молекулы ДНК связываются с веществом, покрывающим поверхность подложки. Одновременно программа, управляющая роботом, создает файл аннотации, содержащий координаты всех находящихся на биочипе генов.

Описанный выше метод нанесения образцов называется контактным. Ту же процедуру можно выполнять и с помощью прибора, напоминающего струйный принтер. Принтер обстреливает бумагу микроскопическими каплями краски, а при изготовлении биочипа наносит капли раствора ДНК (это бесконтактная печать).

Метод, применяемый компанией «Affymetrix», основан на технологии фотолитографии, которую используют для производства многослойных печатных плат электронных устройств. Подложку биочипа покрывают слоем раствора одного гена, а затем слоем фоторезиста (материала, меняющего свойства при освещении, обычно ультрафиолетом). Затем фоторезист засвечивается и становится растворимым везде, кроме маленького участка

4 Робот для изготовления биочипов — микроэррейер



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

5 Биочип компании «Affymetrix», содержащий треть человеческого генома. Стеклянная подложка с точками ДНК (черный квадрат) закреплена в пластмассовой кассете

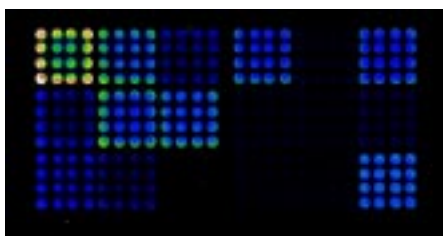


поверхности — точки, где ген останется на чипе. Все остальное смывается. Потом поверхность покрывается слоем раствора другого гена и еще раз слоем фоторезиста. Этот слой защищает другую точку на биочипе. И так много тысяч раз. Таким образом на поверхности под слоем фоторезиста закрепляются в разных точках разные гены. После этого уже весь фоторезист засвечивается и смывается, а точки с генами остаются открытыми для гибридизации.

Эта технология позволяет создавать биочипы самой большой плотности, где на одной подложке расположены десятки тысяч генов. На таком чипе можно разместить все гены большинства организмов и соответственно исследовать их экспрессию в одном эксперименте (рис. 5). Человеческий геном (набор всех генов человеческого

организма) помещается всего на трех подобных чипах.

Биочип, с которым проведена гибридизация, выглядит как массив микроскопических светящихся точек. Светятся они или нет, не увидишь невооруженным глазом, и для детекции применяются специальные сканеры. Они похожи на сканеры для бумаги или фотопленки, но отличаются спектральным диапазоном и чувствительностью. Сканер выдает изображение поверхности биочипа — цифровую фотографию, на которой видны светящиеся точки, соответствующие различным генам. Светимость точек пропорциональна уровню экспрессии генов (рис. 6).



6
Сильно увеличенное изображение фрагмента поверхности биочипа, полученное с помощью сканера. В реальности диаметр каждой точки около 0,2 мм

Существуют программы обработки изображений, которые измеряют яркость каждой точки на поверхности биочипа и соотносят ее с геном, который в этой точке находится. Они выдают список, в котором каждому названию гена соответствует светимость точки на биочипе. Поскольку применение биочипа позволяет получить данные об уровне экспрессии множества генов организма, вплоть до всего генома, совокупность таких данных называют профилем экспрессии.

Дифференциальный эксперимент

Описанная выше техника гибридизации предполагает получение изображения биочипа при одной длине волны, то есть монохромное. Однако есть маркеры, излучающие при различных длинах волн, и сканеры, способные детектировать сигнал в узкой полосе, соответствующей цвету того или иного маркера. Использование разноцветных маркеров позволяет многократно увеличить чувствительность метода. Наиболее часто используются флуоресцентные маркеры Су3 («сай 5») и Су5 («сай 3»). Это сложные цианиды, которые прикреплены к нуклеотиду и излучают свет в зеленом и красном диапазонах волн. С двумя маркерами можно приготовить две различные

пробы и пометить молекулы ДНК в каждой из них своим цветом.

Этот метод целесообразно применять, изучая воздействие лекарственного препарата на организм. Одну пробу приготавливают из клеток, обработанных лекарственным препаратом, а другую — из клеток, не прошедших обработку. Обе пробы, меченные маркерами различных цветов, смешивают и наносят на поверхность биочипа. Молекулы ДНК, несущие различные маркеры, способны связаться со своими ответными частями на поверхности биочипа (это называется конкурентной гибридизацией). В результате на поверхности биочипа останутся молекулы ДНК, пришедшие из различных проб и помеченные как зеленым маркером, так и красным. Точки биочипа, в которых расположены различные гены, начнут светиться одновременно двумя цветами, причем соотношение интенсивности красного и зеленого цвета будет соответствовать соотношению количества молекул ДНК, пришедших из одной и другой пробы. Оно, в свою очередь, пропорционально уровню экспрессии генов в клетках до и после обработки лекарственным препаратом (рис. 7).

Изображение поверхности биочипа, гибридизованного с пробами различных цветов, делается в многоканальном сканере, где каждый канал детекции настроен на длину волны соответствующего маркера. Точки, интенсивность свечения которых в красном и зеленом цвете одинакова, соответствуют генам, уровень экспрессии которых не изменился от воздействия лекарственного препарата. Если же уровень экспрессии изменился, то интенсивность свечения в красном и зеленом диапазоне у точки различна.

Всего один эксперимент подобного рода позволяет определить, какие гены и какие процессы в организме были подавлены или, наоборот, индуцированы лекарственным препаратом. На основании этих данных можно судить и о нежелательных побочных эффектах лекарства. Точно так же можно сравнить уровень экспрессии генов в здоровом организме и при болезни, а тем самым определить перечень генов, влияющих на появление и развитие данного заболевания.

Простой биочип можно проанализировать на глазок, для более сложных применяются инструментальные средства и программы, которые предоставляют численные данные о дифференциальной экспрессии генов в изучаемом организме, а также о достоверности этих данных.

Таким образом, биочипы позволяют сравнить в одном эксперименте уровень экспрессии множества генов при

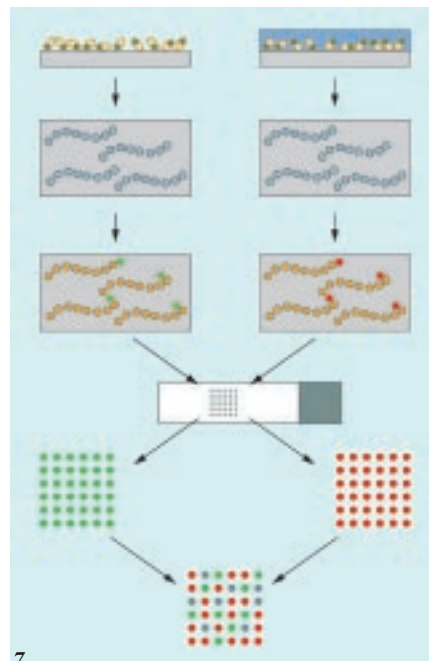
различных условиях и служат исключительно эффективным средством генетического анализа.

Биочипы и функции генов

Выше утверждалось, что уровень экспрессии генов так или иначе связан с определенными процессами в организме. Для практического применения этих знаний необходима информация о том, какой ген за какой процесс отвечает. Несмотря на то что для некоторых организмов, в том числе и для человека, выявлены нуклеотидные последовательности всех генов, о роли этих генов известно сравнительно немного. Определение задачи каждого гена в организме — функциональный анализ — одно из важнейших направлений генетики.

Функции генов, участвующих в развитии заболеваний, как уже говорилось, определяют сравнением профилей экспрессии здорового и больного организма. Гены, отвечающие за реакцию организма на химическое или физическое воздействие — лекарство, радиацию, недостаток кислорода, присутствие в воздухе вредных веществ, — исследуют, сравнивая профили экспрессии до и после воздействия. Даже влияние времени на организм можно изучать с помощью биочипов. Сравнение профиля экспрессии генов в одних и тех же клетках в разные моменты времени позволит изучать функцию генов, отвечающих за развитие и старение организма.

Функциональный анализ производят с помощью исследовательских биочипов, которые отличаются большим на-



7
Схема дифференциального эксперимента с биочипом

бором генов (тысяч или десятков тысяч). Основная задача при дизайне такого биочипа — охватить как можно более широкий спектр генов в одном эксперименте.

С помощью функционального анализа можно выявить гены организма, которые определяют развитие заболевания или его форму, иными словами — профиль экспрессии, соответствующий той или иной болезни. С ним можно сравнить профиль экспрессии пациента, чтобы поставить диагноз. Такая процедура проводится с помощью диагностического биочипа. Обычно подобные биочипы содержат «все-го» несколько десятков генов, но состоят из нескольких тысяч точек. Гены наносят на биочип с многократными повторениями для проверки результатов. Основная задача в этой ситуации — получить максимально достоверные данные.

Применение биочипов может оказаться очень полезным в диагностике раковых заболеваний. Известно множество форм рака, и каждая требует специфического лечения. Следует заметить, что один из распространенных методов лечения рака, химиотерапия, сопряжен с серьезными побочными эффектами. Исследуя, как гены в клетках пациента реагируют на воздействие веществ, выбранных для химиотерапии, можно до начала лечебных процедур судить об эффективности предложенного курса лечения, а также о тяжести побочных эффектов.

Пригодится применение ДНК биочипов и в диагностике вирусных инфекций. Вирус использует молекулярные механизмы чужого организма для построения своих белков. Существует период, когда клетки уже заражены, но еще не начали синтезировать белки вируса. В это время вирус нельзя обнаружить традиционными методами, но можно найти его ДНК и тем самым подтвердить, что заражение произошло. Биочипы — едва ли не самый перспективный метод для обнаружения вирусной инфекции, поскольку вирусы быстро мутируют, а этот способ позволяет одновременно разыскивать множество разных вариантов вируса, в идеале — все известные и даже прогнозируемые.

Использование биочипов не ограничивается приведенными примерами. Биочипы широко применяются для исследования лекарственных свойств химических соединений. Они принесут много пользы в фармакогеномике, цель которой — подбор медикаментов для конкретного человека с учетом его генетических особенностей.

В России сейчас производятся биочипы для детекции модифицированных, искусственно измененных генов

в продуктах питания, для исследования мутаций ВИЧ, без знания которых невозможно диагностировать эту опасную инфекцию, для определения штаммов туберкулезных бактерий.

Биоинформатика

Эксперимент с биочипом дает огромный объем численных данных. Для каждого гена на биочипе — это минимум два числа, соответствующих уровню экспрессии этого гена в различных условиях. Эти числа сопровождаются служебными данными, которые описывают условия и качество эксперимента, то есть отношение сигнал/шум в каждой точке, количество точек за пределами динамического диапазона сканера и другие. Подобные сведения позволяют судить о достоверности данных. Кроме того, на чипы наносят контрольные гены, например на человеческий чип — бактериальные, которые не должны давать гибридизацию. Если гибридизация с ними происходит, значит, слишком высоко неспецифическое связывание — эксперимент не удался. Это негативные контроли. Есть и позитивные, когда на чип наносят некоторые фрагменты ДНК и в пробу специально добавляют их ответные пары. Существует еще много-много других контролей. Дизайн биочипа — это обширная и не очень простая задача.

Общий объем данных для каждой точки биочипа — около дюжины чисел, а для всего биочипа — десятки тысяч. Обработка такого количества информации требует автоматизации. Здесь важно, что поведение одного гена зависит от поведения множества других, а сопоставление данных по экспрессии большой группы генов — сложная вычислительная задача.

Кроме того, часть полученной информации может не представлять интереса в рамках какого-то одного исследования, однако быть очень важной для другого. Обмен и совместная обработка данных, полученных с разных биочипов разными учеными, дает возможность проводить биологические и медицинские исследования, не ставя новые эксперименты, а лишь используя уже полученные результа-

ты. Это возможно при организации общественного доступа к хранилищам данных, куда одни исследователи могли бы вносить результаты, полученные при использовании биочипов, а другие черпать эту информацию для вычислительных экспериментов. В настоящее время ведется несколько проектов, направленных на создание общедоступных хранилищ подобных данных, и существует стандарт, которому должны соответствовать сведения, вносимые в такие хранилища. Стандарт обозначается аббревиатурой MIAME — от слов «Minimum Information About a Microarray Experiment» (минимальная информация об эксперименте с биочипом).

Вопросами хранения, доступа и обработки массивов данных, полученных при использовании биочипов и других технологий, занимается биоинформатика — направление, которое привнесит в биологию вычислительные методы исследований.

История биочипов

Первые публикации, в которых упоминаются биочипы как миниатюрные устройства, состоящие из многочисленных биологических элементов, относятся к середине 80-х годов прошлого века. Две приведенные ниже ссылки указывают на примеры подобных публикаций. Р.Хаддон и А.Ламола в 1985 году писали о молекулярных электронных устройствах и компьютерах на биочипах («PNAS USA», т.82, № 7), а Ф.Хонг в 1986 году сравнивал молекулы белка бактериородопсина в мембране фотосинтезирующих галобактерий с элементами молекулярного компьютера («Biosystems», т.19, № 3). В этих статьях биочип рассматривается как устройство, в котором с помощью электрохимических процессов изучаются свойства биологических образцов. В первой из указанных статей обсуждается применение фотолитографии для иммобилизации биологических молекул на подложке.

По всей видимости, первая в мире статья о ДНК-биочипах вышла 9 октября 1989 года в журнале «FEBS Letters». Она описывала технологию гибридиза-





ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

8

Изображение биочипа, прошедшего гибридизацию с пробями, помеченными метками зеленого и красного цвета. Серые точки соответствуют генам, уровень экспрессии которых не изменился, цветные — генам, экспрессия которых возросла (красные) или уменьшилась (зеленые) после воздействия лекарственного препарата

ции меченой пробы с фрагментами ДНК на поверхности биочипа и принадлежала А.Д.Мирзабекову и его соавторам. Эта группа разрабатывала олигонуклеотидные биочипы с гелевой подложкой, заключавшей в себе образцы ДНК. Мирзабеков хотел создать новый метод определения последовательности нуклеотидов в ДНК, но потом переключился на более простые приложения (в частности, на детекцию патогенных бактерий). Его последователи в Институте молекулярной биологии им. В.А.Энгельгардта и в настоящее время ведут работу над совершенствованием технологии и ее практическими приложениями.

Метод дифференциального эксперимента с пробями, помеченными двумя различными флюоресцентными маркерами, впервые описан в статье профессора Стэнфордского университета Патрика Брауна и соавторов в журнале «Science» за октябрь 1995 года (№ 5235). Многие считают эту статью отправной точкой в экспериментах по количественному измерению профиля экспрессии множества генов, а профессора Брауна — родоначальником технологии ДНК-биочипов.

Биочипы сегодня

Технология биочипов нова, ей немногим более десяти лет. Стандарты еще не выработались, и, хотя производство

биочипов автоматизировано, работа с ними требует немало ручного труда. Здесь уместна аналогия с фотографией в большей части XX века. Тогда производили весьма совершенные камеры, серийно выпускали фотоматериалы (пусть и не столь «быстрые», как сейчас), но получение отпечатков требовало длительной работы в темной комнате с красным фонарем и известной доли сноровки. Книга знаменитого фотографа Анселя Адамса «Примеры», в которой автор рассказывает историю создания ряда своих работ, свидетельствует о том, что фотографа той поры технологические вопросы проявления, обработки пленки и печати снимков заботили значительно больше, чем наших современников. Это не помешало Анселю Адамсу создать замечательные произведения фотоискусства, но было препятствием на пути массового применения фотографии. Проблема была решена введением стандартов фотоматериалов и разработкой автоматизированных станций по проявлению пленки и печати снимков. Фотография стала доступной каждому. Нечто подобное сейчас происходит с биочипами. Несмотря на очевидную эффективность метода, получение результатов требует существенных затрат, ручного труда и специальных навыков.

Экономически рынок биочипов и оборудования, связанного с ними, можно назвать нишевым в сравнении с технологиями массового применения, но есть вероятность, что в течение ближайшего десятилетия технологические проблемы будут преодолены и биочипы получат такое же широкое распространение, как, например, современные электронные устройства. Как изменится при этом сама технология, как эволюционирует в результате наш мир, предсказать трудно.

Автор выражает благодарность своим коллегам: доктору Ирине Григорян, Владимиру Новичкову и Денису Казнадзею за участие в подготовке материалов этой статьи.

В статье использованы изображения биочипов и оборудования для их изготовления, предоставленные компанией "Lab Next Inc".

Что еще можно почитать о биочипах

И.Григорян, В.Макеев «Биочипы как пример индустриальной биологии» <http://offline.computerra.ru/2001/413/12805/>.

«Biomediale. Современное общество и геномная культура». Сост. и общ. ред. Д.Булатов. Калининград: КФ ГЦСИ, ФГУИПП «Янтарный сказ», 2004.

Нанотрубки

Начнем с самого красивого — с картинок. На рис. 1 показаны построенные с помощью программы гидрированная (слева) и фторированная (справа) А-нанотрубки, на рис. 2 — гидрированная (слева) и фторированная (справа) Z-нанотрубки (А — от armchair, Z — от zigzag — трубки разной хиральности, полученные из листа, свернутого под разными углами, — «Химия и жизнь», 2004, № 6, с. 22).

Углеродные скелеты гидрированных и фторированных нанотрубок состоят из насыщенных атомов углерода. Сравнение расположения атомов водорода (слева) и фтора (справа) в гидрированной и фторированной нанотрубках обнаруживает целый ряд различий. В гидрированных нанотрубках взаимное отталкивание атомов водорода не столь велико (вандерваальсов радиус водорода 1,1 Å, расстояние между ближайшими атомами водорода 2,44 Å превышает удвоенный вандерваальсов радиус водорода), поэтому атомы H, как и атомы углерода, располагаются вдоль «параллелей» на поверхности нанотрубки. Связи С—Н направлены перпендикулярно оси нанотрубки и образуют заслоненные конформации, тем самым гидрированная, как и исходная, нанотрубка сохраняет ось симметрии.

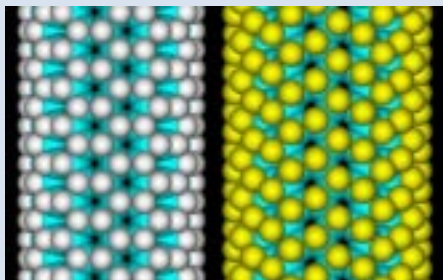
Иное дело — атомы фтора (их вандерваальсов радиус равен 1,35 Å) во фторированной нанотрубке. Они не могут расположиться, подобно атомам водорода, вдоль параллелей и образуют более сложную сетку, соседние ряды которой, как правило, смещены друг относительно друга и находятся в заторможенной конформации. Это частично ослабляет взаимное отталкивание соседних атомов фтора, но создает напряжения валентных углов: связи С—F направлены уже не перпендикулярно, а под углом 79° к оси нанотрубки. В результате ее симметрия оказывается сниженной, а валентные углы С—С—F варьируют в пределах 87–105° вместо 109–111° в перфторуглеводородах с раскрытой цепью и ~102° в перфторфуллерене C₆₀F₆₀. Фторированные нанотрубки уже получены и стали предметом исследования ученых.

В особых условиях нанотрубки удерживают некоторое количество

гидрированные и фторированные



ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

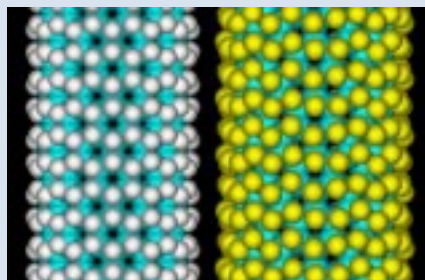


1
Гидрированная (1) и фторированная (2) А-нанотрубки

водорода, который при нагревании легко и обратимо отщепляется. На этом основан один из проектов использования нанотрубок в качестве аккумуляторов водорода. Не исключено, что и фторированные нанотрубки смогут найти полезное применение, например в качестве источников активного фтора.

Теперь немного о том, как получить эту красоту в реальной, а не виртуальной среде.

Для гидрирования фуллеренов применяют литий в жидком аммиаке в присутствии третичного бутилового спирта (реакция Берча—Хюккеля), переносчики водорода (9,10-дигидроантрацен, металлогидриды) или радикалы водорода в присутствии промоторов (иодэтан), а также классическое гидрирование на рутениевом катализаторе (температура выше 350°C, давление от 70 атм). В сходных условиях удастся прогидриро-

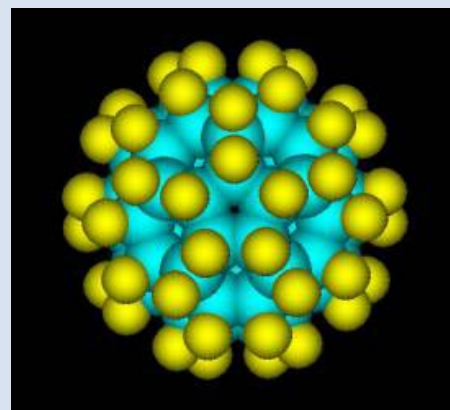


2
Гидрированная (1) и фторированная (2) Z-нанотрубки

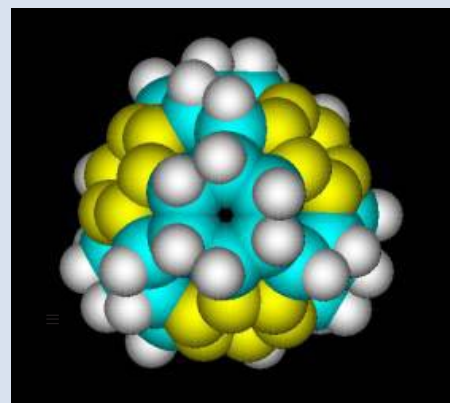
вать и нанотрубки. Фторирование достигается действием дифторида ксенона, фтора при температуре до 300°C или в электрической дуге. Содержание фтора во фторированных нанотрубках удается довести до 65%. Можно попробовать провести полимеризацию дифтороацетилена $F-C\equiv C-F$ на поверхности обычной нанотрубки.

В отличие от ароматических нанотрубок — порошков черного цвета, их гидрированные и фторированные родственники будут, подобно полиэтилену и тefлону, белоснежными.

В фуллеренах ситуация со фторированием такова. В перфторфуллерене $C_{60}F_{60}$ все атомы фтора находятся в заслоненной конформации и сильно мешают друг другу, поэтому вещество с такими молекулами (температура плавления 275°C) должно постепенно разлагаться с разрушением углеродного скелета.



3
Перфторфуллерен $C_{60}F_{60}$

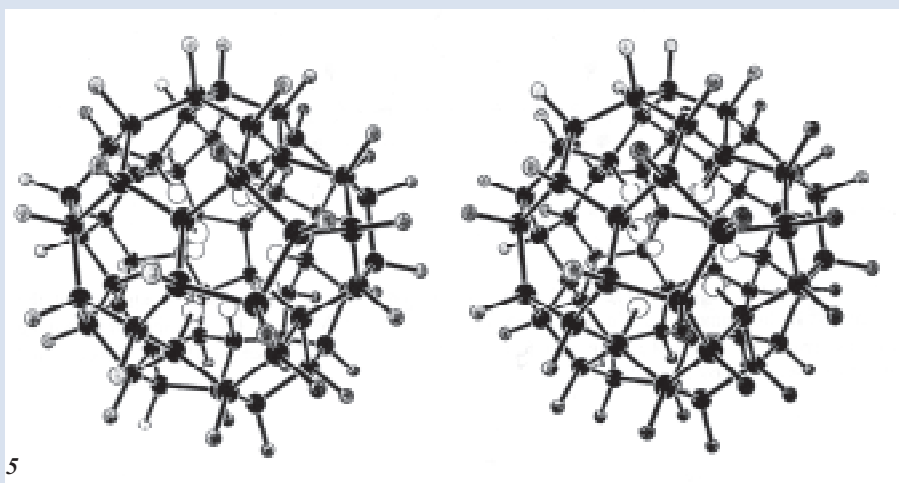


4
Гексатриаконтагидрофуллерен $C_{60}H_{36}$ (подробно о нем рассказано в № 11 нашего журнала за 2005 год)

Впрочем, присоединить 60 атомов водорода к молекуле фуллерена не удалось пока никому. Максимум, чего удалось достичь, — 36 атомов. Остающиеся негидрированными 24 атома углерода образуют четыре ароматических кольца, центры которых расположены в вершинах тетраэдра (на рисунке видно три из них, они окрашены в желтый цвет). Это вещество оказалось бесцветным.

Есть предположение, что пергидрофуллерен $C_{60}H_{60}$ все же можно получить. Для этого надо изловчиться и присоединить 10 (по другим данным — 12) атомов водорода изнутри фуллереновой оболочки.

Доктор химических наук
М.Ю.Корнилов



5
Стереопара молекулы пергидрофуллерена $C_{60}H_{50}(exo)H_{10}(endo)$ (M.Saunders. Science, 1991, № 253, 330). С ее помощью можно, глядя правым глазом на правую, а левым на левую картинку, рассмотреть, как устроена эта необычная молекула. Обратите внимание, что действительное изображение нельзя совместить с зеркальным — молекула хиральна. А, казалось бы, шар должен быть симметричным

Бурильщики и землекопы

Иштван Харгиттай — профессор химии Будапештского университета технологии и экономики, член Венгерской, Норвежской и Европейской академий наук, обладатель многих научных наград. Для нас важно, что в 1965 году он закончил химфак МГУ, а сейчас не только занимается наукой, но также пишет книги (их вышло уже более 30). В 2003 году в России переведена первая его книга из серии «Откровенная наука» — «Беседы со знаменитыми химиками», а в 2006 году — вторая книга этой серии «Беседы с корифеями биохимии и медицинской химии».

Иштван Харгиттай совершенно не собирался заниматься популяризацией науки. Но когда он в 1965 году вернулся из Москвы в Будапешт и начал работать в университете, ему позвонили с радио «Будапешт» и попросили взять интервью у Н.Н.Семёнова. Почти через 30 лет также случайно получилась беседа с Лайнусом Полингом. После этого Иштван взял более 200 интервью у выдающихся ученых, в том числе около ста — у нобелевских лауреатов. Эти интервью и легли в основу его книг. Сейчас первые две книги из этой серии можно купить в книжных лавках МГУ и больших книжных магазинах (И.Харгиттай. Откровенная наука. Беседы со знаменитыми химиками. Москва, 2003; И.Харгиттай. Откровенная наука. Беседы с корифеями биохимии и медицинской химии. Москва, 2006).

Иштван Харгиттай продолжает заниматься наукой, общаться с интересными людьми и постоянно размышляет о судьбах ученых и неожиданных поворотах в истории науки. В марте он приезжал в Москву и прочитал несколько лекций, после которых отвечал на вопросы слушателей.



Можно ли найти что-либо общее в жизненном пути или характерах ученых, с которыми вы беседовали? Что, на ваш взгляд, формирует талантливого исследователя?

Все эти выдающиеся люди — простые смертные, как и мы с вами. Во многих случаях, и гораздо чаще, чем я ожидал, у ученых, добившихся успеха, была трудная жизнь: далеко не розовое детство, да и юность, и начало работы не всегда благополучные. Многие из них считали свой успех случайностью и говорили, что им просто удалось оказаться в нужном месте в нужное время.

В воспитании и формировании настоящего ученого, как мне кажется, есть два важных фактора. Наиболее

весомый — это учитель. Причем им может быть как руководитель, так и литературный персонаж. Кроме того, эффект учителя может появиться в результате долгого общения с сослуживцами либо после замечания, случайно оброненного более опытным коллегой.

Другая составляющая — место, где ученый начинает работать. Есть университеты, откуда вышли десятки нобелевских лауреатов. Однако для талантливого ученого любое место может оказаться подходящим, если у него хороший партнер.

Что касается того, какие личные качества человека влияют на его научные результаты, то я могу дать только субъективный ответ. Мне кажется, что хороший ученый — это среднее между демократом и автократом: он ни-

когда не будет решать научный вопрос, пользуясь своей властью, но и не допустит его решения голосованием.

Неотъемлемое качество ученого — любопытство, поскольку хороший исследователь ищет неожиданное, а не проводит опыты с предсказуемыми результатами. Любопытство и живой ум ведут к разносторонней образованности, а хороший ученый должен разбираться во многих отраслях знаний. Широкое образование позволяет понять значимость того, что ты делаешь, и чувствовать, когда ты близок к открытию. А ведь гораздо чаще, чем мы думаем, ученые не распознают открытия в том, что сами сделали, и хватаются за голову через несколько лет, когда другие используют полученные им результаты.

Большой ученый не тщеславен и работает для того, чтобы получить результат, а не для того, чтобы прославиться. Но когда пришла удача, ученый не должен считать, что добиваться признания унизительно, и должен стараться распространять сведения о своем достижении как можно шире. Иначе открытие не принесет пользы.

На самом деле не существует одного типа характера, который более всего подходит ученому. Один мой друг, биохимик, делил ученых на две категории: бурильщиков и землекопов. Бурильщик старается узнать как можно больше об узкой области и непрерывно работает по одной теме. Землекоп переходит от темы к теме, пока не будет распахано все поле. Но никто не знает, у кого из них больше шансов совершить значительное открытие.

Верно ли, что научные открытия можно подразделить на прорывы, опережающие свое время, и открытия неизбежные — если их не сделаете вы, то сделает кто-нибудь другой?

Все не так просто. С одной стороны, невозможно сказать: «Сейчас я сделаю открытие», и тем более невозможно заранее знать, будет ли оно опережать свое время или окажется своевременным. И все же отчасти это справедливо. Если говорить об открытиях, опережающих свое время, то их ценность может быть не слишком высока, если они уж слишком забегают вперед. Дело в том, что трудно отличить открытие, для которого еще не пришло время, от никому не нужного открытия.

Преждевременность очевидна, если в данной области и в смежных областях еще не достигнут прогресс, достаточный для того, чтобы научное сообщество могло использовать новое

знание. Например, открытие Менделя настолько опередило свое время, что полвека оставалось в забвении, и то, что его пионерские работы обнаружили, и теперь его имя связано с открытием, — просто везение. А вот открытие бакминстерфуллера было не только своевременным, но и запоздавшим, равно как и гипотеза Несмеянова об эндоэдрических углеродных комплексах.

Часто говорят, что, если некий ученый не сделал бы данное открытие, его сделал бы другой. Противоположностью этому произведению искусства: картину, не написанную Рембрандтом, не напишет уже никто. Однако и у научных открытий бывает свой стиль, который делает их уникальными. Например, если бы Уотсон и Крик не открыли, что структура ДНК имеет вид двойной спирали, это сделали бы другие, и, вероятно, скоро. Но открытие Уотсона и Крика было подобно грому среди ясного неба, оно сразу же оказало огромное влияние на биологию и химию. Если бы эту работу сделали другие, правильная структура проявлялась бы по частям, постепенно, и эффект, возможно, стал бы менее значительным.

Можно ли написать историю науки, основываясь на истории Нобелевских премий? Это все-таки самая важная премия в мире.

Я думаю, что написанная таким образом история даст искаженное представление об истории науки. Нет сомнения, что нобелевские лауреаты — хорошие ученые, но это не самые великие исследователи. Кроме того, величайшие открытия не всегда совершаются величайшими учеными. Даже в завещании Альфреда Нобеля четко сказано: он хотел, чтобы премии присуждались за великие открытия независимо от того, является ли автор открытия великим ученым. Более того, далеко не все важные открытия были удостоены Нобелевских премий, да и многие крупные ученые оказались обойденными этой наградой.

Надо помнить, что наука живет не одними открытиями. Не меньшую роль

играет кропотливая работа по систематизации знаний. Как сказал рецензент моего российского диплома, а потом и переводчик моих книг П.М.Зоркий, «деятельность первооткрывателей подобна разведке, но за героями-разведчиками должен следовать фронт, возглавляемый великими генералами». Действительно, армия рядовых научных работников продолжает дело для того, чтобы наука могла продвигаться дальше. Я бы даже сказал, что раньше наука была призванием, теперь она — отрасль промышленности. По-прежнему есть исключительные умы, которые делают открытия и формируют общую картину, но большинство людей, занятых в науке, вынуждены заниматься рутинной, совсем не увлекательной работой.

В какой стране мира, по-вашему, больше всего заботятся о науке?

Я бы разделил этот вопрос на два: какая страна больше всего вкладывает в науку и в какой стране больше всего уважают науку. Вкладывает, наверное, больше всего США, а уважают, может быть, в бывшем СССР. Правда, я бы сказал, что первый путь гораздо эффективнее.

Если говорить о числах, то в США более трех процентов национального валового продукта идет на науку (примерно столько же в Японии), тогда как в Венгрии — меньше процента. В США подход к финансированию науки весьма рациональный — это смесь государственных, частных вложений и вкладов промышленности. Европейский союз в целом сильно отстает от Соединенных Штатов по финансированию науки, несмотря на то что в отдельных странах ЕС ситуация существенно различается. Лучшее дело обстоит в скандинавских странах, которые вкладывают в науку больше 3% своего НВП.

Материал подготовила
В. В. Благутина



ИНТЕРВЬЮ

Характер, случай и открытие

В 1893 году английский физик Дж.Рэлей занимался определением точного удельного веса чистых газов. В числе прочих он взвешивает и азот, который для чистоты эксперимента получен двумя способами: из атмосферного воздуха и разложением аммиачных соединений. Неожиданно оказывается, что азот, полученный разными путями, имеет различный удельный вес. Правда, разница в весе небольшая, в третьем десятичном знаке, но все-таки она есть. Результаты Рэлей докладывает на заседании, на котором в числе присутствующих оказывается У.Рамзай. Многие слушатели удивились аномалии в весе, но лишь у одного Рамзая родилась смелая творческая идея: очевидно, в атмосферном воздухе присутствует неизвестный тяжелый газ, который он и предложил открыть. Рэлей встретил эту идею с явным недоверием, но через несколько месяцев совместных экспериментов ученые сообщили об открытии нового элемента аргона.

Потом Рамзай задается вопросом: где и в каких соединениях встречается этот инертный газ в природе, поскольку в воздух он, возможно, попал из земли. Рамзай действует на минерал клевент серной кислотой, собирая выделяющийся при этом газ, и смотрит его спектр. Спектроскоп действительно показывает красные и зеленые линии аргона, а значит, земной источник найден! Но в спектре присутствует еще одна новая линия — яркая, желтая. Трубочка с неизвестным газом была послана ученому Уильяму Круксу, который обнаружил, что желтая линия совершенно такая же, как у гелия, который в 1868 году наблюдали в солнечной атмосфере. Так был открыт гелий в земных условиях.

На этом примере видно, что выдающийся ум, воспользовавшись случаем, может придать своим открытиям последовательность, превратив одно случайное наблюдение в систему. Возникает как бы цепная реакция открытий. После аргона Рамзай открыл целую группу инертных газов: неон, криптон, ксенон. Конечно, и технические усовершенствования сыграли огромную роль — без спектроскопа и



машины для сжижения воздуха данное открытие было бы невозможно.

Есть примеры, когда некоторые черты характера не позволяли ученому увидеть новое, даже если оно было совсем рядом. В 1830 году Н.Сефстрем открыл в шведских железных рудах новый элемент — ванадий. Однако еще за два года до этого Ф.Велер, производя анализ бурой свинцовой руды из Мексики, обнаружил в ней какое-то новое соединение, но не придал этому значения. Уже после открытия ванадия Велер послал пробу выделенного вещества своему учителю Й.Я.Берцелиусу с просьбой установить, действительно ли он держал в руках ванадий или нет? Берцелиус ответил:

«Стокгольм, 22 января 1831 г.

...Что касается присланной маленькой пробы с веществом, обозначенным Вами через знак вопроса, то позвольте мне рассказать Вам следующую историю. На далеком Севере когда-то жила богиня Ванадис, красивая и любезная. Однажды кто-то постучал в ее дверь. Богиня была свободна и подумала: «Пусть постучат еще раз». Однако стук не повторился, посетитель ушел. Богиня полюбостовала, кто отнесся столь равнодушно к ней, подскочила к окну и посмотрела на уходящего. «Ох, — сказала она, — это шалун Велер. Ну это ему по заслугам, если он придает столь мало значения визиту ко мне». Несколькими днями спустя опять кто-то постучал в дверь, настойчиво и сильно. Богиня сама пошла открыть дверь. Вошел Сефстрем, — а плодом этой встречи было рождение ванадия.

Ваша проба с обозначением знака вопроса на самом деле есть окись ванадия»...

Интересно, что это не единственный упущенный случай в жизни Велера. Когда в 1828 году Берцелиус открыл торий, Велер вспомнил, что еще в 1826 году, производя анализ норвежского минерала пирохлора, он пропустил этот новый элемент. В третий раз та же история повторилась в 1845 году, когда Л.Сванберг открыл элемент норрий. Снова Велер пишет Берцелиусу: «С норием поздравляю Сванберга и утешаю себя тем, что, подобно ванадию и торию, и этот элемент у меня отняли из-под носа».

Было бы ошибочно думать, что у великолепного химика-органика, каким был Велер, не хватило знаний, чтобы обогатить неорганическую химию новыми элементами. Причина, очевидно, заключается в индивидуальных качествах исследователя. Открытие не было сделано, поскольку, возможно предвзятость Велера помешала ему увидеть новое. В данном случае отсутствие творческой интуиции даже у выдающегося экспериментатора сыграло роковую роль.

Случай должен привлечь внимание исследователя, но нужно, чтобы человек, делающий открытие, сумел понять значение единичного факта и сделать из наблюдений надлежащие выводы.

М.Фарадей открыл сжижение газов тоже благодаря случайности. Как-то знакомый Фарадея, зайдя к нему в лабораторию, увидел в одной из трубок маслянистое вещество и сказал, что он работает с нечистыми трубками. Фарадей немедленно отпиллил ко-



нец трубки, и маслянистое вещество исчезло. Он решил повторить опыт и на следующий день написал лаконичное письмо: «Дорогой друг! Масло, которое Вы вчера видели, оказалось жидким хлором». Может, кто-нибудь другой и прошел бы мимо такого факта, не уделив ему надлежащего внимания.

В 1896 году А.Беккерель по предложению Анри Пуанкаре выяснял, не излучают ли соли урана рентгеновские лучи, поскольку под действием солнца они начинали интенсивно фосфоресцировать. Для повторения эксперимента Беккерель подготовил несколько кассет, в каждую из которых были помещены фотопластинка и пластинка, покрытая слоем соли урана и завернутая в черную бумагу. Поскольку зимой солнце не показывалось, он в ожидании его появления запер кассеты в ящик стола. В воскресенье 1 марта 1896 года (памятный для истории физики день) появилось солнце, и Беккерель решил продолжить свои исследования, но сначала проверить, не произошло ли чего-нибудь с пластинками за это время. (Яркий пример замечательной скрупулезности, характеризующей добросовестного ученого.) К своему величайшему удивлению, он заметил, что фотографические пластинки потемнели точно так же, как и в предыдущих экспериментах, хотя на этот раз соли урана предварительно не освещались солнечными лучами и не могли фосфоресцировать. Осталось единственное объяснение: уран и без света непрерывно испускает проникающее излучение неизвестной природы, которое должно отличаться от рентгеновских лучей. Так была открыта радиоактивность, и это стало началом новой эпохи в истории человечества.

Нельзя не вспомнить известную историю открытия в 1928 году пенициллина. А.Флеминг исследовал стафилококки, которые культивировал на агаре в чашках Петри. Культуры часто бывали испорчены плесенью, которая попадала в чашки из воздуха, но Флеминг не любил выбрасывать даже заплесневелые культуры (из-за этого над ним подсмеивались в лаборатории) до тех пор, пока не убеждался, что из них нельзя извлечь ничего нового. Однажды, как рассказывал сотрудник, «Флеминг снял крышки с нескольких ста-

рых культур. Многие из них оказались испорчены плесенью — вполне обычное явление.

— Как только вы открываете чашку с культурой, вас ждут неприятности, — сказал Флеминг. — Обязательно что-нибудь попадет из воздуха.

Вдруг он замолчал и, рассматривая что-то, сказал безразличным тоном:

— Это очень странно.

На этом агаре, как и на многих других, выросла плесень, но здесь колонии стафилококков вокруг плесени растворились, и вместо желтой мутной массы виднелись капли, напоминавшие росу». Так был открыт пенициллин.

В обоих этих примерах важна остротная наблюдательность ученого, а главное, желание до конца разобраться, может быть, в случайных, но необычных явлениях, сопутствующих основному эксперименту.

Интересно, как Ф.А.Кекуле пришла в голову идея графического изображения бензола. Он рассказывал: «Однажды вечером, будучи в Лондоне, я сидел в омнибусе и раздумывал о том, каким образом можно изобразить молекулу бензола C_6H_6 в виде структурной формулы, отвечающей его свойствам. В это время я увидел клетку с обезьянами, которые, то сцепляясь, то расцепляясь, ловили друг друга. Один раз они ухватились таким образом, что составили кольцо, причем каждая одной задней ногой держалась за клетку, следующая держалась за другую ее заднюю ногу обеими передними, а хвостами они весело размахивали по воздуху. Таким образом шесть обезьян образовали круг, и у меня сразу же блеснула в голове мысль: «Вот изображение бензола. Оно объясняет прочность бензольного кольца». Главная черта Кекуле, приведшая к открытию, — это исключительная образность его мышления, позволившая ему сопоставить, казалось бы, несопоставимое.

Профессор А.А.Иностранцев, ученик и близкий друг Д.И.Менделеева, зайдя однажды проведать его, рассказывал, что увидел ученого стоящим у конторки с мрачным угнетенным видом. «Чем вы заняты, Дмитрий Иванович?» — «Все в голове сложилось, — с горечью сказал Менделеев, — а выразить таблицей не могу». Немно-

го позднее случилось следующее. Менделеев три дня и три ночи, не ложась спать, проработал у конторки, пробуя разместить свою мысленную конструкцию в таблицу, но попытки оказались неудачными. Наконец, утомленный до крайности Менделеев лег спать и тотчас заснул. «Вижу во сне, — рассказывал Дмитрий Иванович Иностранцеву, — таблицу, где элементы расставлены, как нужно. Проснулся, тотчас записал на клочке бумаги. Только в одном месте в последствии пришлось поправить».

Для творческой индивидуальности Менделеева также было характерно исключительно сильное зрительное воображение. Отсюда его любовь к шахматам и живописи, о которой рассказывают современники. Эта составляющая творческого мышления Менделеева была такой мощной, что в решающий момент проявилась даже во сне.

В 1900 году В.Н.Ипатьеву для работы понадобился бутадиев. Получить его он решил уже известным способом — пиролизом разложением изоамилового спирта. Пропускать спирт можно было через различные трубки: стеклянные, фарфоровые или железные. Ипатьев случайно взял железную, поскольку не придавал материалу трубки особого значения. Ему пришла мысль исследовать жидкие продукты реакции, которыми другие ученые пренебрегали, полагая, что они состоят исключительно из воды и не успевающего разложиться спирта. Оказалось, что это не так. Ипатьев обнаружил в жидких продуктах реакции изовалериановый альдегид, который образовался именно благодаря железной трубке (а не стеклянной или фарфоровой). Так было открыто каталитическое действие железа. Многие исследователи получали бутадиев таким способом, но никто не исследовал жидкие продукты реакции и не задумывался о роли материала трубки. Счастливое совпадение привело к открытию.

Итак, случай — это повод, чтобы не пройти мимо, а дальнейшая судьба открытия всегда зависит от интуиции ученого и от широты его знаний.

Кандидат
химических наук
Н.А.Корецкая

Виртуоз советского менеджмента



Наше недалекое советское прошлое постепенно уходит в историю, обрастая легендами, радужными или мрачными. Однако полезно помнить, что в СССР была создана разветвленная, многоотраслевая промышленность. Важнейшей отраслью экономики страны стала химическая индустрия, развитие которой связано с исключительно успешным руководством ее многолетнего министра — Леонида Аркадьевича Костандова.

На Западе в свое время особым уважением пользовались два крупных советских государственных деятеля — Председатель Совета Министров СССР Алексей Николаевич Косыгин (занимал этот пост с 1964 по 1980 год) и министр химической промышленности СССР Леонид Аркадьевич Костандов (с 1966 по 1980 год). Их считали выдающимися руководителями, сознававшими важность международного сотрудничества в экономике.

Любопытен такой эпизод. В начале 60-х годов прошлого века А.Н.Косыгин, бывший тогда заместителем Председателя Совета Министров СССР, во главе правительственной делегации впервые приехал в Италию. В его свите находился и Костандов, тогдашний зам. председателя Государственного комитета СССР по химии. Ранги этих двух крупных управленцев в то время весьма различались. Поэтому Косыгин, вероятно, мало был наслышан о Костандове и не узнал его. Как-то утром в вестибюле отеля Алексей Николаевич сказал своим ближайшим коллегам: «Как надоели мне эти итальянские спецслужбы. Вот этот чернявый, — и Косыгин указал на Костандова, — все время не отстаёт и следит за мной». Когда же со временем они сблизились, работая в правительстве, то стали единомышленниками и соратниками.

Имя Леонида Костандова после его ухода из жизни более 20 лет назад, скорее всего, стерлось из памяти многих нынешних россиян. Но тем, кто небезразличен к судьбе России, следует знать поучительные судьбы выдающихся людей Советского Союза.

Производственная карьера Л.Костандова началась на Чирчикском электрохимическом комбинате им. И.Сталина (ныне ОАО «Электрохимсабоат», Республика Узбекистан). Закончив в 1940 году Московский инженерно-химический институт (ныне Московский государственный университет инженерной экологии), он работал на этом комбинате сначала главным механиком и за 13 лет стал высококвалифицированным специалистом, талантливым инженером-химиком, досконально изучившим не только технологические процессы, которые реализовывались на ЧЭХК.

В 1951 году Л.А.Костандов как активный участник работ по освоению новой технологии получения аммиака из природного газа был удостоен Ста-

линской (ныне Государственной) премии СССР. Но еще в годы войны (в 1944 году) Чирчикскому комбинату было поручено наладить производство тяжелой воды, необходимой для реализации атомного проекта. За рационализаторские предложения Костандову вместе с другими инженерами и ученым ЧЭХК позже была присуждена Ленинская премия.

Незаурядные организаторские способности, высокий профессионализм, прекрасные человеческие качества Л.А.Костандова обратили на него внимание партийно-государственной элиты.

В 1953 году его перевели в Москву, где он десять лет занимал ответственные посты в управлении химической промышленностью. В мае 1958 года секретарь партии Н.С.Хрущев собрал пленум ЦК по ускорению развития химической промышленности и особенно производства синтетических материалов и изделий из них для нужд народного хозяйства.

Через пять лет Леонид Костандов как авторитетнейший специалист по

промышленной химии сделал обстоятельный доклад на заседании правительства по увеличению выпуска минеральных удобрений. Хрущеву доклад понравился, и он сказал: «Вот вам, Костандов, мы и поручим производство минеральных удобрений. Вы человек молодой (Костандову исполнилось тогда 48 лет. — *Примеч. авт.*), энергичный. У вас много сил, толкайте это дело!»

В 1965 году Костандова назначают министром химической промышленности СССР. В тот момент, по словам его коллег, он понимал, что получил возможность реализовать мечту — отдать свой талант инженера-руководителя созданию высокоразвитой и экономически эффективной отрасли — химической индустрии страны.

Уже после многих лет руководства химической промышленностью генсек КПСС Брежнев сказал ему: «Делай что хочешь, мы тебе простим любые промахи и ошибки, но ты должен увеличить производство минеральных удобрений в стране, насколько возможно».



ПОРТРЕТЫ



*Арташес Арутюнович
и Натэлла Вартазаровна
Костандовы с сыном Ленчиком.
1916 г.*

стандова наладить с развитыми западными странами экономические контакты на основе компенсационных сделок.

Суть костандовских предложений сводилась к следующему. СССР по договоренности получал от европейских стран технологическое оборудование и на его основе строил химические предприятия различного профиля по выпуску нужной продукции, а расплачивался за это либо получаемой продукцией, либо исходным ценным сырьем.

Уве Йенс Томзен, член президиума правления химического концерна «Хёхст АГ» (ФРГ), вспоминал когда-то: «Господин Костандов многое сдвинул с места со свойственной ему огромной энергией и нетерпением. Очень ясно и отчетливо оценивая международную ситуацию, он делал ставку не на конфронтацию, а на экономическое сотрудничество, что в самом разгаре



Здание МИХМ. 1934 г.

Эта задача была выполнена. С начала 60-х до середины 70-х годов производство минеральных удобрений в СССР возросло в 6,7 раза, составив 90,2 млн. т. За время работы Л.А.Костандова министром химической промышленности, — почти три пятилетки — Советский Союз по объему производства химической продукции вышел на первое место в Европе и на второе в мире.



Л.Костандов (слева) во время военных лагерных сборов. Август 1937 г.

Какими же чудодейственными качествами обладал Леонид Костандов, сумевший в нашей стране, обремененной чиновно-бюрократическими препонами в партийно-государственном аппарате власти, добиться таких фантастических результатов для «страны победившего социализма»?

Все началось с неординарных, новаторских предложений министра Ко-

«холодной войны» требовало мужества. Он заранее предвидел, что тесное взаимодействие богатого сырья Советского Союза с технологически оснащенной Западной Германией должно быть приоритетным для обеих сторон практически во всех отраслях экономики».

Компенсационные сделки с западными иностранными фирмами позво-



*Визит
правительственной
делегации СССР
в Италию.
В первом ряду,
справа налево:
Л.А.Костандов,
Н.А.Косыгин,
В.С.Федоров.
Начало 1960-х гг.*



*Л.А.Костандов
с Ю.М.Дужковым
и сотрудницей
Вычислительного
центра ОКБА.
1975 г. Москва*

лили совершенствовать экономику Советского Союза прежде всего строительством мощных предприятий по производству минеральных удобрений и искусственных волокон.

Л.А.Костандов сразу почувствовал в реализации своего «советского менеджмента» доброжелательную поддержку А.Н. Косыгина и других прогрессивно настроенных партийно-государственных деятелей, таких, как Н.К.Байбаков, В.С.Федоров и др.

Опираясь на результаты своих предварительных переговоров с фирмами ФРГ, Италии, Японии, министр Костандов самостоятельно готовил и прорабатывал тексты первых соглашений о компенсационных сделках, вникая не только в вопросы технологии и техники производства, но и в тонкости международной юриспруденции и этики деловых отношений в сфере внешнеполитического сотрудничества.

Разумеется, поначалу Костандову пришлось нелегко. Минвнешторг СССР, трактуя по-своему принцип советской экономики — монополию внешней торговли, — считал себя единственным юридическим представителем государства в области торговых контактов с капиталистическими странами и всячески препятствовал развитию собственных контактов Минхимпрома СССР с зарубежными партнерами.

Внешторговцы крепко держались за государственную валюту, пытаясь скрыть даже от министра Костандова информацию о ценах на западном рынке и тем самым осложняя начавшийся процесс компенсационных сделок. Но советские «монополисты ва-

люты» явно недооценивали возможности «большого химика», как уважительно называли коллеги Леонида Аркадьевича. В достижении своих государственно-патриотических целей он пользовался не только поддержкой высшего эшелона власти, но и сведениями о перспективности зарубежных технологических разработок, о ценах на оборудование, которые ему удавалось заполучить через сотрудников научно-технической разведки, работавших при посольствах в различных странах.

В Англии, например, ему приходилось жить по многу недель, подготавливая выгодные для нашей страны сделки. Зная, каким авторитетом Костандов пользуется в Советском Союзе, английские банки в итоге предоставили ему долгосрочные кредиты вместо краткосрочных. Наш министр

химической промышленности сам разрабатывал и осуществлял всю процедуру таких финансовых сделок, в которых ему не могли бы помочь ни внешторговцы, ни специалисты из Госбанка СССР.

В 1972 году американский миллиардер Арманд Хаммер, президент фирмы «Оксидентал петролеум», посетил Костандова и предложил поставить в СССР комплектное оборудование для восьми заводов по производству аммиака, четырех заводов по производству карбамида, а также построить аммиакопровод в обмен на поставки из Советского Союза аммиака, карбамида и хлористого калия. Это предложение сразу же было принято. Были построены два порта для отгрузки морским транспортом химической продукции, которая должна была производиться в Советском Союзе на



*Л.А.Костандов осматривает химическое предприятие в г. Нуэвтитас.
Слева от него — В.Ф.Писарев. 1978 г.
Республика Куба*



ПОРТРЕТЫ

американском оборудовании. Кстати, Хаммер тогда предложил финансировать строительство Центра международной торговли на Красной Пресне в Москве.

Характеризуя стиль и методы работы Леонида Костандова на посту руководителя химической индустрии, следует вспомнить его высказывание о том, что «судьбу любого дела решают добрая воля, знания, опыт и энергия людей».

Были ли у Костандова недруги, пытавшиеся дискредитировать его идею компенсационных сделок? Разумеется, были. Он отвечал им: «Пусть меняется международная обстановка, сменяются правительства, но для нашей страны риска нет, поскольку построенные на нашей территории заводы останутся у нас и будут выпускать продукцию для внутренних потребностей».

По личной инициативе Л.А.Костандова с 1965 года в Москве стали проводиться ежегодные международные выставки «Химия». Министр был бесшумным их руководителем. Конкуренция фирм на этих выставках была исключительно высокой. Каждый производитель старался предложить нашей стране свои лучшие достижения.

Л.А.Костандов положил начало созданию первых в СССР совместных предприятий. Так появились «Ассофот-1», «Домохим», совладельцами которых стали СССР и ГДР.

Благодаря воле и уму Л.А.Костандова за десятилетие до распада Советского Союза в стране удалось провести модернизацию химической промышленности, построить сотни новых предприятий, которые в большинстве своем и сейчас работают на благо России.

За четыре года до смерти Л.А.Кос-

тандова назначили заместителем Председателя Совета Министров СССР. К тому времени ушел из жизни А.Н.Косыгин — опытный политик, которому не удалось провести важные реформы по оживлению социалистической экономики. Сам Костандов тоже отчетливо представлял себе, как разрушителен принятый догматический подход к развитию экономики страны.

Наращивание мощностей оборонного комплекса в ущерб жизненно важным отраслям — химической, пищевой промышленности, строительству жилого фонда и другим — резко ухудшило благосостояние советского народа.

По рассказам родных Леонида Костандова, он часто с грустью говорил им: «Нужна политическая воля власти, чтобы принять кардинальные меры для развития экономики страны, но ситуацию изменить, мне кажется, невозможно. Наша страна гибнет от некомпетентности власти».

Костандов был убежденным государственным патриотом своей Отчизны и с горечью наблюдал, как нерешительность, косность мышления тогдашних руководителей КПСС и государства сводят на нет все его начинания.

Если бы Костандов дожил до реформенных перемен в России, можно не сомневаться, что, как честный и порядочный гражданин, он не остался бы в стороне и, сплотив вокруг себя профессионалов, мыслящих людей, не позволил бы до неузнаваемости изменить экономический уклад страны, а, проявив свой талант организатора, ученого, экономиста, направил бы дело возрождения России по правильному пути.

Недаром итальянский бизнесмен Марио Реали, сотрудничавший с Костандовым, вспоминая о нем и о Косыгине, говорил: «Они были менеджерами мирового класса, и очень жаль, что они жили и работали в такое время, когда политическая система советского государства им мешала. Это были великие люди в истории России».

Кандидат технических наук
С.Глушнев

Послесловие

Очерк «Виртуоз советского менеджмента» подготовлен по материалам книги «Государственный человек. Леонид Костандов — инженер, ученый, руководитель химической промышленности СССР». М.: Изд-во «Академкнига», 2005.

Эта книга представляет собой подборку интересных материалов, воспоминаний работавших под руководством Л.А.Костандова сотрудников, его родных, друзей, зарубежных коллег, принимавших участие в осуществлении замечательной идеи компенсационных сделок между СССР и иностранными партнерами. Она вышла к 90-летию нашего выдающегося соотечественника.

Книга о Л.Костандове появилась благодаря инициативе руководителей Российского союза химиков и Московского государственного университета инженерной экологии (бывший МИХМ, который в 1940 году с отличием закончил Леонид Костандов). Профессору МГУИЭ, доценту В.А.Любартовичу посчастливилось стать автором-составителем материалов о жизни и научно-производственной деятельности Леонида Аркадьевича.

В ходе работы Валерий Любартович столкнулся с немалыми трудностями при сборе материалов. После внезапной кончины Л.А.Костандова его семье пришлось срочно вывезти личные вещи и документы из московской квартиры на дачу, которая затем сгорела.

В.А.Любартович готовил рукопись будущей книги, располагая весьма ограниченным количеством архивных материалов, и провел большую работу по сбору фотографий и воспоминаний. Он опросил почти полсотни человек, записал рассказы на диктофон, и эти свидетельства стали основой книги.

Слово о Костандове предпослал собранным воспоминаниям мэтр Москвы Ю.М.Лужков, который по предложению легендарного министра химической промышленности СССР в 1960–1980-х годах руководил отделами автоматизации и АСУ Технического управления, был директором Опытного-конструкторского бюро автоматизации НПО «Химавтоматика», членом коллегии и начальником Главного управления по науке и технике Минхимпрома СССР.

Мемориальная книга «Государственный человек» представляет собой одну из самых обстоятельных и оригинально подготовленных монографий о выдающемся советском управленце-новаторе. Она возвращает нас к советскому прошлому, доказывая, что на любом отрезке истории России появлялись яркие личности, совершавшие великие дела во благо Родины, и их имена никогда не будут преданы забвению.

ОЧЕРЕДНОЙ МИНИ-АВТОМОБИЛЬ XXI ВЕКА

Инженеры из Европы сделали очередной мини-автомобиль для города.



Пресс-секретарь
Tony Trueman,
t.trueman@bath.ac.uk

Когда огромные автомобили, на которых так любят ездить состоятельные граждане, оказываются в типичной для большого города пробке, они напоминают китов, выброшенных на мелководье. А вот юркому мотоциклу никакая пробка не помеха — легко ему просочиться между большими машинами. И на стоянке много места не надо. Значит, вот он, тот механизм который выживает в результате естественного отбора в столь плотно заселенной окружающей среде.

Видимо рассуждая таким образом, инженеры из Германии, Франции, Великобритании и Австрии решили скрестить автомобиль и мотоцикл. В результате у них получилась двухместная трехколесная повозка «Clever» (от Compact Low Emission Vehicle for Urban Transport) шириной всего в один метр. Оснащенная двигателем, который работает на сжатом природном газе (чтобы уменьшить количество ядовитых выхлопов и сильно озаботившего европейцев углекислого газа), она развивает скорость под 60 км/ч, а одной заправки хватает на 200 км.

«Главное отличие нашей машины от аналогов в наличии сплошной алюминиевой рамы, а пластиковая крыша и обшивка крепятся к ней. В результате резко возрастает надежность. Мы специально разработали плавающую подвеску, которая обеспечивает трехколесной машине устойчивость при поворотах. Благодаря ей, а также стильному дизайну «Clever» — лучший на сегодня среди моделей городских мини-автомобилей», — говорит механик Мэтт Баркер из Батского университета (Великобритания).



МАЙОНЕЗ ИЗ СЫВОРОТКИ

Испанские ученые придумали, как заменить в майонезе яйца на молочную сыворотку.

Jose Maria Franco Gomez,
franco@uhu.es

С точки зрения специалиста по физической химии, майонез — это эмульсия растительного масла, стабильность которой придает яичный порошок. И вот от него-то сторонники здорового питания с большим удовольствием избавились бы, ведь, по их мнению, умеренное потребление яиц ведет к сердечным заболеваниям из-за повышенного содержания холестерина. Очередной подход к созданию диетического майонеза предприняли испанские ученые из университетов Уэльвы, Севильи и Института де ла Граса. Они предложили делать основу майонеза из масла, воды и молочной сыворотки, которая содержит много белков и потому способна стабилизировать эмульсию. «Используя сыворотку, мы одним выстрелом убиваем двух зайцев: убираем холестерин и утилизируем отходы производства», — говорит доктор Хосе Мария Франко из Университета Уэльвы.

Как оказалось, немалое значение для перемешивания всех элементов и образования мелких капелек масла имела концентрация твердого элемента майонеза — порошка горчицы. После того как дегустаторы оценили вкус и консистенцию новых продуктов, ученые запатентовали удачные составы и параметры технологических режимов сывороточного майонеза, который оказался точь-в-точь как яичный.

СВИНЕЦ ВМЕСТО ХЛОРОФОРМА

Американские ученые установили, что изменение технологии хлорирования воды может привести к загрязнению ее свинцом.

Пресс-секретарь
Mary Helen Stoltz,
mhstoltz@umr.edu

Когда воду обеззараживают с помощью хлора, получают убийственные для микроорганизмов гипохлориты. Увы, реагируя с органическими веществами, они дают весьма неприятные вещества, присутствие которых в питьевой воде неуместно, например хлороформ, а специалисты ищут способы от этих веществ избавиться. Один из них — пропустить через только что хлорированную воду аммиак. При реакции с хлором он даст монохлорамин, который с органикой не реагирует, и никаких вредных веществ в результате не получается. Именно аммиак в борьбе за чистоту воды и решили использовать городские власти Вашингтона. Но успеха они не достигли: в некоторых районах внезапно выросла концентрация свинца в водопроводной воде. И не слегка, а до огромного значения в 48 тысяч частиц на млрд. При нормативе 15 частиц на млрд. Механизм явления сумели разгадать химики из университета Миссури-Ролла во главе с доктором Джейм Швитцером. Оказалось, что в воде с гипохлоритами свинец покрывается пленкой оксида. А в воде с монохлорамином такого не случается, и она отлично смывает этот вредный металл с любой поверхности.

Свинец же в водопроводной системе — отнюдь не редкость. Конечно, трубы сейчас из него не делают, в ход идут пластик и сталь. А вот бронза — многочисленные детали вентиляей, регуляторов, водометров — может содержать до 8% этого металла. Даже медные трубы, которыми оснащают свои дома богатые люди, и те от свинца совсем не свободны. Возможно, защититься от него удастся, время от времени меняя методы обеззараживания воды.

НОЖ ДЛЯ СВЕЖЕВАНИЯ БАКТЕРИЙ

Ученые из США синтезировали молекулу, которая разрушает мембраны особо злобных бактерий.

Gregory Tew, tew@
mail.pse.umass.edu

«Многие антибиотики поражают механизм изготовления мембран бактерий. А мы сделали вещество, которое лишает бактерию самой мембраны, и ей остается только умереть», — рассказывает Грегори Тью, исследователь из Массачусетского университета. Более того, ему с коллегами удалось увидеть работу такого молекулярного ножа в действии. Для этого они синтезировали искусственную мембрану — двойной слой фосфолипидов — и направили на нее два луча лазера. Мембрана стала колебаться с некоторой частотой. Затем в раствор добавили немного молекул-ножей, и те прошли сквозь мембрану, разделив ее на ломтики: этот процесс удалось зафиксировать по изменениям спектра колебаний.

Эксперименты, проведенные с наиболее неприятными бактериями, которые из-за устойчивости к антибиотикам стали настоящим бичом для больниц, — кишечной палочкой и золотистым стафилококком, а также с эритроцитами человека, доказали, что вещество одновременно обладает убийственной силой и селективностью: подопытные бактерии погибали, а эритроциты оставались невредимыми.

«Многие пытаются сделать такую молекулу-нож, но, как правило, в основном обращают внимание на боковые цепи. А мы сосредоточились на создании молекулы с чрезвычайно жестким скелетом. Заряд, который по нему распределен, обеспечивает ей отличное соединение с мембраной клетки. Мы надеемся, что устойчивость к такому веществу будет развиваться значительно медленнее, чем к антибиотикам», — говорит Грегори Тью. Логично: к яду привыкнуть можно, а к ножу под ребро — значительно сложнее. Кольчуга нужна.

**НАНОТРУБЧНЫЙ
ОХЛАДИТЕЛЬ**

Американские ученые применили углеродные нанотрубки для охлаждения микросхем.

Timothy Fisher,
tsfisher@purdue.edu

Ветераны компьютеризации помнят, что 386-й процессор работал без всякого вентилятора, 486-му понадобился радиатор с вентилятором, радиатор к первым «Пентиумам» уже рекомендовали ставить на термопасте, а ныне без нее ни центральный процессор не работает, ни видеоплата. И конца этому не видно. Значит, инженерам-теплотехникам нужно искать новые ответы на вопрос: как отвести максимум тепла за кратчайшее время? Очередная идея возникла у материаловедов из Университета Пердью (США). Новый материал — это паркет из углеродных нанотрубок, который наносят непосредственно на кремниевую подложку микросхемы, а также на поверхность радиатора с помощью плазменного испарения и конденсации.

«Нанотрубки, которыми покрыты обе соединяемые поверхности, прочно переплетаются между собой. Речь не идет о механическом соединении — однако тепло проходит превосходно, в десять раз быстрее, чем без нанотрубок. Более того, если пропитать нанотрубочное покрытие термопастой, скорость отвода тепла станет еще выше», — говорит руководитель работы, доцент Тимоти Фишер.

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

**ГЕНЕРАТОР
ИЗ БАКТЕРИЙ**

Оказывается, если на электроде топливного элемента поселить бактерии и дать им разрастись, то они сгенерируют много электричества.

Пресс-секретарь
Rachel Ehrenberg,
rachele@
admin.umass.edu

Обычно биологи, которые пытаются приспособить бактерии для изготовления электричества в топливном элементе, выращивают на электроде тонкий слой микроорганизмов. «Лучше всего для этого подходят металловосстанавливающие бактерии, способные самостоятельно выводить электрон в окружающую среду. Если нанести слой таких бактерий на металлический электрод, они без всяких посредников отдадут ему электрон и тот поступит в электрическую сеть. Особенно перспективны представители родов *Geobacter* и *Rhodofexa*», — рассказывает Дерек Лавли, микробиолог из Массачусетского университета.

Эти бактерии обладают интересной особенностью: они формируют длинные выросты — пили. Именно с их поверхности электрон уходит к металлу. Не исключено также, что пили способствуют образованию многослойных бактериальных матов. Такой мат и сформировался на электроде во время одного из опытов Дерека Лавли. И оказалось, что элемент с матом дал в десять раз больше электричества, нежели с тонкой пленкой бактерий. А когда в опыте участвовали мутантные бактерии, у которых не было пилей, эффект отсутствовал. Сейчас группа Лавли пытается установить причину повышенной электроотдачи. Ученые надеются, что, если разгадку удастся найти, биологические электроды топливных элементов смогут стать серьезными конкурентами платиновым.

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

**ПРОБКА ДЛЯ
НАНОТРУБКИ**

Американские химики сумели закупорить нанобутылочку с лекарством.

Charles Martin,
cormartin@
chem.ufl.edu

Фармацевты много лет мечтают научиться доставлять лекарство к раковым клеткам, и только к ним. Самый очевидный способ — запечатать препарат в микроскопическую бутылочку, которая сумеет в целости и сохранности доплыть с потоком крови до мишени, прочно привязаться к ней и только потом выплеснуть свое содержимое. А пока бутылочка не найдена, при химиотерапии возникают неприятные побочные эффекты: лекарство убивает не только больные, но и здоровые клетки. «Мы убедились, что в роли такой бутылочки может выступать нанотрубка. Но вот беда: один ее конец всегда открыт и транспортировать в ней лекарство — все равно что везти вино в незакупоренной бочке», — говорит профессор Флоридского университета Чарльз Мартин. Группа исследователей под его руководством как раз и сумела сделать пробку для такой нанотрубки.

Прототипом микробутылочки для лекарства им послужила нанотрубка из биоразлагаемого полимера — полилактида. При диаметре трубки 80 нм она способна нести несколько миллионов молекул лечебного вещества. К ее открытому концу химики привязали аминокислоты, а пробки оснастили альдегидными группами: встретившись с аминокислотой, они образуют связь. Затем пучок из миллионов модифицированных трубок поместили в раствор с миллионами пробок. Благодаря броуновскому движению пробки подплывали к трубкам, группы соединялись друг с другом, и бутылочки оказывались прочно запечатанными. «Честно говоря, запечатать нанобутылочку было не столь уж сложно. Гораздо труднее ее откупорить. Сейчас мы ищем такой способ», — сообщает профессор Мартин.



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

**ПАМЯТЬ
НА КРИСТАЛЛАХ
СЕНЬЕТА**

Ученые из США нашли простой способ хранить информацию на тонком сегнетоэлектрике.

Пресс-секретарь
Craig Eisenberger,
cae24@drexel.edu

Сегнетоэлектрики, открытые французским аптекарем Э.Сеньетом, обладают спонтанным электрическим дипольным моментом, причем его величину и направление можно легко менять внешним электрическим полем. Как не трудно догадаться, компьютерщики давно положили глаз на такие вещества в надежде создать память, которая будет значительно быстрее нынешней, ферромагнитной, но так же, как и она, не обнулится при выключении питания.

Вообще говоря, сегнетоэлектрическую память выпускают, но пока в небольших объемах. Одна из причин: трудно сохранить стабильность дипольного момента. Обычно это делают с помощью металлических электродов, заключая между ними тонкий слой сегнетоэлектрика. «Мы обнаружили что можно обойтись без электродов, а элемент памяти сделать не в виде плоскости, а в виде стержня: дипольный момент тончайшей, толщиной всего в десяток атомов, нити из сегнетоэлектрика удастся стабилизировать обычной водой, — говорит Джонатан Шпайнер, доцент Университета Дрекселя (США). — Главная роль здесь принадлежит гидроксильным группам, которые, впрочем, есть у многих органических веществ».

В случае удачи сегнетопамять на нанонитях качественно изменит наш мир: один кубический сантиметр такого материала сохранит 12,8 миллионов гигабайт информации. То есть стандартный mp3-проигрыватель будет 100 тысячелетий играть песни, ни разу не повторившись, а видеопроигрыватель покажет 32 миллиона фильмов, которые поместятся на карте памяти размером с обычную флешку.



Художник А. Астрин

Сцена для вселенского спектакля

Этой публикацией мы начинаем цикл статей «Вселенная: материя, пространство, время» о том, как устроен окружающий нас мир. Его автор — И.А.Сокальский — специалист по нейтринной астрофизике высоких энергий, который много лет работал в Институте ядерных исследований РАН, где принимал участие в создании нейтринной обсерватории на озере Байкал, а затем в международных экспериментах ANTARES и NEMO, цель которых — регистрация нейтрино космического происхождения.

Кандидат
физико-математических наук
И.А.Сокальский

Пролог

Глядя на мир, нельзя не удивляться!

Козьма Прутков

Каждое утро мы просыпаемся и поднимаемся с постели. Мозг переходит из режима сна в режим бодрствования и рассылает по нервным каналам сигналы, обеспечивающие перевод организма в «дневное» состояние. Пищеварительная система перерабатывает завтрак, извлекая из него энергию, необходимую телу. В почтовом ящике мы находим письмо, которого давно ждали. Сердце начинает биться сильнее, в кровь выбрасывается адреналин. Мы выходим из дома и движемся в направлении работы. В метро становится душно — дыхание учащается, потому что легкие должны переработать больше воздуха, чтобы снабдить организм необходимым ему количеством кислорода...

Мы живем, и каждое мгновение нашей жизни, каждый шаг, каждый вздох, каждая радость или огорчение — непрерывные трансформации материи, происходящие в некоторой области пространства в течение некоторого интервала времени. И человеческая жизнь, и жизнь элементарных частиц, и жизнь звезд — все это изменение состояния материи в пространстве и времени. Не будь материи — всему, что есть в этом мире, не из чего было бы состоять. Не будь пространства — материи не в чем было бы перемещаться. Не будь времени — материи не в чем было бы изменяться. Материя, время и пространство — ключевые, базисные сущности. Без них не могло бы быть нашего мира.

Пространство и время образуют ту сцену, на которой материя видоизменяется и взаимо-



действует с другими видами материи. Материя движется в пространстве и времени. И по сути дела, больше ничего не происходит, только этот спектакль. Но сюжет его невообразимо сложен. Он охватывает миллиарды лет и развивается на пространстве в миллиарды миллиардов километров. Однако в этом спектакле далеко не второстепенными могут оказаться и сюжетные линии, которые длятся миллиардные доли секунды и разыгрываются на масштабах миллиардных долей сантиметра. И для каждого такого сюжета есть свое место в общем сценарии.

Как и когда начался этот спектакль? Каким будет его финал и когда он наступит? Кто действующие лица? В каких отношениях они находились, находятся и будут находиться? Об этом написаны сотни тысяч статей и книг, однако полной ясности нет и по сей день. Я хотел бы еще раз прикоснуться к этой теме и рассказать о том, что известно о ней сейчас, в начале XXI века. Мой рассказ ни в коей мере не претендует на полное и всеобъемлющее изложение. Это именно прикосновение. Не больше, но и не меньше. Приподнимем занавес и рассмотрим сцену.

Сцена: пространственный аспект

Нет столь великой вещи, которую не превзошла бы величиною еще бо́льшая. Нет вещи столь малой, в которую не вместились бы еще меньшая.
Козьма Прутков

В школьных учебниках, в научных статьях и книгах, в железнодорожных расписаниях и рекламных буклетах — всюду встречается множество чисел, обозначающих размеры и расстояния. Каждый из читателей хранит некоторые из этих чисел в памяти. Диаметр Земли — 13 тыс. км, размер атома водорода — 10^{-8} см, расстояние до Солнца — 150 млн. км, а до ближайшей к нам галактики М31 (она же туманность Андромеды) — 2 млн. световых лет. Расстояния, которые вы не

помните, легко найти в соответствующем справочнике. Тысячи (если не миллионы) расстояний и размеров известны человечеству. Но как их почувствовать? Правильно ли обычный человек осознает масштабы микромира и всей Вселенной, а также их соотношения?

Скорее нет, чем да. Человеческие способности восприятия созданы очень рационально, и лишних нам не дано. Естественный отбор обеспечил сохранение и закрепление тех свойств организма, которые были важны для выживания. Расстояния от нескольких миллиметров до нескольких десятков или сотен метров могут быть не только известны человеку, но и почувствованы им. Чтобы попасть футбольным мячом в ворота, расположенные в паре десятков метров от нас, не нужно знать законов механики и единиц измерения. Где-то в недрах мозга заложена врожденная способность правильно оценить и расстояние (даже не выражая его в числах), и необходимую силу удара. Но все, что не укладывается в узкую шкалу от 10^{-3} м до 10^3 м (6 порядков величины), непредставимо для любой, даже самой образованной человеческой особи. Между тем реальная шкала расстояний, на которых разыгрывается вселенский спектакль, простирается как минимум на 40 порядков — отношение размеров Вселенной к размерам атомного ядра выражается 41-значным числом. На такой шкале разница между размерами большого города и типографской точкой в тексте, который вы сейчас читаете, выглядит незначительной. Попытаемся все же представить себе всю шкалу расстояний, сравнивая одни размеры с другими и взяв за основу примерный средний рост человеческого существа: 1,7 м.

Для начала пройдемся «вниз» по лестнице масштабов. Чтобы мы могли хорошо разглядеть какой-либо предмет, его размеры должны быть порядка сантиметра. Если пропорционально увеличить все существующие размеры так, чтобы размеры атомов и состоящих из них молекул лежали в сантиметровом диапазоне (истин-

ные размеры атомов составляют около 10^{-9} м, одну миллиардную от размеров человека), то человеческий рост был бы равен примерно 200 тыс. км, то есть половине расстояния от Земли до Луны! В этом масштабе размер типичных шаровидных бактерий (одноклеточных организмов, видимых в неувеличенном виде только под сильным микроскопом) составлял бы 100–200 м. Такой мысленный эксперимент дает наглядное представление о разнице в размерах всего в миллиард раз (9 порядков величины). Даже если бы атомы увеличились до размеров едва заметных точек, которые можно изобразить очень острым карандашом на листе бумаги, человеческий рост был бы равен расстоянию от Москвы до Парижа. Но это только первая ступенька вниз.

Сделаем еще один шаг вниз и рассмотрим атомные ядра. Роль молекул и атомов — формировать химические свойства веществ. Последние зависят от числа электронов, которое определяется электрическим зарядом атомного ядра. Помимо этого, ядра, состоящие из протонов и нейтронов, играют и другую важную роль — они участвуют в термоядерных реакциях, происходящих в центральных областях звезд. Если размер атомного электронного облака 10^{-9} м, то ядро на четыре-пять порядков меньше: $10^{-(13-14)}$ м. Если размер ядра увеличить до одного сантиметра, то размер атома будет составлять несколько сот метров. Другими словами, крохотное ядро почти незаметно в существовании превышающем его по размерам атоме — это впервые заметил 94 года назад Эрнест Резерфорд в своих знаменитых опытах по облучению золотой фольги пучком альфа-частиц. В этом масштабе человеческий рост возрастет до размеров земной орбиты — 150 млн. км. Если мы внимательно рассмотрим протоны и нейтроны (еще одна ступенька), из которых состоит сантиметрового размера атомное ядро, то заметим, что это сложное образование; оно состоит из еще меньших объектов — кварков и склеивающих их глюонов.

Таким образом, спустившись по лестнице расстояний на три ступеньки вниз, мы прошли примерно 15 порядков по шкале масштабов, дошли до структуры нуклонов и увидели, что события, происходящие на каждой ступеньке, так или иначе влияют на свойства наблюдаемого мира. При этом для того, чтобы все хорошенько разглядеть, нам пришлось вырасти до размеров орбиты Земли. Вернемся теперь на исходную позицию и попробуем подняться по лестнице вверх.

Пусть первой ступенькой вверх будет Солнечная система — 9 планет, обращающихся вокруг центральной звезды, Солнца. Попытаемся на листе бумаги изобразить ее в реальном масштабе. Для этого сделаем Солнце (диаметр которого на самом деле 1,4 млн. км) точкой размером 0,1 мм, то есть уменьшим Солнце в четырнадцать триллионов раз, более чем на 13 порядков. Человек при этом уменьшился бы до такой степени, что атомы (если бы они остались прежних размеров) казались бы ему объектами километровой величины, а атомные ядра — размером с крупные виноградины. Диаметр земной орбиты на таком рисунке будет чуть больше 2 см, а диаметр орбиты одной из самых удаленных от Солнца планеты — Плутона — составлял бы 80 см. То есть даже при таком уменьшении одного листа бумаги для изображения Солнечной системы не хватило бы.

Ближайшая к Солнцу звезда — Проксима Центавра — в этом масштабе оказалась бы на расстоянии 3 км, а в радиусе 100 км находилось бы всего около 10 000 звезд (примерно одна десятимиллионная часть всех звезд нашей Галактики) — десять тысяч точек размером в 0,1 миллиметра, разбросанных по территории Московской области!

Это упражнение с масштабированием показывает, что космос состоит в основном из пустоты: размеры звезд ничтожны по сравнению с разделяющими их расстояниями, однако пустота космоса даже внутри галактик неизмеримо выше пустоты атома с его малюсеньким центральным ядром и огромными электронными оболочками.

Галактики представляют собой «островки» вещества — именно в них сосредоточены звезды, которые распределены во Вселенной крайне неравномерно. Каждая галактика насчитывает десятки и сотни миллиардов звезд. Вещество, которое образуется в процессе звездной эволюции, остается в галактике и служит тем материалом, из которого образуются новые звезды и планеты. Если бы звезды были равномерно рассеяны по всему объему Вселенной, их формирование шло бы неизмеримо медленнее и Земли, а вместе с ней и нас могло бы и не существовать.

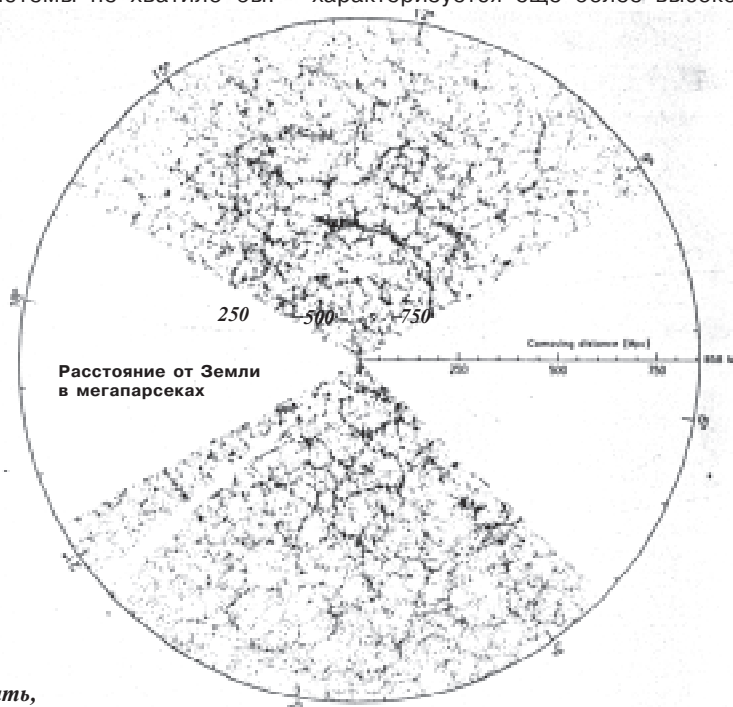
Пространство между галактиками характеризуется еще более высокой

степенью пустоты, чем в галактиках, поскольку звезд там нет совсем. Наша Галактика — Млечный Путь — имеет форму диска толщиной 10^{16} км, а ее диаметр — 10^{18} км. Диаметр Галактики оказывается, таким образом, в триллион раз больше диаметра Солнца (изображенного нами в виде точки размером в 0,1 мм) и в нашем масштабе составляет 100 тыс. км, что примерно равно одной четверти расстояния от Земли до Луны.

Сделаем диаметр Галактики равным человеческому росту, то есть пройдем еще 8 порядков по шкале расстояний. Тогда диаметр земной орбиты будет чуть больше размеров атома водорода. С этой ступеньки можно заметить, что галактики, как и звезды, собираются в островки. Наша Галактика входит в так называемую местную группу, состоящую примерно из 20 галактик, ближайшая из которых — туманность Андромеды, удаленная от нас на расстояние 2 млн. световых лет (это означает, что мы видим ее такой, какой она была 2 млн. лет назад). В нашем масштабе это расстояние равно 35 м. Интересно, что это первая ступенька на пройденной нами лестнице шкалы масштабов, на которой пустота пространства становится не такой заметной — расстояние между двумя соседними объектами всего в 20 раз больше, чем их размеры. Ни в мире атомов, ни в мире планет и звезд нет ничего похожего. Местная группа, в свою очередь, входит в большое скопление, состоящее из нескольких тысяч галактик, центр которого находится в созвездии Девы. Размер этого скопления в нашей шкале составит около 600 м.

Еще одна ступенька вверх. Уменьшим наше скопление галактик в 1000 раз, до 60 см. Земная орбита станет всего в 10 раз больше размеров атомного ядра. Наша Галактика (которую в действительности даже свет, движущийся со скоростью 300 тыс. км в секунду, пересекает за 100 тыс. лет) окажется диаметром 2 мм. Мы с вами на самой верхней ступеньке, с которой можно уже разглядеть границу Вселенной — до этой границы всего около 400 м. Все пространство заполнено скоплениями галактик. Размеры скоплений около метра, тогда как размер составляющих их галактик исчисляется миллиметрами. Скопления эти образуют трехмерную ячеистую структуру — она похожа на пену из тесно примыкающих друг к другу пузырьков. В стенках пузырьков много скоплений, в середине — почти нет.

Так выглядит пространственная



Принято считать, что такая ячеистая структура Вселенной (из "The Astrophysical Journal", 2005, т. 624) возникла из-за действия ударных звуковых волн на самых ранних этапах ее образования. Большие белые сектора сверху и снизу соответствуют галактической плоскости. Вблизи этой плоскости находятся большие скопления непрозрачной межзвездной пыли, которые делают области Вселенной, лежащие в этих направлениях, ненаблюдаемыми.



структура нашего мира, увидеть которую мы смогли, опустившись сначала на три ступеньки вниз по шкале масштабов и пройдя 15 порядков величины, а потом поднявшись по трем ступенькам, ведущим вверх через 25 порядков. Однако сцена вселенского спектакля формируется не только

Декабрьский блок календаря Карла Сагана

КАРТИНА МИРА: ФИЗИКА

пространством, но и временем. Как же выглядит временная составляющая сцены вселенского спектакля, о котором мы говорим?

Сцена: временной аспект

Где начало того конца, которым оканчивается начало?

Козьма Прутков Около 14 млрд. лет, или 400 млн. млрд. секунд, назад случился Большой Взрыв, в результате которого Вселенная начала расширяться и расширяется до сих пор. Все временные интервалы в нашем мире — от самых больших до самых маленьких — неизбежно вложены в этот максимальный интервал. Американский астроном Карл Саган предложил календарь, который позволяет наглядно представить себе взаимоотношение разных временных масштабов. Возраст Вселенной приравнен в ней к одному году, а все остальные интервалы пропорционально уменьшены.

Вот основные даты этого календаря. Большой Взрыв — 1 января 0^ч 0^м 0^с. Образование галактик — 10 января. Образование Солнечной системы — 9 сентября. Образование Земли — 14 сентября. Возникновение жизни на Земле — 25 сентября. Появление бактерий — 9 октября. Первые клетки с ядром — 15 ноября. Дальнейшие события, связанные с развитием жизни на Земле, вынесены в отдельный «декабрьский» блок, распланированный по дням. Заметим, что человек в этом временном масштабе существует только последние полтора «предновогодних» часа. А средняя человеческая жизнь длится чуть больше чем 0,1 секунды.

Пространство и время никак нельзя считать независимыми друг от друга. Постоянная Планка h (порядка 10^{-34} Дж·с) — минимальный квант действия — включает в себя обе компоненты: и времени, и пространства. Эта фундаментальная константа определяет минимально возможное изменение состояния материи в пространстве и времени, которое можно сравнить с кадром в киноленте. Подобно тому как кине-

матографические кадры, сменяя друг друга, создают у нас впечатление непрерывно и плавно меняющегося изображения, действительность вокруг нас состоит из мельчайших скачкообразных изменений, совокупность которых мы воспринимаем как непрерывный процесс — просто потому, что наши размеры и воспринимаемые чувствами интервалы времени слишком велики.

Связь времени и пространства в нашем макром мире можно заметить на астрономических масштабах. Наблюдая, например, квазары — объекты, отстоящие от Земли на миллиарды световых лет, — мы, по сути, видим не только отдаленные в пространстве области Вселенной, но и ее далекое прошлое. И чем дальше космический объект от нас, тем глубже удается в это прошлое заглянуть. Электромагнитное излучение, принимаемое от наиболее далеких квазаров сегодня, было рождено в эпоху, когда звезды только-только начинали формироваться. Другими словами, мы наблюдаем юную Вселенную.

Солнце мы видим таким, каким оно было восемь минут назад. Самые яркие звезды на небе посылают нам свет из прошлого «глубиной» в несколько лет или несколько десятков лет. По звездному каталогу можно выбрать звезду, расстояние до которой, выраженное в световых годах, примерно равно нашему возрасту. А потом найти эту звезду на небе и посмотреть, что происходило во Вселенной, когда мы пришли в этот мир...

И последнее. Средняя продолжительность человеческой жизни составляет, как мы видели, одну десятую секунды в масштабах космического года и немногим более 2 млрд. секунд по реальной шкале. Двойка и девять нулей. Из них около 700 млн. секунд мы спим, а 200 млн. секунд приходится на раннее детство. Как мы потратим оставшийся миллиард — зависит от нас. Примерно 500 секунд из этого миллиарда прошли, пока вы читали эту статью.





Таблица 2

Данные по каждому участнику и по парам «прием–передача»

Участники	Общее число опытов (N)	Число правильных угадываний (K)	P _c , %	P _T , %
А	34	8	26	74
Б	31	3	88	12
В	46	13	6	94
А — Б	14	4	14	86
А – В	20	4	35	65
Б–А	16	1	95	5
Б–В	15	2	80	20
В–А	25	6	21	79
В–Б	21	7	11	89

больше случайного исхода событий. Вероятность случайного отгадывания каждого образа $p=1/6$, то есть каждый участник мог по своему усмотрению выбрать любой из пяти геометрических образов или просто не выйти на «связь». Среднее число случайных угадываний тогда составит $111/6=18,5$. Чтобы посчитать вероятность случайного угадывания 24 событий из 111, нужно воспользоваться интегральным распределением Пуассона. В соответствии с правилами для такого распределения, вероятность P_c определяется формулой

$$P_c = \sum_{i=24}^{111} 18,5^i \cdot e^{-18,5} / i!$$

и равняется 0,15. Это означает, что в среднем по всем участникам эксперимента вероятность статистически случайного правильного определения наличия мыслеобраза составляет 15%, тогда вероятность телепатического влияния на приемо-передачу мыслеобразов составляет 85%, то есть более вероятно, что совпадение не случайно, а служит проявлением телепатии — сознательной передачи мысли. Результаты по разным участникам эксперимента существенно отличаются как от усредненного результата, так и друг от друга (таблица 2). Глядя на нее, можно прийти к нескольким интересным выводам:

1) лучше всего передавал Б (хотя этот вывод не совсем корректен, скорее — лучше всего чувствовалось его отсутствие на связи);

2) лучше всего принимал В, причем вероятность телепатии в среднем из 46 сеансов довольно высока — 94%;

3) наиболее телепатичная пара В–Б;

4) взаимная связь лучше у А–В;

5) на приеме у Б худший результат, ему удалось правильно принять событий меньше, чем это определяется только случайностью, — из 31 события он должен был случайно угадать не менее четырех событий, а угадал лишь три.

Поскольку в среднем зарегистрированный эффект оказался незначительным, было решено увеличить выборку и провести эксперименты уже с пятью участниками. В этом случае было зафиксировано 324 события, из них 69 угадано правильно. При обработке по правилам для распределения Гаусса (увеличение числа участников позволило отказаться от распределения Пуассона) это соответствует вероятности телепатии 97%.

На втором этапе эксперимента способность Б узнавать увеличилась в четыре раза, хотя у двух других участников — А и В — эта способность уменьшилась (видимо, устали или потеряли интерес к эксперименту). Повышенная распознаваемость образов, передаваемых Б, отмечена у всех участников эксперимента. В среднем же увеличение числа участников привело к значительно более надежному выявлению эффекта. Попробуем немного разобраться, в чем его суть.

Если из полученных результатов исключить случаи определения отсутствия человека на связи и учитывать только факты правильного определения одного из пяти образов (что, по сути, и можно назвать телепатией в прямом смысле этого слова), то выяснится, что никакой телепатии зафиксировать не удалось (44 угадывания

из 324 при случайном среднем для пяти исходов 65). Порог случайного угадывания образов $P_T = 50\%$ превысили только двое из пяти участников Д и В: 65 и 82%. Средний же по группе из пяти участников результат телепатии образов — вероятность телепатии равна 0.

Из всей этой работы можно сделать два главных вывода. Во-первых, факт мысленной передачи элементарных геометрических образов на расстоянии зафиксировать не удалось. Во-вторых, факт удаленного обнаружения на расстоянии присутствия человека в данном эксперименте зафиксирован с большой достоверностью. В-третьих, оказалось, что склонность к приему-передаче информации сильно зависит от индивидуальных способностей человека, причем хорошая способность к приему вовсе не означает столь же хорошую способность к передаче. Кроме того, существуют наиболее эффективные приемо-передающие пары.

Проведя эти эксперименты и удовлетворив таким образом свое любопытство, я больше к ним не возвращался. Однако не исключено, что эти данные помогут в дальнейшем поиске разгадки увлекательнейшей загадки сверхъестественных способностей человека.

Кандидат
технических наук
А.В. Шумаков

Лучи жизни и голос звезд

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

Тело человека излучает. Причем в нескольких диапазонах. Тепло инфракрасных или видимых лучей нетрудно заметить без приборов. Меньшие или большие частоты регистрировать сложнее, однако это не означает их отсутствие. А может ли живой организм излучать в СВЧ-диапазоне? Вопрос не праздный: ведь если частоты этих волн попадут в диапазон прозрачности — в ту область, где молекулы основного вещества человеческого тела — воды — не поглощают излучение, они смогут выносить вовне (а также вносить внутрь) некую информацию. Примерно этим диапазоном пользуются создатели терагерцевой томографии (см. «Химию и жизнь», 2002, № 11), которые разглядывают объекты, скрытые от глаз. Ответ на поставленный вопрос предлагает автор этой статьи.

Все живые клетки окружены чрезвычайно тонкой оболочкой — мембраной. Вот как писал о ней наш виднейший биофизик М.В.Волькенштейн: «Мембрана существенно отличается от окружающего ее водного раствора, в частности, ее внутренние гидрофобные слои характеризуются малым значением диэлектрической проницаемости. На пути молекул и ионов, поступающих в мембрану из водной среды, находится сложный энергетический профиль, движение ионов в мембране требует преодоления высоких активационных барьеров, ибо эти ионы не растворяются в липидной фазе. Так как коэффициенты распределения катионов и анионов различны, на границе мембраны и раствора электролита возникает электрический двойной слой. Например, внутри клетки концентрация ионов калия может быть в двадцать—тридцать раз выше, чем во внешней среде. С наличием градиента концентрации ионов связана наблюдаемая на опыте разность потенциалов между цитоплазмой и окружающей средой порядка 50—70 мВ».

Ионы проникают сквозь мембрану через специальные белковые структуры — каналы. Главные из них — каналы для ионов калия, натрия, кальция и магния. Эти-то ионы как раз и могут стать источником СВЧ-излучения живых организмов. Ведь двигаясь через канал, они есть не что иное, как электрический ток. А он, проходя с ускорением через электрическое поле, неизбежно порождает излучение

Разность потенциалов на оболочке клетки, как видно, крохотна. Сила электричес-

кого тока от прохождения единичного иона через канал тоже мала — миллиардные доли ампер. Однако если учесть микрокопическую толщину мембраны — порядка 10 нм, то напряженность поля в ней огромна — десятки тысяч вольт на сантиметр. Значит, интенсивность излучения может быть отнюдь не пренебрежимо малой. Таким образом, тело человека (и любого другого живого существа вплоть до амебы и бактерии) становится генератором-излучателем радиоволн миллиметровой длины. Это воистину голос всего живого.

Очевидно, способность к излучению появилась еще у самых первых одноклеточных миллиард лет назад и вполне может служить признаком отличия живого от неживого. Более того, она могла оказаться и одной из первых систем обмена информацией, а потом, уже у высших организмов, превратиться в рудимент. Может быть, феномен кожного зрения и чувство удара у мастеров восточных единоборств связаны с изменением потенциалов на коже в результате воздействия внешнего или отраженного СВЧ-излучения. Известно, что человеческое тело прекрасно улавливает радиоволны: попробуйте подойти к плохо принимающему сигнал телевизору на даче и взяться рукой за антенну. Если слабый наведенный электрический ток в человеческом теле способен вызывать кванты коротковолнового радиодиапазона, то тем более это должны делать более энергичные кванты СВЧ-излучения. Из всего спектра радиоволн именно сверхвысокочастотные могут нести максимальный объем информации в единицу времени.

Все слышали о взглядах, которые чувствуешь спиной, многие сами испытывали это неприятное ощущение. А ведь глаза вполне могут служить антеннами-излучателями нашего мозга. Во-первых, именно в нейронах сильнее всего идут электрические процессы, связанные с перемещением ионов. Во-вторых, задняя поверхность глаза чуть ли не напрямую соприкасается с мозгом. В-третьих, передняя поверхность глаза представлена вполне прозрачным для электромагнитного излучения стекловидным телом. Таким образом, через глаз мозг практически напрямую связан с окружающим пространством: во всех остальных направлениях он окружен толстым защитным слоем из кости и кожи. Интересно, а если посмотреть собеседнику в глаза, как изменится разность потенциалов на сетчатке этих глаз и какие

электроимпульсы побегут в его мозг? СВЧ-радиоволны, попадая на клетки наших глазных нервов, должны вызывать в них слабый наведенный электрический ток. Эти биотоки затем поступают в мозг. Но вот есть ли в нем центр, наподобие зрительного, способный эту информацию расшифровать и воспринять? Современные томографы позволяют это выяснить. И если такой центр дальновидения и телепатии удалось бы обнаружить, то вопрос о существовании телепатии перешел бы в поиск методов того, как заставить этот центр работать, пробудить от спячки. На Востоке это называлось — раскрыть третий глаз Будды.

По законам квантовой механики спектр СВЧ-радиоизлучения клеток живого организма должен быть сплошным и широкополосным. Делать узкополосным и сложномодулированным это излучение может только мозг. Не случайно между насекомыми, обладающими только нервными центрами, и животными существует огромный эволюционный разрыв. Экстрасенс отличается тем, что у него импульс излучения и соответственно мощность СВЧ-излучения в единицу времени значительно больше, чем у среднего человека. Но при этом экстрасенс может увеличивать и уменьшать мощность этих сложноструктурных электромагнитных радиоизлучений. Вероятно, способности экстрасенсов в основном определяются особенностями биохимии их организма. Поэтому этому искусству вряд ли можно научиться, не имея природного дара.

С.А.Цимбалюк,
nootelep@yandex.ru

Канал для иона

История поиска ионных каналов в мембранах клеток связана с целой серией Нобелевских премий. Ее начал Вильгельм Оствальд (премия 1909 года), который в 1890 году пришел к выводу о том, что электрические токи в живых организмах могут быть связаны с движениями ионов через мембраны клеток.

Следующая премия (1964 год) досталась А.Ходжкину и А.Хаксли. В начале 1950-х годов они внимательно изучили ионный транспорт через гигантский аксон кальмара и высказали основную идею: в мембране для каждого иона, прежде всего натрия и калия, имеется свой канал. Никакой другой ион через этот канал пройти не может. Сам же канал пребывает либо в открытом, либо в закрытом состоянии в зависимости от электрического потенциала на мембране. Благодаря такому устройству удается обеспечить быстрые потоки ионов через мембра-

Электровидение мормирусов



ФОТОФАКТ

В Африке, в мутных озерах и реках, живут удивительные рыбки — мормирусы, они же клюворылы. Их главная особенность — наличие электрического органа у хвоста. С его помощью мормирус формирует импульсный сигнал, а группы нервных клеток, разбросанные по всей поверхности тела другой рыбки, принимают этот сигнал. Те же клетки, впрочем, реагируют и на другие изменения окружающих электрических полей; считается, что рыбки таким образом приспособились ориентироваться в мутной воде, где ничего не видно.

В частности, обмениваясь электрическими сигналами, мормирусы находят себе пару для последующего продолжения рода, и тут (как сообщает «Journal of Experimental Biology», июнь, 2006) начинается самое интересное. «С середины 70-х в нашей лаборатории изучают электрические сигналы мормирусов Хопкинса из габонской реки Ивиндо, — рассказывает аспирант Мэтью Арнегард, который работает под руководством профессора Карла Хопкинса из Корнеллского университета (США). — И похоже, нам удалось заметить образование двух видов, причем в самом его начале». Ученые выделили два типа рыбок, которые подают разные сигналы и при этом внешне не слишком похожи друг на друга. А генетическая экспертиза показала, что геномы их одинаковы. «Превращение одного вида в два может начаться по мно-



Белые точки, которыми усеяно тело мормируса, — это лишенные пигмента поры. Под ними спрятаны электрические рецепторы. Электрический рецептор мормируса состоит из нескольких клеток диаметром 60 микрон, которые присоединены к нерву, покрытому толстой миелиновой оболочкой. Когда рыбка излучает импульс, она отключает рецепторы и сама себя не слышит. Рецептор не реагирует на амплитуду электрического сигнала, а фиксирует скорость его изменения, то есть профиль импульса, чувствительность же составляет 0,1 мВ/см. Как показал Карл Хопкинс в 1986 году, у рецепторов рыбки есть два максимума распознавания — около 1,5 кГц и между 0,5—1 кГц

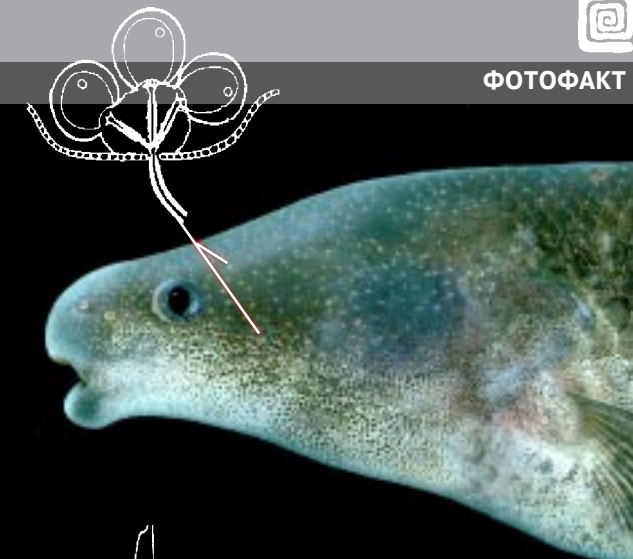
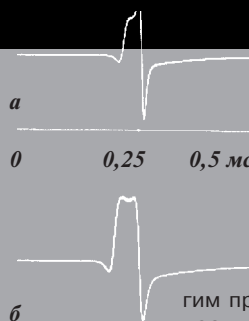


Фото Карла Хопкинса



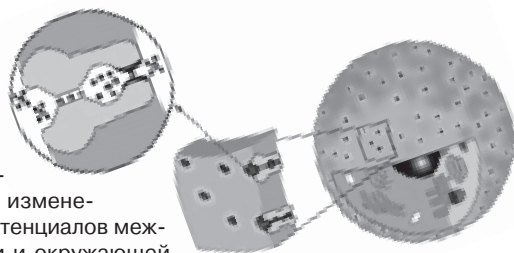
Типичные импульсы самцов (а) и самок (б) мормируса Хопкинса. Если сигнал самки разложить в Фурье-спектр, то есть на отдельные частоты, то его максимум как раз придется на 1,5 кГц

гим причинам. Один из них — неспособность представителей двух популяций давать потомство. В нашем случае причина такой неспособности в том, что рыбки с разными сигналами не могут заметить друг друга и создать пару», — говорит Мэтью Арнегард.

С.Анофелес

СПРАВКА

Схема ионного канала (из нобелевской лекции Мак-Киннона).



ну и, как следствие, быстрое изменение разности потенциалов между телом клетки и окружающей средой. (Позднее выяснилось, что открытием и закрытием ионных каналов могут управлять также специальные сигнальные молекулы.) В 1998 году будущий нобелевский лауреат (2003 года) Родерик Мак-Киннон впервые сумел разглядеть структуру канала.

Он состоит из внешней и внутренней полостей, которые разделены фильтром. А между внутренней полостью и телом клетки расположены ворота. Фильтр устроен очень хитро. Обычно ион калия или натрия путешествует по окружающей клетку среде в гидратированном виде: к нему присоединена шуба из четырех молекул воды. Фильтр же содержит четыре атома кислорода, которые,

в случае, например, калиевого канала, расположены на точно таком же расстоянии друг от друга, на каком расположены молекулы воды вокруг иона калия. Попав в фильтр, такой ион

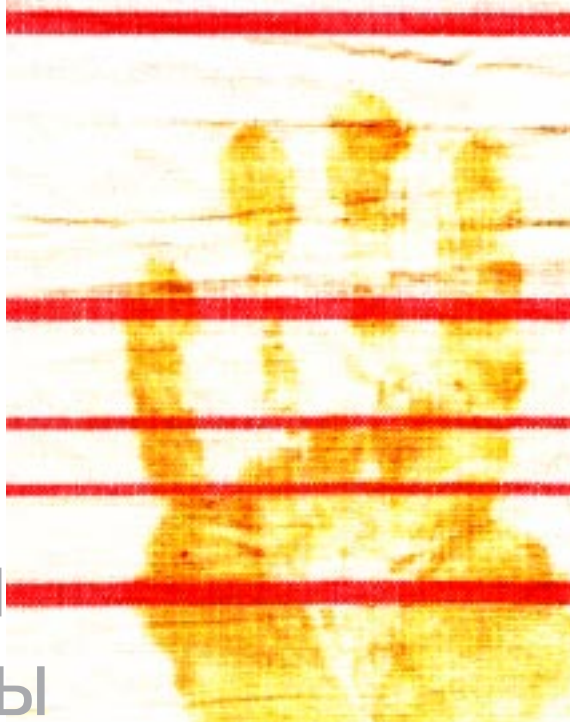
сменит шубу и даже этого не заметит. Если же ион будет другого размера, например маленький ион натрия, то пройти ему не удастся: водяная шуба не отцепится и будет мешать. Что же касается ворот, то они открываются в результате изменения конформации белка. Именно это изменение и происходит в ответ на изменение электрического потенциала мембраны.

Переток ионов сквозь каналы лежит в основе всей нервной деятельности, а также работы мышц и клеток эндокринных желез. Вот как выглядит прохождение электрического импульса по аксону нейрона в соответствии с результатами опытов Ходжкина и Хаксли. Обычно концент-

рация ионов калия внутри клетки гораздо выше, чем снаружи. Потенциал же внутри клетки — отрицательный по отношению к внешней среде и равен примерно 80 мВ. При прохождении нервного импульса на мембрану подается возбуждающий потенциал. Он имеет пороговое значение, примерно равное 50 мВ. Если потенциал ниже этого критического значения, ничего не происходит, а если выше, то мембрана деполяризуется. При этом открываются натриевые каналы, и ионы натрия входят внутрь клетки. В результате внутренняя поверхность мембраны меняет знак своего заряда с минуса на плюс. Потом следует этап генерации импульса, во время которого открываются калиевые каналы, и сквозь них ионы калия покидают клетку. Заряд мембраны восстанавливается. Через некоторое время она вновь способна проводить импульс. Всего за время генерации одного импульса через квадратный микрон поверхности волокна проходит по 20 тысяч ионов натрия и калия.

П.Данилов

Разгадка одной из тайн Туринской плащаницы



Мало кто в наше время не слышал о древней христианской святыне — Туринской плащанице. На этом полотне отчетливо видны два желтовато-коричневых отпечатка обнаженного мужского тела, расположенных симметрично, голова к голове. (Подробно об этой святыне рассуждал Л.И.Верховский в журнале «Химия и жизнь», 1991, №12.) Ученых же волнуют два вопроса: когда было сделано изображение и каким способом. Попробуем найти ответ на второй вопрос.

Результаты, полученные участниками обширного исследовательского проекта по изучению Туринской плащаницы в 90-х годах XX века, показали, что изображение тела создают небольшие потемневшие участки на льняных волокнах, которые расположены в верхних секторах нитей на поверхности ткани. С нижней стороны волокна, а также в местах, где нити пересекаются между собой, образуя основу ткани, никаких потемнений нет.

Химические анализы, выполненные А.Адлером, химиком из Университета Западного Коннектикута (США), показали, что участки льняных волокон потемнели в результате дегидратации, то есть обезвоживания целлюлозы, входящей в состав клеточных стенок. Влага — неотъемлемая часть текстильных волокон. Когда ее содержание становится меньше 10% от массы сухого волокна, оно начинает необратимо терять свои ценные свойства: становится менее гибкими, а белизна поверхности уменьшается. Это установленные факты. А дальше начинаются гипотезы.

Профессор Р.Романезе и его коллеги из Туринского университета пред-

положили, что отпечаток на ткани мог возникнуть из-за химического взаимодействия находившихся на теле веществ с водой и целлюлозой волокон. Это вещества, которые были использованы при бальзамировании, и вещества, выделенные с человеческим потом. Однако попытки ученых в опытах с льняными тканями экспериментально только за счет химического взаимодействия создать изображение, подобное отпечатку на плащанице, не дали положительного результата.

В результате исследований физика-ядерщика К.Литл из британского Центра ядерной энергетики (AERE) был сделан вывод, что это изображение могло возникнуть из-за какого-то неизвестного процесса, который ускорила необратимую дегидратацию целлюлозы поверхностных льняных волокон. Однако ответа на вопрос, почему поверхность волокон потемнела не полностью, а представляет собой своеобразную мозаику, формирующую изображение, получено не было.

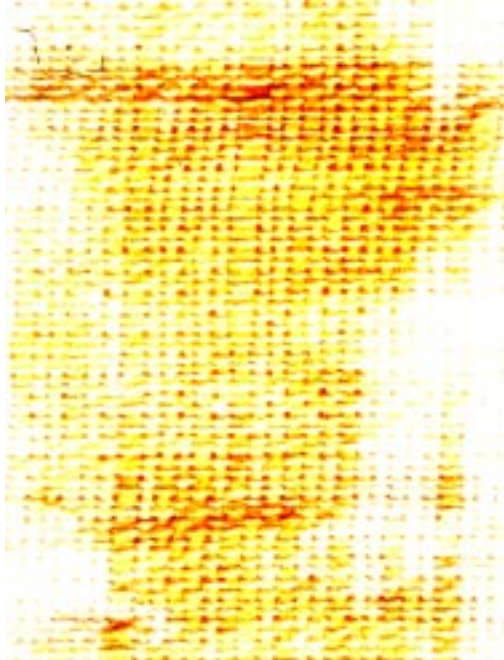
Вообще говоря, добиться дегидратации льняных волокон совсем не сложно. Любому ткачу известно, что кусок сухого белого льняного полотна, оставленный на солнце, обязательно пожелтеет. Только время пребывания этого полотна на солнечном свете должно быть длительным, так как от его поверхности может отражаться более 90% излучения в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Возможно, именно такой механизм и сработал при дегидратации волокон полотна плащаницы.

В Новом Завете есть две версии похорон Христа. Вот фрагмент из Евангелия от Иоанна: «После сего Иосиф

из Аримафеи — ученик Иисуса, но тайный из страха от Иудеев, — просил Пилата, чтобы снять тело Иисуса; и Пилат позволил. Он пошел и снял тело Иисуса. Пришел так же и Никодим — приходивший прежде к Иисусу ночью, — и принес состав из смирны и алая, литр около ста. Итак, они взяли тело Иисуса и обвили его пеленами с благовониями, как обыкновенно погребают Иудеи». Евангелие от Марка трактует событие по-другому: «И, узнав от сотника, отдал тело Иосифу. Он, купив плащаницу и сняв Его, обвил плащаницею, и положил Его во гробе, который был выточен в скале, и привалил камень к двери гроба... По прошествии субботы Мария Магдалина и Мария Иаковлева и Саломия купили ароматы, чтобы идти помазать Его».

Примем за основу для дальнейших рассуждений первую версию. Очевидно, что состав из смирны (мирры, ароматической смолы, выделяемая некоторыми растениями семейства бурзеровых, которые растут в Аравии и Эфиопии) и алое — это препарат для бальзамирования, который наносят на тело умершего. Он неизбежно должен был попасть с тела и на ткань плащаницы, образовав масляный отпечаток на полотне. В его состав помимо смолы (это важно!) и полисахаридов сока алоэ входили еще и оливковое масло (на основе которого готовили суспензию этих основных веществ), а также щелочные вещества, использованные для обезвоживания тела. Очевидно, при уборке гроба плащаницу могли вынести и разложить на солнце для просушивания.

Рассмотрим процесс освещения солнечными лучами такого отпечатка



ме появления изображения на ткани под воздействием энергии солнечного света. Подготовка к модельному эксперименту мною была разбита на этапы: приготовление мази, нанесение ее на ткань способом печати и завершение «окраски» — обработка отпечатка энергией электромагнитного излучения.

Для приготовления «красящего» состава была использована технология получения лекарственных мазей, рекомендуемая для фармацевтов. Вначале я сделал водную эмульсию растолченного ладана — состава для каждения, который содержит мирру и другие подобные вещества. Сок алоэ получил из свежесобранных листьев хорошо известного комнатного растения. Главное отличие использованного сока алоэ древовидного (*Aloe arborescens*) от сока алоэ настоящего (*Aloe barbadensis*), который применяли на Ближнем Востоке для бальзамирования, — отсутствие пряного запаха. Надеюсь, это не слишком повлияло на дегидратацию целлюлозы волокон. Оба компонента я смешал с оливковым маслом при небольшом нагревании и перемешивании, добавил по 1% поваренной соли и сухого порошка углекислого натрия, то есть соды, и дал остыть. На куске белой полотняной льняной ткани «Холст полотняный гладкий белый с цветными просновками» я и отпечатал свою ладонь, покрытую полученной мазью.

Потом наступил самый ответственный этап — прогревание ткани. Для этого был использован свет ксеноновой лампы типа ДКСт, мощностью 500 Вт. Ее основное излучение в диапазоне длин волн 300—1200 нм дает спектр, похожий на солнечный. Чтобы обеспечить мощность 600 Вт/м², образец ткани я поместил примерно в 25 см от лампы. Время прогрева составляло 15—20 минут. Видимый масляный отпечаток исчезал уже через 5—6 минут после начала нагрева, а на полотне оставался потемневший след руки, который и продолжал прогреваться светом лампы. Этот отпечаток на ткани оставался и после прогрева. Получившееся изображение

тела на ткани. Общеизвестно, что в полуденные часы летних месяцев, особенно в южных районах, количество энергии солнечных лучей у земной поверхности может достигать значительной величины: по данным, которые приводит А.Бялко («Наша планета Земля». М.: Наука. 1983), — до 600 Вт/м². Солнечные лучи у поверхности Земли практически параллельны друг другу, поэтому нагрев волокон и соответственно дегидратация целлюлозы лучше происходят в верхнем слое льняных волокон, поверхность которых перпендикулярна направлению солнечных лучей. Другие части волокон, непосредственно не освещенные солнечными лучами, не перегреваются и дегидратации не подвергаются.

Масляное окружение частей волокон в этом случае играло роль хорошей теплопроводящей среды, способствуя нагреву других участков волокон и, как следствие, их необратимой дегидратации. И здесь есть два механизма. Во-первых, гидрофильные вещества из сока алоэ (полисахариды), попавшие из мази на полотно, формировали водородные связи с молекулами целлюлозы нагретых волокон, вытесняя молекулы воды. А во-вторых, микрочастицы смолистых веществ, которые образуют в масле суспензию, могли нагреваться гораздо сильнее белых волокон и служить своего рода концентраторами солнечной энергии: под ними дегидратация волокна должна идти гораздо быстрее. Так и возникла мозаичная картина.

Теперь необходимо экспериментально проверить гипотезу о механиз-

(фото на стр. 38) состоит из расплывчатых желтоватых пятен, без видимых границ. Очевидно, этот отпечаток руки обладает некоторыми свойствами фотографического негатива. Части пальцев и ладони, соприкасавшиеся с полотном, кажутся темными, и чем плотнее прижимались к полотну эти части, тем темнее полученный отпечаток. Это и понятно, ведь с них на полотно попало больше мази. Фотография, сделанная с большим разрешением (фото на стр. 39), подтвердила, что изображенные сформировано льняными волокнами, которые потемнели только в верхней части, хотя источник света испускал не параллельные лучи, а рассеянный свет.

Подведем итоги. Успешные предварительные эксперименты показали жизнеспособность предложенного механизма дегидратации льняных волокон энергией солнечного света. На основе проведенных модельных опытов можно сделать вывод, что обезвоженное на солнце тело и сухое место погребения при небольшом количестве мази на теле могли дать четкий масляный отпечаток тела на полотне.

Что еще почитать об исследованиях плащаницы

A.D.Adler. Aspetti fisico-chimici delle immagini sindoniche, in: Sindone, cento anni di ricerca, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato, Roma 1998.

R.Romanese. Contributo sperimentale allo studio della genesi della impronte della S.Sindone. — La S.S. Nell'ric. Mod. 1950, Torino.

K.Little. Photographic Studies of Polymeric Materials, ch. 4. Photographic Techniques in Scientific Research, vol.III, Academic Press, 1978.

В.Синельников. Туринская плащаница на заре новой эры. Изд. Сретенского монастыря. М., 2002.

М.Т.Левшенко

Разные разности

Выпуск подготовили

М.Егорова,
Е.Сутоцкая

Источники:
BBC News;
EurekAlert!;
News@nature.com

Перед землетрясением в морских водах увеличивается содержание хлорофилла. Это установили сотрудники расположенного в Канпуре Индийского технологического института и их американские коллеги. Они проанализировали полученные со спутников снимки поверхности моря накануне землетрясений в Гуджарате (Индия) в 2001 году, в Алжире и на Андаманских островах в 2002-м, в Баме (Иран) в 2003-м. Из космоса можно точно измерить содержание хлорофилла в воде. А увеличивается оно потому, что становится больше растительного планктона, которому этот пигмент нужен для фотосинтеза.

Авторы работы объясняют полученный результат тем, что перед землетрясением растет температура поверхностных вод (это подтвердили космические снимки). Увеличиваются также испарение воды и отвод тепла с паром. В свою очередь, активизируется апвеллинг — подъем глубинных холодных и богатых питательными веществами вод на поверхность, что благотворно сказывается на жизни планктона. Концентрация хлорофилла А, повышается, вода «цветает». Интенсивность «цветения» зависит от глубины океана и в еще большей степени от близости эпицентра землетрясения.

Ученые уверены, что подобные наблюдения можно использовать для прогноза возможных катаклизмов. При сильной облачности, когда космические наблюдения затруднены, можно полагаться на измерение температуры воды с борта судна.

Принято думать, что во времена неолита люди вели тихую, мирную жизнь, занимаясь земледелием и скотоводством. Судя по результатам исследования, проведенного Р.Шалтингом из Королевского университета в Белфасте и М.Высоцким из Университета Центрального Ланкашира, на самом деле все обстояло иначе.

Авторы работы изучили черепа, относящиеся к 4000–3200 годам до нашей эры. Около 5% из них несут следы зажившего вдавленного перелома, 2% — незажившего, ставшего причиной смерти. Большинство ударов нанесены тупыми предметами, скорее всего — дубинками. Полученные данные не дают полной картины, так как к летальному исходу наверняка приводили и поражения мягких тканей, следы которых остаются скрытыми от глаз археологов. Можно лишь предположить, что в ту пору шанс получить травму черепа от своего собрата составлял примерно 1/20, а погибнуть от нее — 1/50. Таким образом, смертность от насилия составляла 8–33%.

Следует иметь в виду, что речь идет не о широкомасштабных боевых действиях, а о мирной жизни, которую разнообразили вылазки в стан соседей, угон скота, не всегда бескровная магия и обычное бытовое насилие.

Помимо ударов тупыми предметами жители неолита нередко получали раны, нанесенные метательным оружием, например наконечником стрелы или острым дротиком. Одна женщина, вероятно, стала жертвой нападения противника, вооруженного каменным топором. А какой-то несчастный не только получил удар по голове, но и лишился ушей, которые, видимо, забрали в качестве трофея.

Ученые из Принстонского университета (США) надели на стрекоз крошечные датчики, позволяющие следить за передвижениями насекомых. И выяснили, что стрекозы способны пролетать до 140 км в день, направляясь вдоль восточного побережья Америки из более северных районов к теплему югу.

Миграция стрекоз схожа с перелетами певчих птиц, и, возможно, здесь есть какая-то связь. А раз насекомые появились на Земле раньше птиц, скорее всего, пернатые позаимствовали основные пути миграции у насекомых.

Миллиарды обычных зеленых стрекоз кочуют каждый год, но до недавнего времени почти ничего не было известно о направлении их движения и особенностях этого путешествия. Американским специалистам удалось доказать, что в нем есть определенная система.

Стрекозы, например, пускаются в путь, только если две ночи подряд стояла прохладная погода, а надвигающийся холодный фронт сопровождается благоприятным северо-западным ветром. Они меняют курс, если впереди лежат крупные водоемы или моря. Удалось зафиксировать, как два путешественника двинулись через океан, но вскоре сменили направление и стали держаться побережья.

Датчики весили треть грамма, заряда батареи хватало на десять дней. Тем не менее выявить пункт назначения не удалось. Мощность передатчиков была ограниченной, некоторые особи улетели так далеко, что сигналы от них перестали поступать. В будущем ученые планируют усовершенствовать технику и ловить послания от крылатых путешественниц с помощью спутника.



Обитающие в Карибском море лангусты решительно избегают общения с больными собратьями. Эту способность Д. Беринджер и его коллеги из Университета Старого Доминиона (штат Вирджиния) обнаружили случайно. Обычно лангусты предпочитают находиться в компании, однако возле островов Флорида-Кис ученые заметили одиноких особей с белыми выделениями под хвостом, что свидетельствовало о поражении вирусом.

Решив разобраться в происходящем, исследователи заразили в лаборатории 16 лангустов. Затем предложили и здоровым, и зараженным экземплярам на выбор несколько нор: пустую, занятую нормальной или больной особью. На принятие решения было выделено 48 часов.

Как и ожидалось, здоровые предпочитали общество себе подобных, тщательно избегая соседства с инфицированными собратьями, которым окружение было вполне безразлично.

Удивительно, что здоровяки делали верный выбор еще до появления внешних симптомов болезни. Почти 70% таких разборчивых лангустов «учуяли» вирус через четыре недели после заражения, а через шесть, когда проявляются видимые признаки, они все уже точно знали, что надо поостеречься. Скорее всего, лангусты полагаются в своей диагностике на еще неизвестные химические вещества, выделяемые больными.

Как заболевание передается в природе, пока неясно. Однако гурманы могут быть совершенно спокойны: даже если какой-то экземпляр на рынке или в ресторане прячется в уголке аквариума, не стоит думать, что он зараженный, — вирус нападает только на молодежь, которая невелика и с точки зрения гастрономии интереса не представляет.



Заря сельского хозяйства взошла на Ближнем Востоке 11 400 лет назад, когда местные неолитические фермеры одомашнили инжир, или фиговое дерево. Это произошло почти на тысячу лет раньше, чем «приручили» ячмень, пшеницу и овощи. К такому выводу пришли американские археологи из Гарвардского университета, проведя раскопки в местечке Гилгал (в нескольких километрах к северу от древнего города Иерихона). Жители покинули его 11 200 лет назад после двухсотлетнего пребывания.

Плоды этих растений — мелкие, хрустящие на зубах орешки, что находятся во вкусных мясистых соплодиях, в быту их называют инжиром или фигами. Девять таких соплодий и 313 орешков сохранились почти в неприкосновенности. Вероятно, их высушивали для хранения.

Авторы работы сравнили найденные образцы с современными, дикими и культурными, и установили, что эти сорта разводили специально. Они не нуждаются в опылении насекомыми, плоды хорошо держатся на дереве, вызревая на нем и не падая раньше времени. Такие фиги очень мягкие, сладкие, одним словом — хороши для еды, но не содержат семян. Люди должны были догадаться, что такие деревья не дают потомства, и приступить к их разведению. Вероятно, это и стало началом сельского хозяйства. Фиги не требовали особых забот — воткнул в землю кусочек стебля, и вот уже новое растение. Не надо ни прививок, ни семян. Скорее всего, именно поэтому другие фруктовые деревья — виноград, оливы, финики — освоили только спустя пять тысячелетий.

Найденные фиги хранились рядом с диким ячменем, овсом, желудями, значит, первые фермеры одновременно использовали культурные и дикие растения, часть которых со временем тоже «одомашнили».



Грибок, возбудитель белой гнили, разлагает, казалось бы, совершенно несъедобное — фенолформальдегидную смолу. Он питается древесиной, разрушая лигнин, но его вкусовые пристрастия весьма разнообразны. Грибок справляется с распространенным пластиком полистиролом и полихлорированными дифенилами (печально известными диоксинами). Возможно, со временем люди найдут ему работу на свалках.

Клей на основе фенолформальдегидной смолы исключительно прочен. Его образуют молекулы фенола и формальдегида, соединяясь при высоком давлении и температуре. При этом получаются огромные молекулы, разрушить которые практически невозможно. Таким клеем скрепляют фанеру и стружки в древесностружечных плитах, применяют его и в деталях автомобильного кузова, и во многих других изделиях из стеклопластика.

Этот клей очень долговечен, что имеет и оборотную сторону: изделия с ним плохо поддаются вторичной переработке. Одни измельчают и используют при производстве пластмасс, другие разлагают высокой температурой и химическими растворителями, но это дорого и небезопасно для окружающей среды.

Сотрудники Университета Висконсин ля Кросс натравили на клей грибок белой гнили, поскольку по структуре фенолформальдегидная смола напоминает лигнин древесины. Через несколько дней представители вида *Phanerochaete chrysosporium* порозовели. Это означало, что клей распался на розовые составляющие. Добавленный в клей тяжелый изотоп углерода затем обнаружили в самом грибке, а электронный микроскоп показал, что поверхность клея после обработки грибком покрыта крошечными ямками. Сомнений не осталось: грибок не брезгует и этим материалом.



Осознание — одно из первых ощущений, которое развивается у человека, но оно слишком сложно, чтобы научить ему роботов. Осознание передает информацию о поверхности предмета и усилит, необходимо, чтобы его ухватить.

До сих пор основной проблемой при создании «кожного покрова» для роботов была его эластичность и долговечность. Прочные материалы, подобные силикону, не годились, чтобы обернуть механическую руку, а более мягкие материалы быстро изнашивались.

Нечто напоминающее человеческую кожу попытались создать сотрудники Университета Небраски в Линкольне (США). Их пленка толщиной 100 нм в тысячу раз тоньше печатной бумаги и состоит из слоев золота, наночастиц сульфида кадмия и изолирующего полимерного слоя толщиной 2–3 нм. Ее подсоединяют к электродам, благодаря чему сквозь нее проходит ток. Когда пленку натягивают на поверхность, слой деформируется под воздействием напряжения, электроны легче перескакивают через изолирующие слои, вступая в контакт с частицами сульфида кадмия и заставляя их светиться. Чем сильнее давление, которое испытывает пленка в той или иной части, тем сильнее она здесь светится.

Новый сенсор способен зафиксировать давление в 9 килопаскалей, эквивалентное тому, что необходимо пальцу человека для распознавания объекта. Он различает на поверхности предмет размером в 40 мкм — тоже совсем как человеческий палец. Ранее созданные сенсоры работали только в миллиметровом диапазоне.

Авторы приложили к своему изобретению американский цент, и камера, отслеживающая свечение, продемонстрировала складки на одежде президента Линкольна и буквы «TY» из слова «LIBERTY».



Молекулярная мимикрия против «иммиграционного контроля»

Доктор биологических наук,
профессор
Г.Б.Завильгельский,
кандидат биологических наук
С.М.Расторгуев

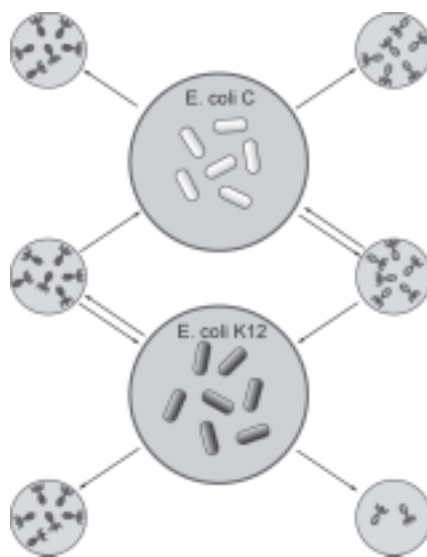
Что такое мимикрия, мы знаем с детства: достаточно вспомнить мир насекомых. Это и бабочки, например белянки, похожие на несъедобных геликонид, и разнообразные мухи-журчалки, или сирфиды, неотличимые от ос, шмелей и пчел по своей желто-черной полосатой окраске, отпугивающей птиц, и зеленые кузнечики и гусеницы, похожие на травинки, и многие другие.

Что такое иммиграционный контроль, известно каждому, кто хоть раз пересекал границу и показывал пограничникам свой паспорт с отметкой визы.

Но при чем тут микроорганизмы? Чтобы ответить на этот вопрос, нам придется вернуться в 1953 год. Именно тогда были опубликованы две статьи, вошедшие в историю современной биологии. Первая — статья Дж.Уотсона и Ф.Крика в «Nature» о двойной спирали ДНК — имела огромный успех, а ее авторы вскоре стали лауреатами Нобелевской премии. Вторая, статья Г.Бертани и Дж.Вейгла в «Journal of Bacteriology», привлекла внимание лишь специалистов-микробиологов.

В опыте Бертани — Вейгла на первый взгляд не было ничего особенно интересного. Бактериальный вирус — бактериофаг лямбда, прошедший цикл развития на штамме бактерий *Escherichia coli C*, при высевае на другом штамме (*Escherichia coli K12*) обнаруживал резкое снижение титра (примерно на четыре порядка) по сравнению с титром при высевае на изначальном штамме (рис. 1). Но это узкоспециальное наблюдение привело к открытию систем рестрикции — модификации ДНК, а без них было бы невозможным создание генетической инженерии. (Нобелевскую премию за открытие систем рестрикции — модификации значительно позже, в 1978 году, получили В.Арбер, Г.Смит и Д.Натанс, которые расшифровали механизм действия рестриктаз и метилаз.)

В этой статье рассказано об «анти-рестрикции» — явлении, в котором



1
Схема опыта Бертани — Вейгла: открытие феномена рестрикции — модификации. Бактерии Escherichia coli K12 содержат фермент рестрикции — модификации EcoKI; бактерии Escherichia coli C его не содержат. Поэтому, если заразить фагом лямбда клетки E.coli C, то ДНК фагов-потомков будет немодифицированной. В штамме K12 их ДНК деградирует, и фага становится мало, однако при пересеве на E.coli C он продолжает благоденствовать. Фаги, выросшие в суровых условиях — в штамме K12, успешно размножаются в обоих штаммах

неожиданным и удивительным образом соединились двойная спираль Уотсона — Крика, мимикрия и система рестрикции — модификации ДНК.

Молекулярная таможня

Ферментные системы рестрикции — модификации у бактерий представляют собой аналог иммиграционного контроля на клеточно-молекулярном уровне. В бактериальную клетку могут проникать молекулы ДНК, «свои» (например, от другой бактерии во время обмена генетическим матери-

алом — об этом мы расскажем чуть позже) или «чужие» (например, при заражении бактериофагом). Понятно, что клетка должна уметь различать «свою» и «чужую» ДНК и при необходимости избавляться от чужой. Для этого и существуют рестрикция и модификация.

Рестрикционные эндонуклеазы, или рестриктазы, делают в ДНК разрывы. Но не где попало: каждая рестриктаза ориентируется только на свою, специфическую последовательность «букв»-нуклеотидов — так называемый сайт рестрикции. (Эта способность аккуратно разрезать ДНК и сделала рестриктазы бесценным инструментом в руках генных инженеров.)

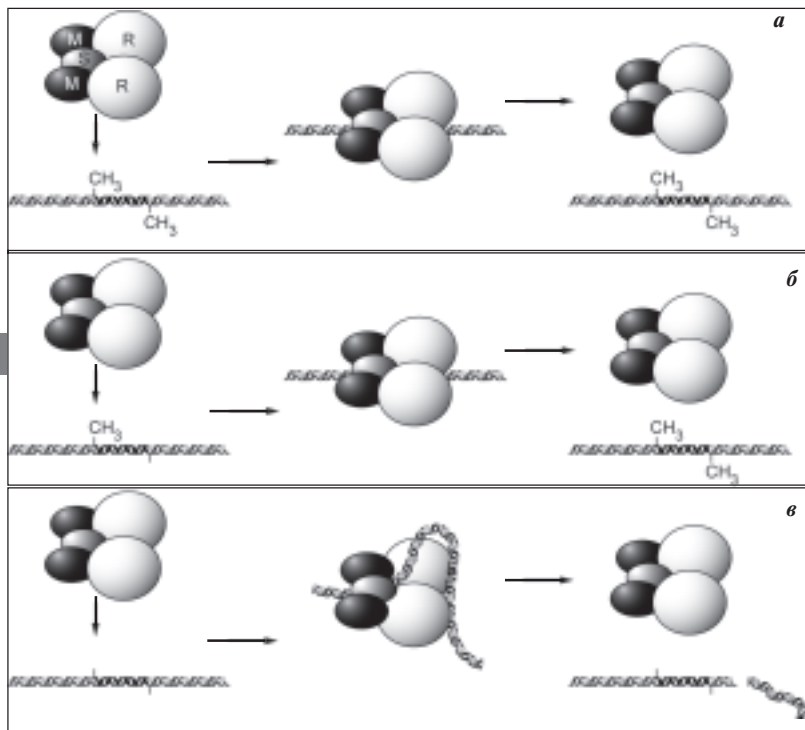
Вот, например, сайт, который узнает фермент рестрикции — модификации штамма кишечной палочки *EcoKI* (этот сайт обозначается как SK).
5'-AACNNNNNNGTGC-3'
3'-TTGNNNNNNNCACG-5'

(A — аденин, T — тимин, C — цитозин, G — гуанин, N — произвольное азотистое основание.)

Выделены аденины (A), которые фермент метилирует — присоединяет к ним группу CH₃ в шестом положении пуринового кольца. Это и есть модификация, вторая активность фермента. Зачем она нужна?

Порезать на кусочки опасную чужую ДНК — дело полезное. Но что, если сайт рестрикции встретится в собственной ДНК бактерии? «Родную» ДНК от расщепления защищает метилирование: фермент пришивает метильные группы к узнаваемым последовательностям. Если рестриктазы — это суровые пограничники, то метилтрансферазы — внутриклеточные визовые службы, которые выдают всем, кому положено, молекулярный паспорт для прохождения иммиграционного контроля. А работают те и другие в самом тесном контакте.

Фермент *EcoKI* состоит из пяти субъединиц, R₂M₂S (рис. 2). Две R-субъединицы (от «рестрикционная эндонуклеаза») расщепляют немодифицированную, то есть чужую, ДНК. Две M-субъединицы (от «метилтрансфераза») метилируют адениловые



2
 Вот так фермент рестрикции — модификации проверяет «паспорт» у ДНК:
 а — обе нити ДНК в сайте sK метилированы; комплекс распадается;
 б — одна из нитей ДНК в сайте sK метилирована; метилаза (М) присоединяет CH_3 к адениловому остатку во второй нити;
 в — обе нити в сайте sK не метилированы, значит, ДНК чужая; фермент протаскивает ее через R-субъединицы и затем разрывает

остатки в сайте — ставят штамп визы. S-субъединица — это «узнаваза»: именно она узнает sK-сайт в ДНК и формирует с ним прочный комплекс. Дальнейшие действия фермента зависят от состояния сайта. Если обе нити в нем метилированы, то фермент покидает ДНК: паспорт в порядке. Если одна из нитей метилирована, а вторая — нет (например, потому, что вторая недавно синтезирована), то метилаза М присоединяет CH_3 -группу к соответствующему адениловому остатку, и только после этого комплекс диссоциирует. Если же обе нити ДНК не метилированы — это означает, что ДНК чужая. И тут вступает в силу неумолимый закон рестрикционной активности.

Перед разрезанием неметилированной ДНК происходит ее транслокация — протаскивание двуспиральной нити через R-субъединицы, причем связь S-субъединицы с сайтом сохраняется. Фермент *EcoKI* относится к рестриктазам I типа: он расщепляет нить ДНК в случайно выбранном месте на значительном расстоянии от сайта, в отличие от рестриктаз II типа, которые делают двойные разрывы в ДНК непосредственно в сайте «узна-

вания». Протаскивание нити ДНК через фермент требует значительных энергетических затрат, поэтому рестриктазы I типа являются АТФ-зависимыми, а рестриктазы II типа — АТФ-независимыми. Далее у нас пойдет речь только о рестриктазах I типа.

Отметим еще одну особенность комплекса *EcoKI* с sK-сайтом. S-субъединица связывается лишь с крайними константными элементами сайта, AAC и GTGC. В результате биспиральная ДНК в этом месте претерпевает деформацию — значительный изгиб, что также требует энергетических затрат.



3
 Конъюгативный перенос плазмиды. В сайте *OriT* фермент никаза делает односторонний разрыв, к нему прикрепляется ДНК-праймаза и начинает синтезировать вторую нить для переноса в бактерию-реципиент. На оставшейся в клетке-доноре кольцевой ДНК синтезируется комплементарная нить

Рестрикционный барьер непроницаем для любой чужеродной ДНК, каким бы способом она ни проникла в клетку — при инъекции из фаговой головки, при трансформации (внедрении в клетку чужеродной ДНК по воле экспериментатора) или при конъюгативном переносе. О том, что это такое и почему некоторым чужакам все-таки удастся проскользнуть мимо пограничников, мы поговорим в следующей главе.

Плазмиды и антирестрикция

Конъюгация — особый вид контакта между бактериальными клетками, при котором они соединяются перемычкой, как сообщающиеся сосуды. А конъюгативный перенос — это перемещение из клетки в клетку особых молекул ДНК, плазмид. Они могут быть кольцевыми или линейными, состоят в среднем из 100 тысяч пар нуклеотидов. Плазмиды способны к самокопированию, что сближает их с вирусами. Однако они не могут стабильно существовать вне бактериальной клетки и, следовательно, должны считаться симбионтами. (Почему симбионтами, а не паразитами — об этом чуть позже.)

Успех для плазмиды, как и для всех живых организмов, вплоть до самых сложных, — это стабильность существования, быстрое размножение и распространение в природе. Эти задачи плазмиды решает с помощью двух групп генов, ответственных за репликацию плазмидной ДНК и за конъюгативный перенос. Они занимают, как правило, более половины длины плазмиды. Обе группы генов необходимы, иначе плазмиды не будут реплицироваться (то есть размножаться) и не смогут переноситься из клетки в клетку. Кроме того, в плазмиде содержатся гены, помогающие переносу (назовем их генами-помощниками), — это еще примерно 10—15 тысяч пар нуклеотидов. Оставшаяся часть плазмиды бывает заполнена «случайными» элементами, такими, как транспозоны, содержащие гены

резистентности к антибиотикам, тяжёлым металлам, гены вирулентности и т. д. Плазмида может содержать и фрагменты генов других организмов. Отсюда понятно, что многие плазмиды несут и полезную для бактерии генетическую информацию: неплохо, к примеру, заразиться от клетки-соседа умением жить в среде с антибиотиком!

Область, в которой располагаются гены-помощники, называется «лидерной», так как она примыкает к сайту *oriT*. Этот сайт — начало (*origin*) конъюгативной репликации: отсюда плазмида начинает копироваться, с тем чтобы копия была отправлена в другую клетку. Среди генов «лидерной» области подробно изучены только четыре гена. В этой статье пойдет речь о генах *ard*.

В процессе эволюции как у конъюгативных плазмид, так и у некоторых бактериофагов возникли системы, способствующие преодолению рестрикционных барьеров. Это явление получило название антирестрикции.

Оказалось, что конъюгативным плаздам безопасность обеспечивает специальный белок — антирестриктаза, который как раз и кодируется геном *ard* (*alleviation of restriction of DNA*). Впервые гены *ard* обнаружил один из авторов этой статьи, Г.Б.Завильгельский, с коллегами еще в 1984—1985 годах. А в начале 90-х нами и группой английских ученых во главе с Б.Уилкинсом гены *ard* были секвенированы и определена первичная структура белков *Ard*.

Гены *ard* (к настоящему времени известно несколько их разновидностей, которые получили индексы *ardA*, *ardB*, *ardC*) кодируют небольшие, очень кислые белки — ингибиторы клеточных рестриктаз — метилтрансфераз I типа. Показано, что гены *ard* играют важную роль в «жизненном цикле» конъюгативных плазмид, помогая им преодолевать рестрикционные барьеры при переносе из одного вида бактерий в другие.

Интересно, что у двух бактериофагов, T7 и P1, также имеются гены, кодирующие белки-антирестриктазы: эти белки называют соответственно *Osc* и *DarA*. Однако этот пример уникален. Нужно иметь в виду, что у фага

в принципе больше возможностей преодоления межклеточных рестрикционных барьеров, чем у плазмиды. Фаги (кроме так называемых умеренных) используют бактериальную клетку не для совместного существования, а лишь для размножения и затем разрушают ее.

Белки-антирестриктазы (как плазмидные, так и фаговые) ингибируют только ферменты систем рестрикции — модификации I типа, гены которых расположены, как правило, в хромосоме бактерий, но не рестрикционные эндонуклеазы II типа, гены которых обычно расположены на плазмидах.

Поддельный паспорт

В 2000 году мы предположили, что антирестриктазы семейства *Ard*, а также некоторые другие мимикрируют под ДНК. Это отнюдь не метафора: сегодня термин «белковая мимикрия ДНК» (*protein mimicry of DNA*) прочно вошел в обиход, и этот термин абсолютно точно описывает наблюдаемое явление. Судите сами: строение молекулы антирестриктазы напоминает В-форму ДНК (то есть обычную спираль), причем распределение по поверхности белка отрицательных зарядов, создаваемых остатками аспарагиновой и глутаминовой аминокислот, имитирует распределение отрицательно заряженных фосфатных групп по поверхности ДНК (рис. 4). Активная форма фаговой антирестриктазы *Osc*, представленной на рисунке, — это димер (*Osc*)₂, причем важен угол между продольными осями мономеров. Если он близок к 34°, димер наиболее точно подражает форме биспиральной ДНК, имеющей в центре изгиб (кинк).

С позиции классического ферментативного катализа механизм антирестрикции представляет собой пример конкурентного ингибирования: молекула-ингибитор, структурно подобная субстрату, занимает активный центр фермента. Цель мимикрии ясна: обмануть иммиграционный контроль. Антирестриктаза вытесняет нить ДНК из комплекса с ферментом и сама занимает ее место. Пока фермент занят изучением поддельного документа, конъюгативная плазмида или бактериофаг избегает досмотра.

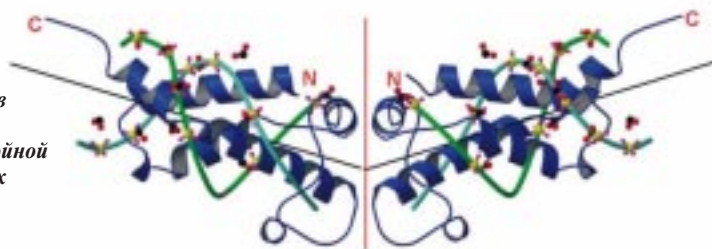
Теперь рассмотрим чуть подробнее, как работают антирестриктазы.

Выяснилось, что *ArdA* и фаговая антирестриктаза *Osc* ингибируют обе активности фермента — и эндонуклеазную, и модификационную. Логично было предположить, что антирестрикционный белок формирует комплекс с S-субъединицей фермента I типа (*R₂M₂S*), вытесняя ДНК, — естественно, при этом невозможна ни та, ни другая активность. Однако позднее были получены данные о том, что некоторые природные белки *ArdA* ингибируют лишь эндонуклеазную активность фермента *EcoKI*. Гены, кодирующие эти белки, расположены в конъюгативных плазмидах R16 и R64 (эти данные опубликованы в 2003—2004 годах группой Уилкинса и нами). Кроме того, мы показали, что если заменить некоторые аминокислотные остатки в белке *ArdA*, то мутантный белок также будет ингибировать рестрикцию, но не модификацию.

С точки зрения клетки, в которую попадает плазмида с геном *ArdA*, это хорошо: при таких условиях в ней сохраняется нормальный процесс модификации собственной ДНК. Но это значит, что антирестриктаза связывается с ферментом в двух местах: при формировании первого комплекса ингибируются обе активности фермента (эндонуклеазное расщепление и метилирование ДНК), а при формировании второго — ингибируется лишь эндонуклеазная активность, а метилазная сохраняется.

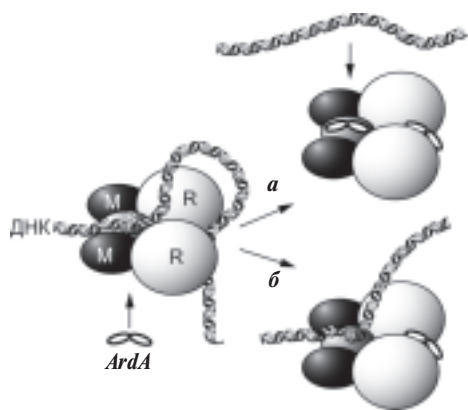
Сравнивая аминокислотные последовательности антирестриктаз *ArdA*, обладающих одной или обеими активностями, мы убедились, что различие между ними весьма незначительно. Причем практически 99%-ное восстановление антимодификационной активности происходило при замене у первого белка одной-единственной аминокислоты.

В качестве рабочей гипотезы мы предложили такую схему взаимодействия белков *ArdA* с ферментами рестрикции — модификации I типа (рис. 5). Белок *ArdA* способен связываться и с S-субъединицей, распознающей sK-сайт, и с R-субъединицей, которая отвечает за транслокацию и эндонуклеазное расщепление немоди-



4

Сотрудники Эдинбургского и Кембриджского университетов во главе с Т. Драйденом построили изображение димера антирестриктазы (*Osc*)₂. На него «наложены» участки двойной спирали, точками отмечено совпадение позиций фосфатных групп ДНК и отрицательно заряженных аминокислотных остатков белка. Мимикрия налицо!



5

Возможно, именно так антирестриктаза *ArdA* мешает работать ферменту рестрикции — модификации:

а — когда *ArdA* образует комплекс с *S*-субъединицей и вытесняет ДНК из активного центра, ингибируются и эндонуклеазная, и метилазная активности фермента;

б — *ArdA* образует комплекс только с *R*-субъединицей — фермент метилирует ДНК, но не расщепляет ее

фицированной ДНК. В первом случае выключаются обе активности. Однако эта связь может быть легко нарушена, если белок *ArdA* (например, из-за точечных мутаций) не образует димера или в этом димере нарушается критический угол между продольными осями мономеров. Связь же *ArdA* с *R*-субъединицей, по-видимому, не требует особой структуры димера. Напомним, что в *R*-субъединице происходит транслокация цепи ДНК, следовательно, комплекс не является сайт-специфичным. Поэтому мутантный *ArdA* ингибирует лишь рестрикцию, а метилазная активность не мешает — ведь ДНК остается связанной с *S*-субъединицей, и *M*-субъединица специфически метилирует адениловые остатки в *sK*-сайте. И в самом деле, известно, что *in vitro* с *EcoKI* в форме R_2M_2S связывается два димера, а с метилазной формой M_2S — только один димер (Ocr_2).

Можно предположить, что константа связывания *ArdA* с *R*-субъединицей выше, чем с *S*-субъединицей. Тогда белки *ArdA* в естественных условиях при умеренном синтезе, защищая плазмидную ДНК при конъюгативном переносе, будут ингибировать лишь рестрикцию, не затрагивая метилирования. (И выдача паспортов для клеточной ДНК продолжается, и чужаков не предадут смертной казни за нарушение границы.) Только если сконструировать гибридную плазмиду, с ко-

торой пойдет суперпродукция белка *ArdA*, может иметь место ингибирование обеих активностей фермента.

Как становятся антирестриктазами

Еще одна удивительная особенность антирестриктаз — в том, что их аминокислотные последовательности совершенно не сходны между собой. Так, в бактериальных *ArdA*, *ArdB*, *ArdC*, фаговых *Ocr* и *DarA* обнаруживается лишь небольшой гомологичный участок из 14 аминокислотных остатков, который назван «антирестрикционным мотивом». Для него характерно строго постоянное расположение отрицательных зарядов, то есть аспарагиновой и глутаминовой аминокислот, о которых мы уже говорили, а также наличие гидрофобных аминокислот в конце, в середине и в начале.

Мы обратили внимание, что подобный мотив имеется в белках *ArsR* — репрессорах *ars*-оперонов (ответственны за резистентность бактериальных клеток к ионам мышьяка). И в самом деле, гены *arsR* из бактерии *Acidiphilium multivorum*, введенные в клетки *Echerichia coli* K12, ингибировали фермент *EcoKI*, подобно антирестриктазам! Заметим, что *ars*-опероны располагаются, как правило, в конъюгативных плазидах, способных к горизонтальному переносу генов между бактериями различных видов.

Пример *ArsR* наводит на мысль, что самые разные белки, содержащие антирестрикционный мотив, в принципе могут ингибировать клеточные рестриктазы I типа. По-видимому, именно таково происхождение белков *ArdB* и *ArdC*, которые, как и репрессор мышьякового оперона, лишь частично ингибируют ферменты рестрикции — модификации. Белок *ArdB* гомологичен известному киллер-белку *KlcA* (он убивает клетки, которые утратили плазмиду, несущую ген этого белка), а белок *ArdC* — белку *TraC1* (этот белок — праймаза, фермент, синтезирующий праймер: короткий фрагмент ДНК, который становится началом новой цепи). Отметим, что белок *ArdB*,

став антирестриктазой, потерял способности киллера. Создается впечатление, что мутации, сформировавшие антирестрикционный мотив, превратили эти белки в ингибиторы рестриктаз, но испортили их прежнюю активность. Однако группу белков *ArdA*, сходных между собой, вероятно, можно считать истинными антирестриктазами, сформировавшимися в процессе эволюции как противодействие рестрикционному барьеру.

Белковая мимикрия ДНК — новый механизм регуляции

В заключение отметим, что белковая мимикрия известна не только у антирестриктаз. Впервые ее описал в 1999 году Дж.Тайнер с коллегами (США) у белка *Ugi*, состоящего всего из 84 аминокислотных остатков. Этот белок кодируется бактериофагом *PBS2* (его бактерия-хозяин — *Bacillus subtilis*), и он ингибирует фермент, который тоже работает с ДНК, исправляет в ней повреждения — урацил-ДНК-гликозилазу. Позднее подобная мимикрия наблюдалась в эукариотическом рибосомальном факторе элонгации *EF-G* — белке, «помогающем» рибосоме, который имитировал участок транспортной РНК, и в другом белке, который у эукариот участвует в синтезе РНК на матрице ДНК. (Обратите внимание: речь идет уже не о бактериях, а о высших организмах.) Однако у всех этих белков лишь небольшая часть напоминает по структуре ДНК, тогда как антирестриктазы полностью подобны двойной спирали.

Таким образом, мы можем говорить о новом механизме регуляции активности ферментов, совершающих манипуляции с ДНК. Основной принцип его работы — использование особых белков, имитирующих структуру ДНК. Такие белки формируют комплексы с ферментами, прочно связываясь с участком, ответственным за взаимодействие с ДНК, и тем самым ингибируя активность этих ферментов. Еще один пример изящества и остроумия, с каким природа решает свои задачи.



Тормозные аминокислоты

Доктор медицинских наук,
профессор
В.Б.Прозоровский

Хорошо известно, что важнейший компонент нашей пищи — белки. Хотя углеводы и весьма существенны для обеспечения организма энергией, но они могут получаться и из жиров, и из аминокислот. Жиры тоже не проблема. А вот белки — и мышечные, и белки соединительной ткани, и, главное, ферменты — получаются только из аминокислот. Из них 14 могут синтезироваться в организме, а 8, подобно витаминам, должны поступать в организм человека из пищи. Если во время голода организм, истощив запасы жира и углеводов, для поддержания энергетических процессов берет за белки — беда. У детей возникает отставание в физическом и умственном развитии, у взрослых — голодные отеки, снижение температуры и ослабление всех видов жизнедеятельности.

Человеку нужно всего 120 г белков в сутки, но в растительной пище их маловато, да и усваиваются растительные белки плохо. По моему мнению, мясо, рыба и молочные продукты обязательно должны входить в рацион. Если же в пище недостает отдельных аминокислот (пусть даже не из числа незаменимых), то их можно принимать в виде лекарственных препаратов, как, например, глутаминовую кислоту, гистидин. Особенно часто применяется метионин, который совершенно необходим при дистрофических процессах в печени и сердце, и глицин как успокаивающее. (Но о нем мы поговорим позже.)

Гамма-аминомасляная кислота

Долго оставалось неясным, каким же образом обеспечивается снижение общей активности мозга — например, во время сна. Ученые догадывались, что должно существовать вещество, может быть, передатчик нервных импульсов — медиатор, который обеспечивал бы уменьшение активности нервной системы не в отдельных клетках и даже не в нервных ядрах, а вообще в мозгу. И такой универсальный тормозной медиатор был обнаружен. Им оказалась гамма-амино-

масляная кислота, которую в дальнейшем мы будем называть сокращенно — ГАМК.

Впервые ГАМК в мозгу обнаружили Ю.Робертс с коллегами (и независимо от них — Йорг Авапара) в 1950 году. Поскольку молекула масляной кислоты имеет цепочку из трех углеродных атомов (и четвертый — в группе COO), то по систематической номенклатуре кислота должна бы именоваться аминобутановой, но ведь и уксусную кислоту никто не называет этановой (рис. 1).

Строительным материалом для белков служат альфа-аминокислоты: те, у которых аминогруппа присоединена к атому углерода, расположенному рядом с карбоксигруппой. А на что может пригодиться гамма-аминокислота?

Известно, что при раздражении кожи (а также любых других органов чувств) в соответствующих участках коры головного мозга возникают электрические потенциалы, называемые первичными ответами. В 1963 году английский ученый К.Крневич подвел к одному из нейронов, воспроизводящих первичные ответы, пипетку, заполненную очень слабым раствором ГАМК. Ему впервые удалось установить, что вытекающая из пипетки аминокислота способна полностью подавить возникновение импульсов в чувствительных клетках коры головного мозга. Японские исследователи сделали еще проще: к поверхности мозга подвели легкий электрод, а на него «верхом» сажали фильтровальную бумажку, смоченную раствором ГАМК. Преимущество такого опыта состояло не только в простоте, а еще и в том, что амплитуда регистрируемых потенциалов, формируемая не одним, а несколькими нейронами сразу, приблизительно отражает силу воздействия. Концентрация вещества при этом, понятно, требовалась большая, но эффект оказался тем же — потенциалы подавлялись. Позднее подобные опыты были воспроизведены автором этой статьи (рис. 2).

Далее было установлено, что ГАМК может тормозить не только вызванные, но и самостоятельно возникаю-

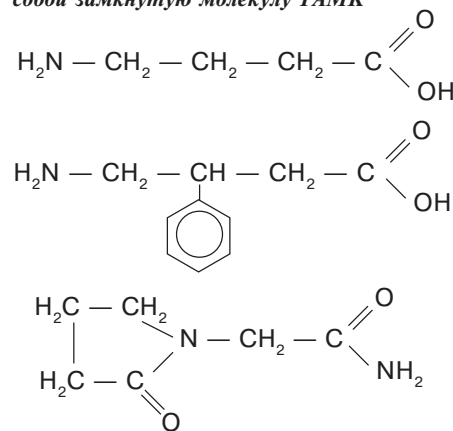
щие потенциалы, как в коре, так и в других участках мозга. При этом ГАМК синтезируется и выделяется именно в тех ядрах мозга, которые ответственны за его торможение. Считается, что ГАМК обеспечивает передачу тормозных импульсов приблизительно в 30—50% нервных контактов. Как она это делает?

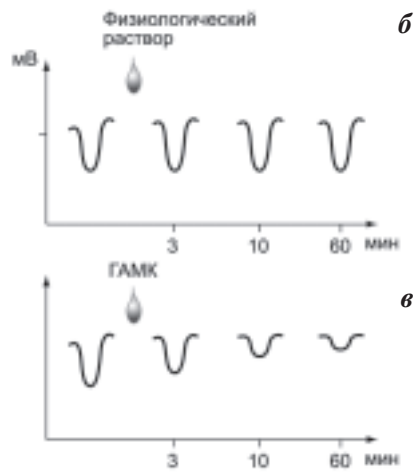
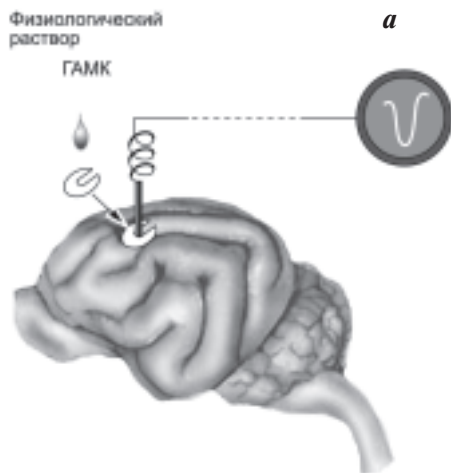
Контакты нервных волокон с клетками — синапсы, функционирующие с участием ГАМК, принципиально не отличаются от прочих. ГАМК синтезируется в цитоплазме нейрона и с приходом импульса выделяется в синаптическую щель между окончанием нервов и прилежащим участком оболочки нейрона (рис. 3). Обнаружены и специализированные белки-рецепторы (от лат. *recipere* — возьми), взаимодействующие с ГАМК. В результате этого взаимодействия в мембране принимающего нейрона открываются каналы, пропускающие внутрь клетки отрицательно заряженные ионы хлора, которые в межклеточной жидкости содержатся в избытке. Проникновение хлора вызывает в клетке состояние гиперполяризации, то есть

1 Структурные формулы гамма-аминомасляной кислоты и ее производных:

а — гамма-аминомасляная кислота
(аминалон, гаммалон);
б — фенибут (буфенил);
в — пирацетам (ноотропил).

*Нетрудно заметить,
что кольцо ноотропила представляет
собой замкнутую молекулу ГАМК*





2
Торможение первичных ответов в чувствительной зоне коры головного мозга кошек при наложении фильтровальной бумажки, смоченной 1%-ным раствором ГАМК:
а — схема опыта (отведение токов плавающим электродом);
б — первичные ответы после воздействия физиологического раствора;
в — то же после ГАМК.

На вертикальной оси — милливольты, на горизонтальной — минуты. Хорошо видно, как уменьшается со временем амплитуда сигнала

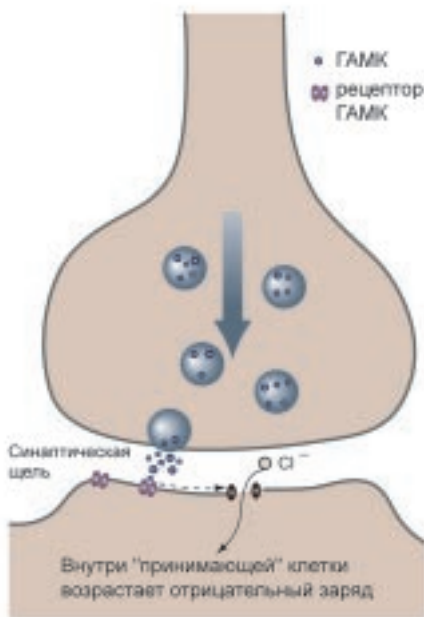
торможения (напомним, что передача возбуждения происходит за счет противоположного процесса: деполяризации мембраны нейрона). Сейчас установлено, что рецепторы ГАМК есть также и в кровеносных сосудах, особенно в мозгу.

Ученые составили карты, на которых указали, где именно ГАМК выступает в роли тормозного медиатора и как велико ее значение на каждом участке. Хотя концентрация этой кислоты в разных отделах мозга различна, найти ее можно практически везде. Подсчитали примерное общее количество ее молекул — и удивились. Оказалось, что мозг содержит ГАМК в значительно больших количествах,

чем требуется для осуществления медиаторных функций. Зачем, спрашивается, так много?

Естественно было предположить, что ГАМК выполняет в мозгу еще какие-то функции. И в самом деле, она оказалась обязательным участником многих обменных процессов. Она воздействует на транспорт и утилизацию глюкозы, на дыхание клеток, на образование в них запасов энергии, повышает устойчивость клеток и мозга в целом к кислородному голоданию, активирует синтез белков. Многообразие физиологических и биохимических функций, выполняемых ГАМК, а также данные о нарушении ее образования при некоторых психопатологических и неврологических расстройствах — все это говорило о ее огромном значении. Мимо такой удивительной молекулы фармакологи пройти не могли.

В поисках новых лекарств ученые вспомнили о том, что растения уже миллионы лет назад научились синтезировать соединения, которые успешно блокируют эффекты медиаторов. В случае ГАМК это алкалоиды



3
Схема передачи тормозного импульса в ГАМК-эргическом синапсе.
Нервный импульс освобождает ГАМК в синаптическую щель, затем взаимодействие ГАМК с рецептором открывает хлорные каналы. Поступление отрицательных ионов хлора в цитоплазму нейрона вызывает его торможение — утрату чувствительности к раздражениям

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

пикротоксин (содержится в семенах древесных лиан рода *Anamirta*, которые растут в странах тропической Азии — Индонезии, Индии, Новой Гвинеи, на Молуккских островах, а также в различных видах астрагала) и бикокулин (выделен из листьев *Dicentra cucullaria* семейства дымянковых). Оба эти вещества пытались применять для активации работы мозга, однако они оказались слишком опасными, поскольку уже в ничтожно малых дозах вызвали сильнейшие судороги. (Из анамиры туземцы некогда готовили яд для «химической» рыбалки и для стрел.) Сейчас для возбуждения дыхательного центра используется синтетический препарат бимегрид, который тоже блокирует эффекты ГАМК, но более избирательно и не столь активно.

Первым лекарством, активирующим рецепторы ГАМК, была сама эта кислота в чистом виде. Ее препарат под названием «гаммалон» был разработан в Японии, а позднее появился точно такой же отечественный, под названием «аминалон». Несмотря на то что оба препарата используют довольно давно, их лечебные эффекты остаются непонятными. Дело в том, что из-за низкой растворимости в жирах ГАМК почти не поступает из крови в ткань мозга — однако ее центральные эффекты не вызывают сомнений и хорошо изучены. Объяснение ценных свойств гаммалона-аминалона способностью ГАМК расширять сосуды кажется неудовлетворительным.

Фармакологам известно, что для повышения проницаемости веществ в мозг через гематоэнцефалический барьер, отделяющий кровь (по сути, водный раствор) от насыщенных липидами клеток мозга, им нужно «привесить» хорошо растворимый в жирах радикал. Ленинградские фармакологи, в том числе мой друг профессор И.П.Лапин, предложили ввести в молекулу ГАМК фенильный радикал, превративший ее в препарат фенибут, который легко преодолевает барьер — и оказывает выраженное тормозное действие (рис. 1)! Сегодня фенибут —



распространенный дневной транквилизатор, и, что особенно ценно, он не мешает вождению транспорта.

Со временем удалось установить, что в тканях мозга ГАМК утрачивает аминокислотную группу, которая замещается гидроксильной группой. Называется такое вещество гамма-оксимасляной кислотой. Если ввести ее непосредственно в кровь, она не только проникает через гематоэнцефалический барьер, но и оказывает на мозг столь сильное тормозящее влияние, что ее натриевую соль, оксибутират натрия, можно использовать как средство для общей анестезии (точнее, для выключения сознания) при операциях. Вдумайтесь: человек вырабатывает в своем мозгу вещество, способное вызвать состояние наркоза! Как тут не вспомнить про операции под гипнозом?

Второй способ улучшить проникновение молекулы лекарства в ткани мозга — присоединить к ней какое-либо вещество естественного происхождения, например витамин. В частности, препарат пикамилон получен соединением никотиновой кислоты она же РР, с ГАМК. Как и ожидалось, пикамилон расширяет сосуды мозга и оказывает успокаивающее действие при тревоге, страхе, повышенной раздражительности, а также повышает устойчивость к физическим и психическим нагрузкам.

Создание ГАМК-подобных препаратов и изучение их эффектов позволило говорить о существовании двух основных функций ГАМК — медиаторной и метаболической. С медиаторной функцией связано участие ГАМК в регуляции уровня бодрствования, двигательной активности, сосудистого тонуса, поддержании высокого судорожного порога и отчасти улучшении памяти и мышления. Метаболическая функция — это обеспечение мозга энергией, устойчивость к кислородному голоданию и другим вредным воздействиям.

Ноотропные средства

В 1963 году в бельгийской фирме UCSB получили соединение, которое представляло собой гамма-аминомасляную кислоту, свернутую в кольцо, с некоторыми дополнительными радикалами. При исследовании этого соединения профессор К.Джиурджи и его сотрудники установили, что оно активно улучшает память и облегчает процесс обучения, то есть влияет на высшие интеллектуальные функции мозга. Поскольку по-гречески мышление и разум — nous, а средство — tropos, новое лекарство получило название «но-

тропил». А в 1972 году появился термин «ноотропные средства».

Согласно определению экспертов ВОЗ ноотропные препараты активируют способность к обучению, улучшают память и умственную деятельность, а также повышают устойчивость мозга к агрессивным воздействиям.

В России ноотропил выпускается под названием «пирацетам», а по всему миру более чем под 30 наименованиями — лишнее свидетельство его необычайной популярности. Показания к его применению — нарушения памяти, снижение концентрации внимания, изменения настроения, расстройства поведения и мышления при болезнях сосудов, травмах и склерозе мозга, а также расстройства психики при хроническом алкоголизме. Препарат хорошо переносится, однако у некоторых людей вызывает неожиданные реакции: возбуждение или, наоборот, сонливость, иногда головокружение, а иногда повышение сексуальности.

На сегодня группа ноотропных средств не имеет жестко очерченных границ. Кроме уже упомянутых аминалона, фенибута и пикамилона, к ней относят также деонол (нооклерин), идебенон, меклофеноксат, никотиноил-ГАМК и пантогам. Все это препараты метаболические и в какой-то мере антиоксидантные. Условно к ноотропным средствам причисляют препараты, обладающие выраженной способностью вызывать расширение сосудов мозга: винпоцетин (кавинтон), компламин, трентал, циннаризин и т. п. Ноотропными могут считаться также кофеин и некоторые витамины: В₆, В₁₅, В_с и В₁₂.

Если рассматривать ноотропное действие как таковое, то можно указать, что в его основе лежат три характерных свойства (которые у разных препаратов выражены в разной степени): во-первых, они восстанавливают баланс между возбуждающими и тормозными процессами в мозгу, во-вторых, активируют обмен и энергетические процессы в нервных клетках, в-третьих, повышают выносливость нейронов при кислородном голодании и мембранотоксических воздействиях.

В последние годы представление о ноотропных средствах несколько изменилось. Предполагается, что следующее поколение препаратов этой группы будет не только активировать высшие интегративные функции мозга, но также восстанавливать нарушения памяти и мыслительных процессов, снижать возникающие при разного рода поражениях нервной сис-

темы дефициты и повышать сопротивляемость организма. Эти средства преобразят жизнь человечества, избавив его от последствий болезней мозга и обеспечив активную старость. А возможно, и позволят лечить врожденное или приобретенное слабоумие.

ГАМК-рецепторы обладают очень интересной особенностью: они облеплены другими рецепторами, которые также регулируют процесс торможения, как через ГАМК-рецепторы, так и самостоятельно. Среди этих «спутников» рецепторы барбитуратов, алкоголя и, главное, бензодиазепинов — на сегодня одни из самых распространенных и ценных препаратов с транквилизаторным, миорелаксантным, атарактическим, противосудорожным и снотворным действием. Им придется посвящать отдельный раздел.

Бензодиазепины — основные транквилизаторы

Слово «бедлам» в значении «полный беспорядок» происходит от названия самой крупной психиатрической больницы XIV века в Лондоне. Там действительно творилось нечто совершенно беспорядочное: больных с разными формами психозов содержали в общих залах. Некоторые из них вели себя настолько буйно, что становились опасными для окружающих. Тогда их сажали в специальное кресло, вроде электрического стула, к которому привязывали не только руки и ноги, но и голову несчастного. Больной, безуспешно пытаясь вырваться из пут, постепенно утомлялся и стихал, успокаивался. Такие стулья назывались транквилизаторами (от лат. tranquillo — успокаиваю). Вот откуда пошел этот распространенный ныне термин.

В настоящее время транквилизаторами лечат не психозы, а неврозы — это лекарства скорее из арсенала невропатологов, чем психиатров. Наиболее распространенные причины неврозов — утрата чувства защищенности, уверенности в будущем. Бытует мнение, что невроз — это «ничего страшного», что неврозы бывают у всех, однако за этим «нестрашным» заболеванием порой следуют депрессия и самоубийство.

Транквилизаторы пришли на смену седативным средствам, которые давали людям, не находящим себе места от возбуждения, беспокойства или тревоги. Они, к сожалению, не могли снять тревогу и страх, но позволяли как-то успокоиться, присесть и расслабиться (отсюда и название: sedere — по-латыни «сидеться»). Излюблен-



ными седативными средствами были бром и барбитураты, вызывающие тотальное торможение в мозгу, которые, конечно, не восстанавливали здоровья и были далеко не безвредны. Аналогичным образом, только слабее, действуют лекарственные травы: валериана, пион и пассифлора.

В начале 60-х годов появился первый бензодиазепин — либриум (элениум), который сразу заинтересовал врачей всех специальностей. Особенно привлекательными были его центральная миорелаксантная (расслабляющая скелетную мускулатуру) и противосудорожная активность. В настоящее время бензодиазепинов существует множество. К противотревожным транквилизаторам относят элениум (в русском варианте хлорзепид), сибазон (диазепам, реланиум, седуксен), нозепам (тазепам) и феназепам, обладающие выраженным анксиолитическим (противотревожным, от *anxius* — тревожный, охваченный страхом) и седативным действием. Бензодиазепины без седативно-гипнотического эффекта называют дневными транквилизаторами. К ним относится мезапам (он же рудател).

Все эти препараты переносятся хорошо, однако у многих из них описаны побочные эффекты: головная боль, сонливость, нарушение потенции, снижение скорости реакции, способность усиливать действие алкоголя, вызывая патологическое опьянение с потерей сознания. Особенно опасен в этом отношении феназепам, эффект которого может длиться от одних до четырех суток. При длительном приеме наступает привыкание, реже пристрастие, ухудшение настроения, человек начинает принимать новые препараты из этой группы... Словом, лучше начинать лечение бессонницы не с феназепамы, а пойти более сложным путем — например, сократить потребление кофе во второй половине дня и перед сном заварить травяной чай: вдруг таблетка и не понадобится?

Сейчас Россия закупает за рубежом сравнительно новый препарат гидазепам, транквилизаторный эффект которого сочетается с активирующим

действием. Он эффективен и при лечении мигрени. Альпрозалам интересен своим антидепрессивным действием. На мой взгляд, именно эти препараты должны бы пользоваться особым спросом, однако этого нет. Вероятно, потому, что их названия не мелькают на красочных плакатах и не повторяются в рекламных роликах.

Глицин как мягкий транквилизатор

Второй заменимой тормозной аминокислоте, глицину, выпал не слишком громкий, но заслуженный успех, хотя он всего-навсего аминокислотная кислота. В тканях мозга его немного, но это небольшое количество совершенно необходимо. Будучи тормозным медиатором, глицин препятствует распространению импульса, пришедшего по чувствительным задним корешкам спинного мозга, в другую его половину и другие сегменты. Непревзойденные по активности природные антагонисты глицина, которые связываются с его рецепторами, — столбнячный токсин и алкалоид стрихнин, содержащийся в рвотных орешках *Nux vomica*, они же плоды святого Игнация. (Стрихнин — хорошо известный яд, а рвотные орешки — одно из самых любимых лекарств у гомеопатов.) Если блокируется действие глицина, то малейшее раздражение вызывает тоническое сокращение мышц всего тела, которое принимает типичную при отравлении стрихнином или столбняке позу опистотонуса: выгибание с опорой на затылок и пятки. В современной научной медицине стрихнин используется редко. А вот глицин завоевывает все большую популярность

В клинике подтверждено, что он (при сублингвальном применении) не только усиливает действие противосудорожных средств, но и ускоряет засыпание, обладает антиоксидантным, противострессорным, транквилизирующим и ноотропным действием, блокируя гипофиз-адреналовую систему.

Согласно клиническим данным, глицин подавляет раздражительность и делает поведение более разумным. В то же время он имеет сходство с транквилизаторами только по седативному эффекту, а по всем остальным пунктам им противоположен. Так, он не оказывает миорелаксантного действия, ослабляет эффект алкоголя, не вызывает зависимости, повышает скорость реакций, усиливает умственную работоспособность, с увеличением дозы его эффект снижается. Глицин не только не мешает водить машину, но рекомендован водителям!

Положим, клинику не всегда можно доверять. Но есть и весьма авторитетные экспериментальные данные в пользу того, что на модели гипоксии мозга с возникновением инфаркта глицин его предупреждает эффективней пиретама. При этом увеличивается оборот ГАМК, повышается или нормализуется содержание основных медиаторов мозга во многих его отделах, особенно в очаге ишемии. Журнал «Физиология человека» (2001) сообщает, что после трехнедельного приема глицина два раза в день регистрируется увеличение скорости мыслительных процессов.

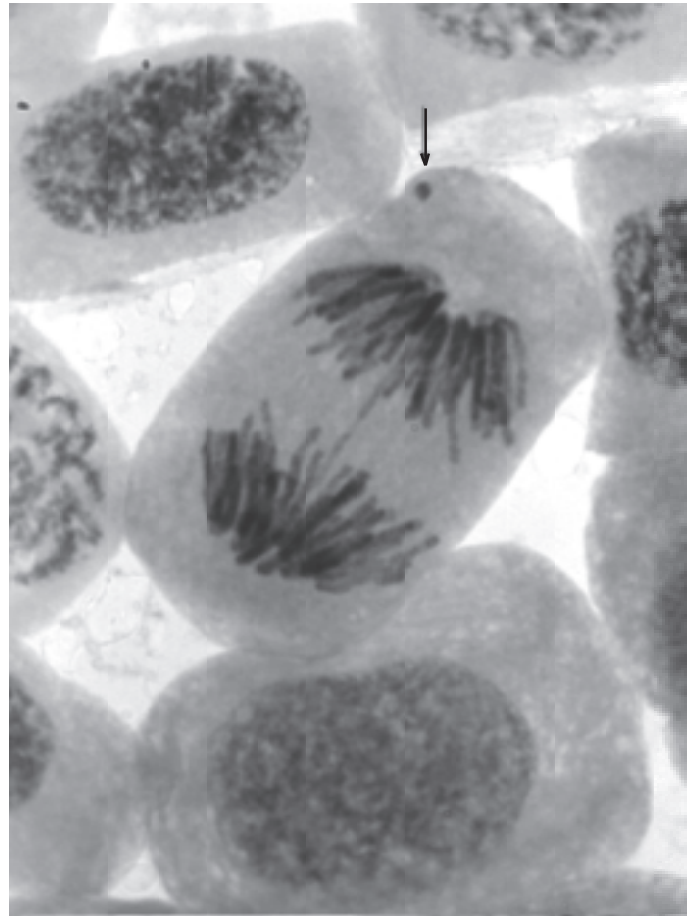
Сегодня показаниями к применению глицина считаются стрессовые состояния, психоэмоциональное напряжение, повышенная возбудимость, эмоциональная лабильность, неврозы, вегетососудистая дистония, последствия черепно-мозговой травмы, энцефалопатии, в том числе алкогольные, нарушения сна... Настоящее чудо — такое действие обычной аминокислоты, которую мы потребляем с пищей и вырабатываем в собственном организме. Может быть, именно такие лекарства откроют людям путь к здоровью и долголетию.





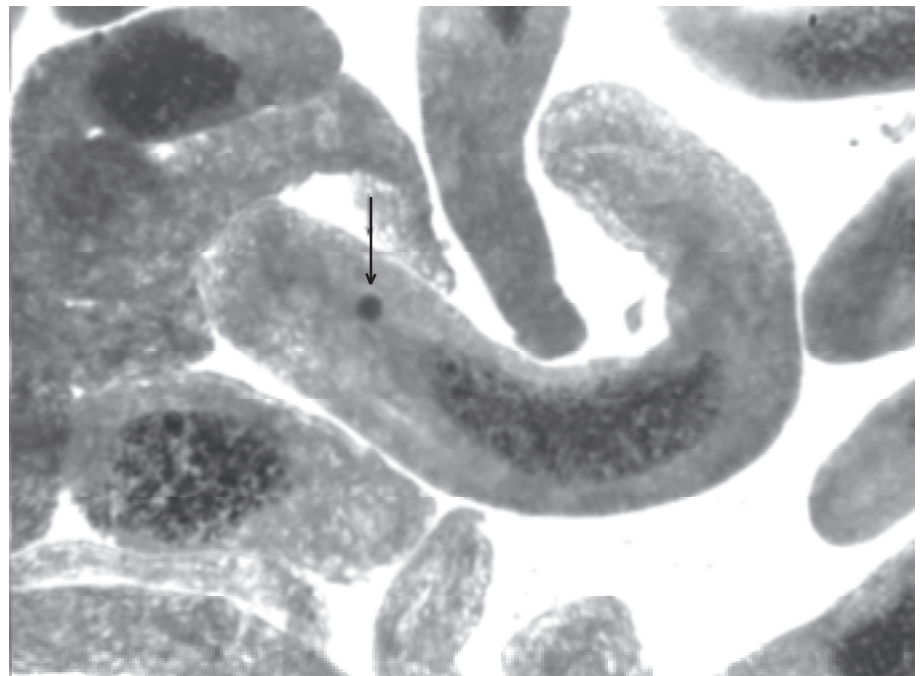
Так выглядит остаточное ядрышко в клетке сосны обыкновенной на стадии метафазы

Во время анафазы остаточное ядрышко уходит в одну из дочерних клеток сосны обыкновенной

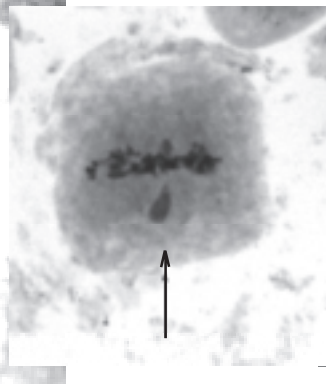
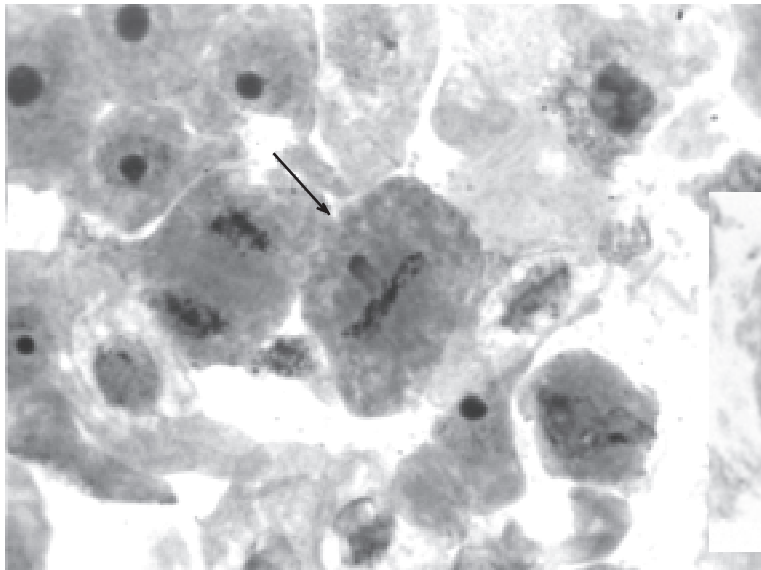


Чернобыльские следы в клетках

В ядрах живых клеток есть особые образования — ядрышки, которые хорошо видны в световой микроскоп. Они формируются на определенных участках хромосом — ядрышковых организаторах — в период между делениями клетки, когда хромосомная ДНК «распакована» и гены активно работают, поставляя нужные белки. (Ядрышки имеют самое непосредственное отношение к созданию рибосом — «машин белкового синтеза», но об этом в другой раз.) Этот период в жизни клетки называется «интерфазой». Когда же приходит срок и клетка приступает к делению, ядрышко постепенно исчезает. Обычно оно становится микроскопически невидимым уже в конце профазы — первой стадии деления, остается невидимым в течение следующих стадий (метафазы, анафазы) и появляется вновь только к концу телофазы, заключительной стадии,



После завершения деления ядрышко оказалось в цитоплазме. В данном случае на фотографии представлены клетки кончиков корней проростков сосны

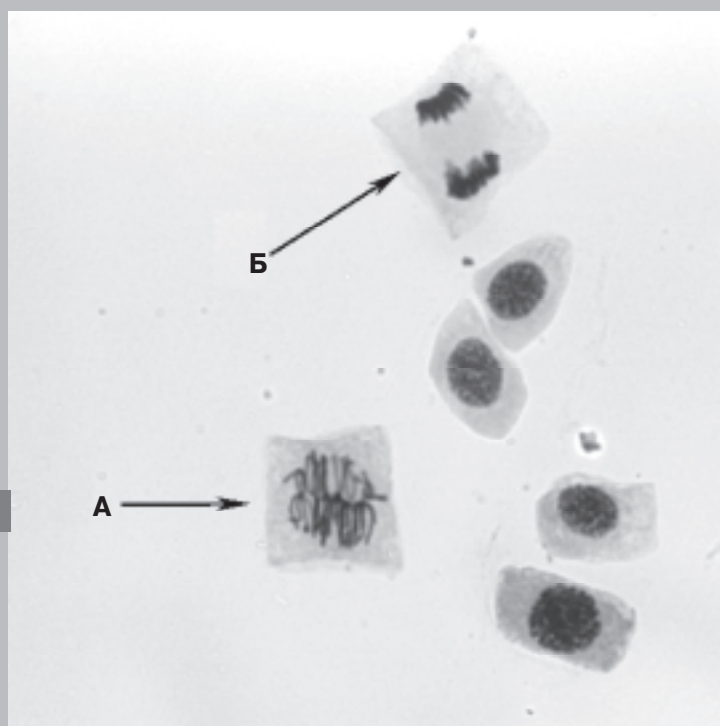


Остаточное ядрышко на стадии метафазы в клетках березы повислой

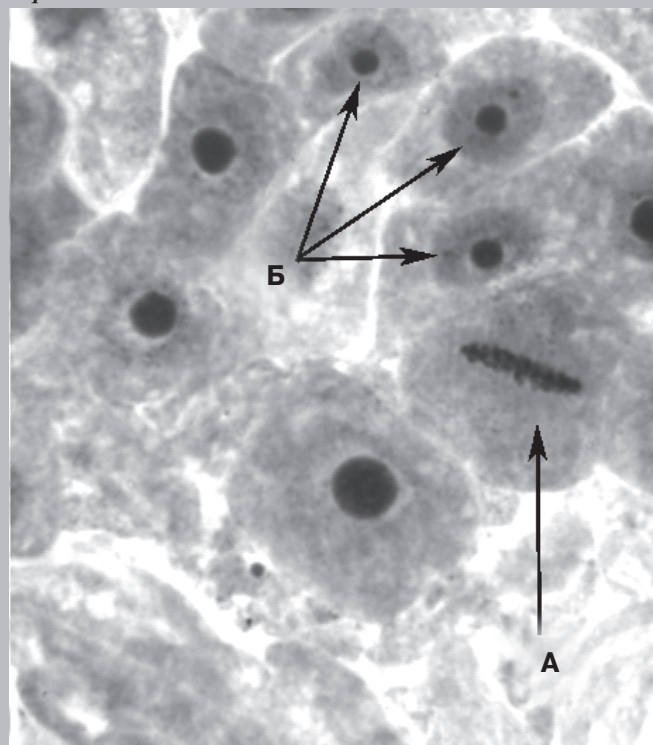


ФОТОИНФОРМАЦИЯ

Так должны делиться клетки сосны обыкновенной (А — метафаза и Б — анафаза)



Метафаза (А) и ядрышки в интерфазных клетках (Б) березы повислой без отклонений



когда в дочерних клетках образуются ядра. Об этом можно прочесть в любом учебнике цитологии.

Однако в научной литературе описаны исключения из этого правила. Ядрышки у делящихся клеток наблюдали и в метафазе, и в анафазе, и в телофазе. Порой они даже выходили из ядра и оказывались в цитоплазме интерфазных клеток! Причиной, видимо, можно считать повышенную активность ядрышковых организаторов. Такое бывает при попадании клетки в экстремальные условия — при облучении, химическом воздействии или вирусных инфекциях.

Среди деревьев остаточные яд-

рышки впервые были обнаружены у годовалых семян дуба, выросших из желудей, собранных в тридцатикилометровой зоне Чернобыльской АЭС в 1986 году — году катастрофы. В последующие годы число клеток с остаточными ядрышками у семян, выращиваемых в чистых условиях, уменьшилось. Именно с 1986 года остаточные ядрышки стали обнаруживаться достаточно часто в образцах из районов промышленного загрязнения и мест, расположенных в чернобыльском следе, на пути движения образовавшегося при взрыве облака, из которого выпадали радиоактивные вещества. Явление обнаруже-

но у деревьев разных видов: березы, сосны, вяза, — это свидетельствует о всеохватывающем характере загрязнения. На фотографиях, которые сделаны с использованием системы «Видеотест» на микроскопе «Микмед-3», ядрышки видны в клетках проростков семян деревьев, которые растут на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

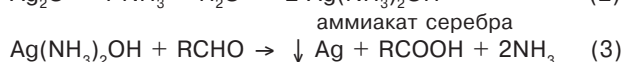
Кандидат биологических наук
В.Н.Калаев,
Воронежский государственный университет



Художник А.Астрин

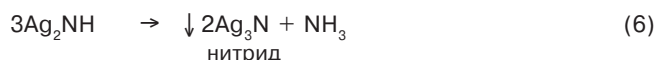
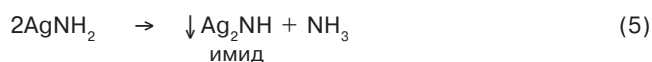
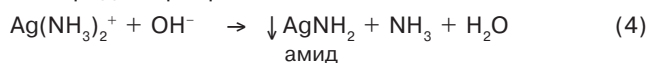


ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ



Кстати, эту методику можно легко найти в Интернете.

Однако если не знать тонкости при работе с реактивом Толленса, то можно вместо красивой реакции серебрения стекла получить совершенно другие результаты. Например, недавно в датском химическом журнале появилась статья, в которой рассказывалось о том, что экспериментатор успешно приготовил реактив Толленса, который... взорвался. Оказалось, что довольно большое количество реактива Толленса (приготовленного из 20–30 г нитрата серебра AgNO_3 !) исследователь отложил на 10 дней. За это время из него выпал черно-коричневый осадок, а точнее, смесь амида, имида и нитрида серебра:



Эти азотистые соединения серебра разлагаются со взрывом с выделением металлического серебра.

Реакции (4–6) идут достаточно медленно при комнатной температуре, поэтому если использовать свежеприготовленный раствор реактива Толленса, то никаких проблем не будет. А вот хранить его нельзя. Кроме того, его нельзя нагревать, поскольку при этом ускоряются нежелательные реакции образования азотистых соединений серебра.

Есть еще одна тонкость. На реакцию по уравнению (4) сильно влияет концентрация гидроксид-иона OH^- . Поэтому для приготовления реактива Толленса можно использовать только разбавленные водные растворы щелочи NaOH и аммиака NH_3 (без избытка). Если же использовать концентрированные растворы этих соединений, то довольно быстро накапливается взрывчатый амид серебра, что также приводит к взрыву. Недавно автор этой статьи столкнулся со случаем, когда реактив Толленса готовили с помощью 30%-ного водного раствора NaOH и 20–25%-ного водного раствора NH_3 . Результат — тяжелая травма экспериментатора.

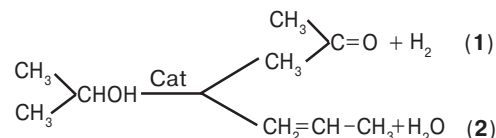
Трудно не согласиться с автором статьи в датском химическом журнале, который призывает неподготовленных и не очень опытных экспериментаторов не браться за очень красивую, но совсем непростую реакцию серебрения стекла.

Доктор
химических наук
В.М.Власов

Ошибки, ведущие к взрыву

Реакция серебряного зеркала — одна из наиболее привлекательных в химии, поскольку с ее помощью можно быстро получить красивую серебристую поверхность на стекле. Для реакции необходим реактив Толленса — водный раствор аммиаката серебра, который окисляет водный раствор альдегида (обычно глюкозы). Этот реактив больше 100 лет (со времен химика-классика Б.Толленса (1841–1918)), именем которого он и назван) используют в практикумах по химии и в производстве зеркал.

Итак, сначала надо получить аммиакат серебра, а следующая реакция — собственно окислительно-восстановительная реакция серебряного зеркала (см. схему):



ВОЗВРАЩАЯСЬ К НАПЕЧАТАННОМУ

Катализатор из вулкана

В 1992 году наши геологи во главе с академиком РАН Г.С.Штейнбергом на вулкане Кудрявый (остров Итуруп, Курильские острова) обнаружили, что вулканические высокотемпературные газы выносят на поверхность рений и еще десяток других ценных металлов, включая золото. По оценке специалистов, в 2000 году на фумарольных полях вулкана скопилось около 20 тонн сульфида рения (рениита). Через несколько лет стало понятно, что вулкан — совершенно уникальный источник ценного металла, который может представлять и промышленный интерес («Химия и жизнь», 2000, № 9).

Рений открыли в 1925 году, и почти сразу оказалось, что он и его соединения катализируют самые разнообразные химические реакции. Рений — редкий металл и считается рассеянным, поскольку в природе встречается в основном в виде примесей в молибденитах. А между тем этот металл высоких технологий, он входит в состав суперсплавов для космической, ракетной, авиационной техники, а также для электроники и электротехники. Применение рения в этих областях дает значительный эффект, но нужен он в очень небольших количествах. Гораздо больше рения требуется нефтеперерабатывающей промышленности, которая с 1969 года использует его в сочетании с платиной для катализа риформинга. К 1995 году мировое потребление рения достигло 21 450 кг.

Рений из вулкана — это заманчиво, но надо было проверить, можно ли его оттуда добыть и будет ли он обладать каталитическими свойствами. В промышленности широко применяются нанесенные катализаторы из активного

металла, адсорбированного на оксиды алюминия, кремния, цеолиты, активированный уголь и др. Чтобы такой катализатор сохранял активность как можно дольше, следует подбирать металл, который не рекристаллизуется в процессе работы, а значит, у него должна быть высокая температура плавления. С этой точки зрения рений — очень удачный объект ($T_{пл} 3170^\circ\text{C}$).

«Вулканный» катализатор проверяли в Институте органической химии РАН, в лаборатории которого уже 45 лет проводятся систематические исследования каталитических свойств рения и его соединений в разнообразных органических реакциях. Там сделали специальные стеклянные кварцевые трубки, заполненные навесками разных носителей: природным цеолитом, Al_2O_3 и сибунитом-пироуглеродом. Эти трубки отвезли на вулкан Кудрявый и 14–17 суток пропускали через них вулканический газ. Потом в полученных образцах определяли содержание конденсированных металлов и проверяли их каталитическую активность. Для сравнения на нее же проверяли и обычные вулканические породы, собранные возле устья вулкана. Отбор породы из устья фумаролы и конденсацию газов вулкана Кудрявый проводили академик Г.С.Штейнберг (Институт вулканологии и геодинамики, Владивосток) и старший научный сотрудник Ф.И.Шадерман (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва).

Конечно, из вулкана «вылетает» не чистый рений — это смесь оксидов и солей разных металлов, поэтому на носителях в трубках потом обнаружили сульфиды рения, молибдена, цинка, кадмия, вольфрама, висмута и др. Образ-

цы вулканической породы, собранные вокруг, как показало исследование, представляли собой твердую силикатную массу, в которой также нашли кристаллы сульфидов металлов. Оба типа образцов, и природные и искусственные, можно рассматривать как нанесенные ренийсодержащие катализаторы. Все образцы охарактеризовали в лаборатории ИОХ РАН и исследовали в модельной реакции «превращение изопропилового спирта» ($T=300\text{--}540^\circ\text{C}$, весовая скорость подачи спирта = $3,65 \text{ час}^{-1}$) в проточной установке. В кварцевый реактор помещали 1,35 г катализатора.

При превращении спирта могут протекать две реакции: дегидрирование (1) — с образованием ацетона и водорода и дегидратация (2) — образуются пропилен и вода. Известно, что хорошие рениевые катализаторы избирательно ускоряют реакцию дегидрирования (1).

Оказалось, что образец вулканической породы, отобранный на «рениевом поле», при 550°C катализирует обе реакции (1 и 2). Так, в интервале температур $350\text{--}450^\circ\text{C}$ общая конверсия спирта увеличилась с 33 до ~74%, при этом селективность в реакции (1) возрастала от ~16 до 50%, а в реакции (2) снижалась с ~84 до 50%. На образцах, полученных конденсацией вулканических газов на цеолите и оксиде алюминия, при $610\text{--}760^\circ\text{C}$ в основном протекает реакция дегидратации (2). Нужный эффект обнаружили только в случае рения, осевшего на углеродном носителе сибуните, — он действительно оказался селективным катализатором реакции дегидрирования (1) спирта в ацетон. Значит, получить рениевый катализатор из вулкана можно, и он действительно работает.

Доктор химических наук
М.А.Ряшенцева

Что еще почитать о рении:

Ткаченко С.И., Таран Ю.А., Коржинский М.А., Покровский В.Г., Штейнберг Г.С., Шмулевич К.И. ДАН.1992. 325. № 4. Ряшенцева М.А., Миначев Х.М. Рений и его соединения в гетерогенном катализе. М.: Изд-во Наука, 1983. Ряшенцева М.А., Шадерман Ф.И., Штейнберг Г.С. Журнал физической химии. 2000, т.74, №12.

Кандидат
биологических
наук
Э.К.Попова

Зачем рыбке лазер?



Ловить рыбу в море или реке в наше время не так выгодно, как раньше: запасы скудеют, а сама рыба мельчает. Во многих странах это поняли давно, и промысел постепенно стал уступать место аквакультуре, то есть искусственному разведению рыб. Если прежде в массовых количествах разводили разве что неприхотливых карпов да растительноядных толстолобиков, то со второй половины XX века настал черед самых ценных рыб, — осетров и лососей.

Жителю большого города вряд ли удастся сегодня найти в продаже форель или семгу, выловленную в родной стихии. Вся та продукция, которой изобилуют прилавки рынков и магазинов, — это рыба, выращенная на рыбоводных заводах и в рыбоводных хозяйствах.

Однако не стоит думать, что вырастить ее так уж просто. Заложить оплодотворенную икру в инкубатор, регулярно кормить мальков, вовремя пересаживать молодь в пруды или морские садки — это только полдела. Рыба, увы, часто болеет, и ее приходится лечить: при той скученности, которая существует на всех этапах рыбоводного процесса, болеют и заражают друг друга и икринки, и личинки, и мальки. А ведь рыбовод должен не только думать о том, как не дать им погибнуть, но и помнить, что выращенная рыба когда-то окажется на нашем столе. Это означает, что лечение рыб должно быть не просто эффективным, но и абсолютно безопасным для будущего потребителя.

Отсюда понятно, что лечить рыбу антибиотиками нежелательно, стиму-



лировать ее рост гормонами — рискованно. Лучше всего сосредоточить усилия на профилактике. Например, уничтожить наружных паразитов, поместив рыб на несколько минут в дезинфицирующий раствор, а для победы над кишечными инфекциями накормить мальков аналогом «живой йогуртовой культуры», про которую все мы хорошо знаем из рекламных роликов. Да только вот при такой неустанной заботе любая рыбка, неза-

Процесс сортировки молоди на рыбоводном заводе (см. в тексте)

висимо от вида, может сделаться золотой — и покупать, и разводить ее станет невыгодно.

Есть, впрочем, и такой подход, который позволяет справиться сразу со многими бедами: можно стабилизировать развитие рыб на самых ранних этапах, повысив тем самым их устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам среды. А помочь в этом может... лазер.

Лазер и симметрия

Лазер — это совсем не обязательно скальпель хирурга. Излучение определенной длины волны (в красной или инфракрасной области спектра) может не убивать клетки, а служить для них информационным сигналом. Делящиеся клетки эмбриона, развивающегося в икринке, поглотив порцию электромагнитного излучения малой мощности, начинают делиться более согласованно. На первый взгляд это кажется чудом, но факты говорят сами за себя.

Взгляните на рис. 1: уже на стадии дробления эмбрионы в икринках, обработанных излучением гелий-неонового лазера, выглядят куда более симметричными, чем в контрольной партии. А коли так, то неудивительно, что подобные эмбрионы развиваются более равномерно, растут во всех направлениях пропорционально и в результате из икринок появляются на свет крупные, ровные и симметричные предличинки (личинками



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

в условиях неоднородной внешней среды. Делящимся клеткам вовсе не безразличны градиенты температур, локальное сдавливание, неравномерность притока кислорода или питательных веществ. При этом различия в характеристиках микросреды между двумя половинами тела присутствуют всегда, даже если речь идет о внутриутробном развитии, наиболее комфортном для эмбриона.

Что уж говорить об организмах, проходящих эмбриогенез в икринке! На каких только уродцев не насмотрелись рыбоводы: встречаются даже двухго-



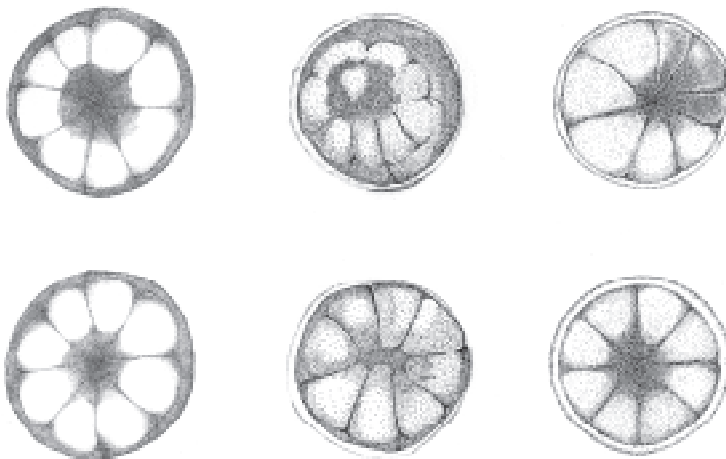
3
Рыбы с различными уродствами появляются на свет из-за того, что условия инкубации икры и в природе, и в рыбоводных хозяйствах не всегда оптимальны. В природе подобные «монстры», конечно же, не выживают

их можно будет назвать недели через две-три, когда будущие рыбки начнут питаться) (рис. 2).

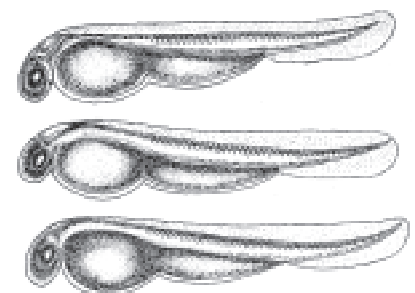
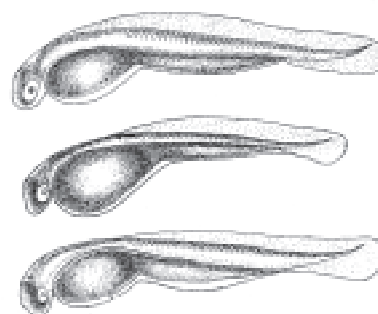
Самое главное — симметричные. Симметрия — очень важный атрибут живого, это генетически заданная норма. Тем не менее абсолютная симметрия в живой природе встречается крайне редко: даже если глаза у вас не разноцветные, то, приглядевшись к себе повнимательнее, вы наверняка обнаружите какое-нибудь отклоне-

ние от симметрии: приподнятую правую бровь или родинку на левой щеке.

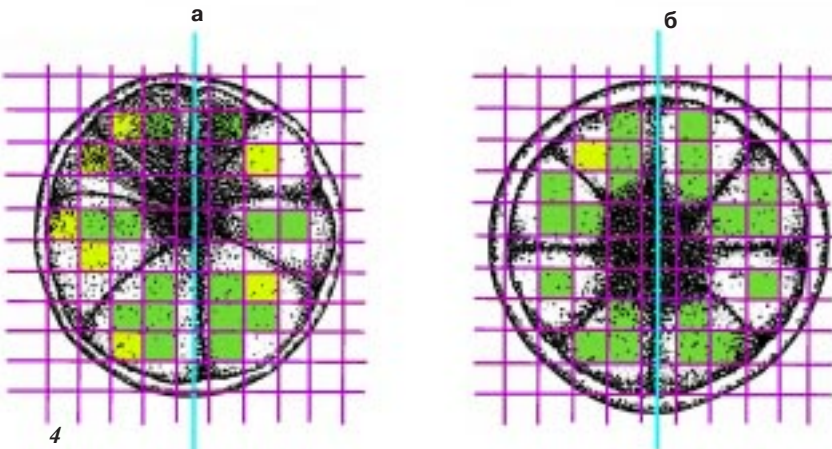
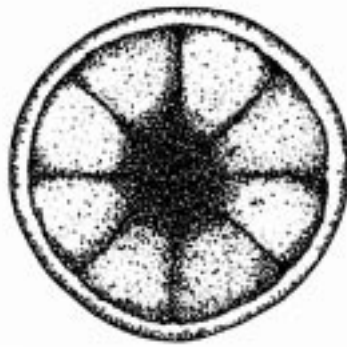
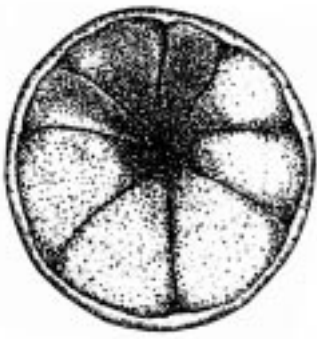
Такие мелкие отклонения называются флуктуирующей асимметрией. Если они невелики, то жить обычно не мешают и на функционировании организма никак не сказываются. Но в целом отклонение от симметрии объясняется несовершенством механизмов, контролирующих развитие: они не могут обеспечить абсолютно синхронный рост и дифференциацию



1
Икринки осетра на стадии третьего деления. В верхнем ряду — икринки из контрольных партий, в нижнем — икринки тех же самок, но подвергнутые воздействию гелий-неонового лазера



2
Предличинки, выклюнувшиеся из икры одной самки. Справа — из икры контрольной партии, слева — из икры, на которую воздействовали лазерным излучением



4

Определение степени симметрии blastomerov на стадии третьего деления (по методике Д.Б.Гелашвили с соавторами):

а — икринка осетра из контрольной группы, б — икринка, подвергавшаяся воздействию лазерного излучения. Зеленым цветом обозначены квадраты, для которых есть аналоги по другую сторону оси симметрии, желтым — квадраты, для которых аналогов нет (см. в тексте)

ловые экземпляры, а уж рыбы, закрученные штопором, и вовсе обычное дело (рис. 3). В природе они, конечно, не выживают, а вот в заводском бассейне при изобилии корма и отсутствии хищников некоторые из них вполне могут протянуть год-другой.

Понятно, чем больше отклонение от симметрии, тем труднее организму выживать и конкурировать с себе подобными. Флуктуирующая асимметрия оказывается, таким образом, очень важной характеристикой — это показатель стабильности развития, а значит, в определенной степени и жизнеспособности.

Степень симметрии (или асимметрии) биологического объекта можно не только оценить «на глазок», но и выразить количественно. Для этого поверхность изображения объекта разбивают на квадраты равной величины и закрашивают те из них, которые оказываются полностью внутри изображения или его отдельных частей. Затем подсчитывают число только тех закрашенных квадратов, для которых по другую сторону от оси симметрии найдется пара, делят это число на общее число закрашенных квадратов — и вот вам количественная оценка симметрии.

Определим, например, степень

симметрии развивающейся икринки осетра из контрольной группы и икринки из партии, на которую воздействовали лазерным излучением (рис. 4). На первом изображении мы должны закрасить 21 квадрат, из которых симметрично расположенными окажутся только 14 (по семь квадратов слева и справа совмещаются при зеркальном отображении). Значит, степень симметрии составит в этом случае $\eta = 14:21 = 0,67$. На втором рисунке закрашенных квадратов будет тоже 21, но из них при зеркальном отображении совпадают 20, и, стало быть, степень симметрии этого объекта гораздо выше (ближе к единице): $\eta = 20:21 = 0,95$. Величина флуктуирующей асимметрии составит, таким образом, $A = 1 - 0,67 = 0,33$ в первом случае, и $A = 1 - 0,95 = 0,05$ — во втором.

Исследовав несколько десятков икринок из каждой партии и усреднив показатели, можно охарактеризовать партию икры как целое и убедиться, что воздействие лазерного излучения повышает степень симметрии развивающихся икринок весьма существенно (см. таблицу). Ведь мы сравниваем между собой партии икры, полученной от одной и той же самки, а это означает, что никакие

Виды рыб	Степень симметрии в контроле	Степень симметрии при однократной фотостимуляции
Белуга	0,67	0,96
Русский осетр	0,67	0,95
Радужная форель	0,73	0,89
Атлантический лосось	0,74	0,94
Сырть	0,62	0,86
Окунь	0,75	0,94

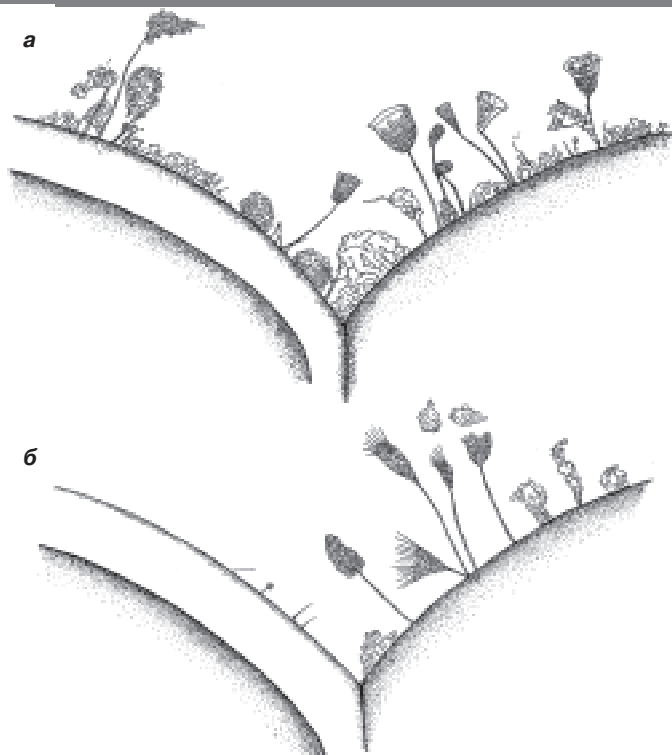
факторы, помимо лазерного воздействия, повлиять на результаты не могли.

Лазерное воздействие и сопротивляемость инфекциям

На функционировании организма положительный эффект лазерного воздействия начинает сказываться очень быстро. Возьмем, к примеру, такой бич рыбоводства, как грибы рода *Saprolegnia*.

Эти плесневые грибы, напоминающие пушистую бело-серую плесень, которая поселяется на некоторых продуктах, абсолютно вездесущи. Но хотя встречаются они практически в любом водоеме, сапролегниоз рыб — заболевание не массовое. Судя по распространению грибов, следовало бы удивляться скорее большому количеству здоровых особей, чем тому, что в реках и прудах встречаются инфицированные рыбы. Однако факт есть факт — несмотря на зараженность воды, большинство рыб в водоемах не болеют.

На причины поражения существует две точки зрения: болезнь случается только там, где имеются особые патогенные штаммы грибов, или же она поражает только ослабленных рыб, не способных бороться с инфекцией. Судя по всему, вторая точка зрения ближе к истине: в рыбоводных хозяйствах сапролег-



5 На живых икринках (слева), соприкасающихся с погибшими (справа), за время инкубации прорастают гифы плесневых грибов (а), но, если икру однократно подвергают воздействию лазерного излучения, живые икринки остаются чистыми до выхода рыбок из икринок (б)

ния поражает, как правило, травмированных рыб, в особенности ослабленных длительной зимовкой.

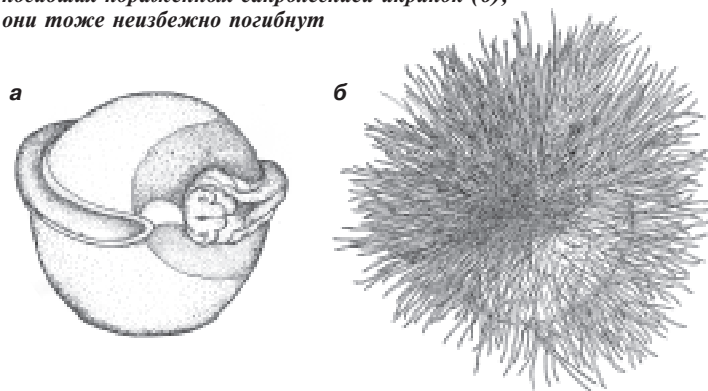
Но уж зато досаждают рыбкам плесневые грибы начинают не просто с первых дней жизни, а даже до того, как те выклюнутся из икринок. Вначале серая «паутина» покрывает неоплодотворенные и травмированные икринки, а затем она разрастается и распространяется на соседние, живые. Покрывая живую икру гифами, гриб затрудняет ее дыхание. И хотя сопротивляемость здоровой икры сапролегниозу очень высока, любая выносливость имеет свои пределы: долгое пребывание в неблагоприятных условиях ухудшает общее состояние икры, делает ее восприимчивой к болезни и в итоге она может погибнуть.

Чтобы не допустить распространения инфекции, рыбводам приходится обрабатывать икру растворами химических веществ (зачастую не та-

ких уж безвредных), обеззараживать воду, поступающую в инкубационные аппараты, ультрафиолетом или прибегать для ее очистки к помощи бактерий и мелких рачков.

Однако если использовать излучение гелий-неонового лазера, а еще лучше — воздействовать на икру комбинированным электромагнитным излучением, магнито-инфракрасно-лазерным, то трудоемких процедур обеззараживания воды и икринок часто удается избежать вовсе. Более того, так называемый отход (гибель икринок) за инкубацию оказывается при этом значительно меньше, чем в случае применения традиционных методов спасения икринок от болезни. Так, если икру карпа предоставить самой себе, то до выклева доживет не больше 45–50% икринок, при традиционных химических способах обеззараживания их число возрастет до 60–80%, а однократная стимуляция лазерным излучением на ранней ста-

6 Эмбрионы на стадии начала пульсации сердца (а) очень чувствительны к недостатку кислорода, и, если развивающиеся икринки покрыты «шубой» погибших пораженных сапролегнией икринок (б), они тоже неизбежно погибнут

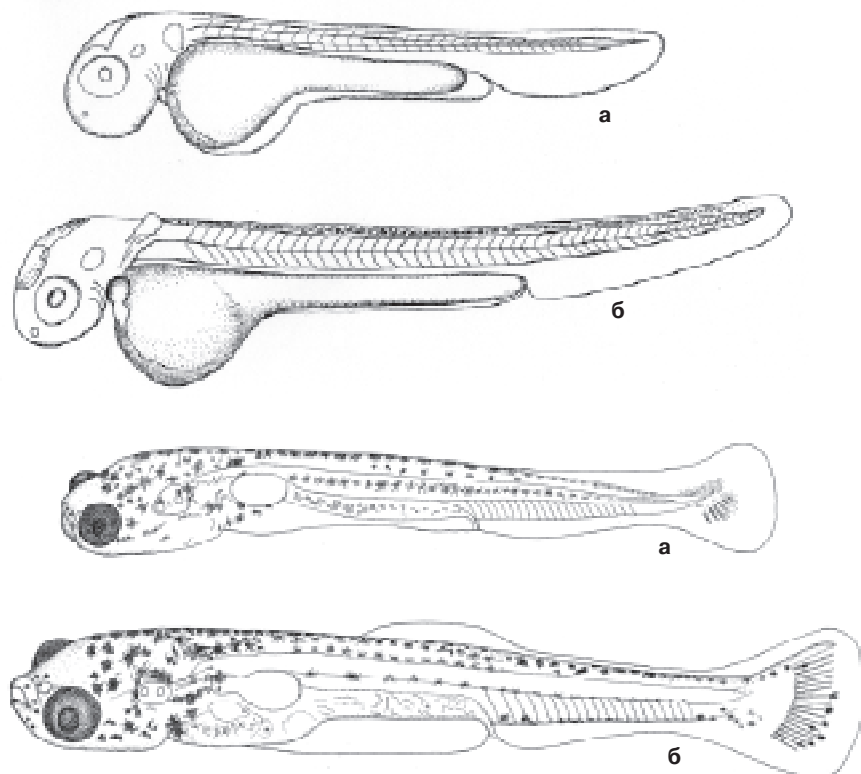


дии развития позволяет полностью предотвратить поражение оплодотворенной икры сапролегниозом: выживаемость эмбрионов карпа достигает при этом 99%!

Особенно перспективна лазерная фотостимуляция икры осетровых рыб. Вот где настоящее раздолье для сапролегнии! Ведь икра осетров клейкая, а значит, ее поверхность — превосходный субстрат для любой заразы. К тому же если неклеякую икру лососевых рыб можно механически «перебрать», используя пинцет или осторожно отсасывая сифоном неоплодотворенные и пораженные грибом икринки, то с икрой осетров такой номер не проходит.

Правда, на рыбоводных заводах осетровую икру перед инкубацией стараются обесклеивать, промывая водой с тонкой взвесью ила, но и это не всегда спасает положение: икринки при этом могут травмироваться, а грибам только того и нужно.

И здесь снова помогает лазер. Мало того что его излучение синхронизирует развитие эмбрионов и обладает бактерицидным действием, оно еще и заживлению микротрещин способствует, стимулирует регенерацию. Изучение состояния оболочек икры белуги в опыте и контроле показало, что после кратковременного воздействия лазерного излучения на икру ее сопротивляемость сапролегниозу резко воз-



7

Молодь весеннерестующих рыб леща (внизу) и плотвы (вверху), выклюнувшаяся из икринок, подвергнутых воздействию лазерного излучения (б), заметно крупнее рыбок из контрольной группы (а)

растает. Если без обработки на живой икринке, соприкасающейся с погибшей, очень быстро прорастают гифы гриба, то в опытной партии оплодотворенная икра остается чистой вплоть до конца инкубации (рис. 5).

Когда количество неоплодотворенных икринок (то есть потенциальных источников инфекции) невелико (около 10%), то выход личинок в опытной партии икры превышает 80% — при том, что в контроле этот показатель не дотягивает даже до 60%. Если же рыболовное качество икры низкое и нормально развивается только 30% икринок (такое тоже бывает, рыболовам не всегда есть из чего выбирать), то спасти икру без лазерного воздействия и вовсе невозможно.

Да, химическая обработка позволяет убить грибок, но погибшие икринки покрывают живые такой плотной «шубой», что кислорода зародышам не хватает и все они гибнут на стадии начала пульсации сердца (рис. 6). Однако, подвергнув икру дозированному воздействию лазерного излучения сразу после оплодотворения, можно наблюдать, что на второй-третий день инкубации неоплодотворенная икра становится матовой, а живые икринки остаются прозрачными. В такой ситуации появляется возможность убрать с помощью сифона неоплодотворенную икру, а живую дать

плодотворенную икру, а живой дать возможность развиваться в чистом аппарате. Более того, оставшаяся в аппарате погибшая икра «шубы» не образует: она находится во взвешенном состоянии и не мешает живым икринкам дышать. Выход личинок в этом случае получается почти стопроцентный.

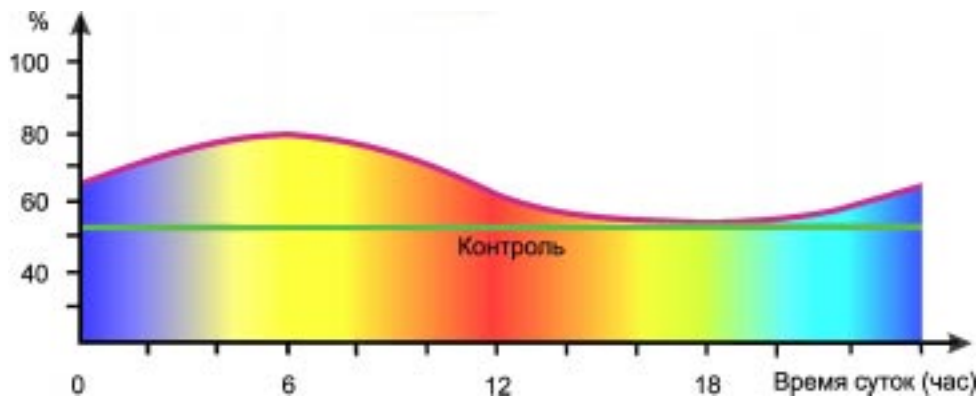
Однако и это еще не все.

Выживаемость выше, личинки ровнее

В рыболовных хозяйствах часто возникает проблема неравномерного роста рыб. Казалось бы, что тут

страшного? Ведь и в природе все происходит точно так же! Проблема, однако, есть. В естественной среде у каждого малька — своя особая охотничья территория, а в условиях рыболовного хозяйства им приходится напрямую конкурировать за корм друг с другом. Личинки, выклюнувшиеся на три-четыре дня раньше, быстрее переходят на внешнее питание, быстрее растут и не дают своим более мелким собратьям полноценно питаться. Из-за этого различия в скорости роста становятся все больше, и вот уже спустя год в одном бассейне кружит, распугивая прочих рыб, десятка два «монстров», а по углам отсиживаются сотни забитых мальков, которые часто болеют и погибают.

Чтобы спасти положение, рыбу приходится сортировать. Делают это обычно вручную. Например, можно взять ящик, дно которого состоит из деревянных реек, набитых через определенные промежутки, и сачком начерпать в него рыбу, подлежащую сортировке. Потом ящик нужно покачать, удерживая дно в воде бассейна, куда осуществляют пересадку мальков (см. фото на с. 54–55). Те, кому размеры позволят, уплывут в бассейн сквозь щели в дне, остальных же можно будет перенести в другую емкость с водой. Если учесть, что в каждом хозяйстве сортировать приходится по несколько сотен тысяч мальков, а иногда и по два раза в год, станет понятно, ка-



8

Выживаемость икры леща после однократного воздействия на нее излучением лазера в разное время суток



кой это каторжный труд. К тому же в процессе сортировки рыбу легко травмировать, а значит, потом ее нужно будет лечить.

Как мы уже знаем, после лазерного воздействия икринка начинает дробиться более равномерно и все части тела личинки развиваются синхронно и пропорционально. И поскольку такому воздействию подвергается вся икра данной партии, то развитие личинок тоже оказывается согласованным. Результат — дружный выклев и синхронный рост. Следовательно, мальков уже не приходится сортировать.

Да и растут экспериментальные рыбки быстрее — ведь им не нужно исправлять те обратимые перекосы в строении тела, которые могли возникнуть при инкубации. Особенно хорошо это заметно, если понаблюдать за молодью рыб, нерестящихся весной (к ним относятся, в частности, всем известные лещ и плотва — рис. 7), — экспериментальная молодь куда крупнее контрольной в том же возрасте.

Ко всему прочему, рыбки, полученные из икры, которая подвергалась лазерному воздействию, оказываются более крепкими и живучими. При выращивании рыб потери в принципе неизбежны, но особенно плохо, когда рыбы гибнут избирательно, а такое случается нередко.

Если в реке рыбка может выбирать, какая скорость течения или температура воды ей больше нравятся, то в заводских бассейнах на это рассчитывать не приходится: не подходит тебе какой-то фактор — погибнешь. Вот и получается, что мальки, для которых наследственно обусловленная норма не совпала с условиями, предложенными человеком, гибнут чаще, чем другие. В результате генетическое разнообразие искусственно разводимых рыб постепенно сокращается, а это может привести к инбридингу, вырождению породы. Однако более крепкие, пропорционально развитые, симметричные рыбы с неоптимальными для себя условиями сре-

ды справляются совсем неплохо. Гибнут они редко, так что первоначальный генофонд сохраняется.

Лазер — не экзотика, а инструмент физиотерапевта

«Но это же сплошная экзотика! — скажет кто-то. — Какое рыболовное хозяйство будет обзаводиться лазером? Это же дорого, он не окупится!»

Что ж, когда-то лазеры и впрямь были недоступными, дорогими и громоздкими. Однако в наш век крошечных лазерных указок это уже не аргумент — ведь для лазерной стимуляции большой мощности не требуется. Более того, лазеры давно стали составной частью приборов, активно используемых в физиотерапии. С их помощью лечат многие болезни даже в домашних условиях.

Терапевтические аппараты «РИКТА» и «МИЛТА-Ф», применяемые для лечения людей, генерируют комбинированное магнитно-инфракрасно-лазерное излучение, которое воздействует на развивающуюся икру подчас даже более благоприятно, чем монохроматическое излучение гелий-неонового лазера.

Конечно, если взять лазерный генератор или лазерный терапевтический аппарат и попытаться стимулировать икру самому, ничего, скорее всего, не получится — для такой работы требуется специалист. Мало знать характеристику и режим работы приборов, нужно иметь представление об оптимальных параметрах лазерного воздействия, отличающихся для разных видов рыб, а они, в свою очередь, зависят от стадии развития икринок, температуры воды и от других факторов. Например, икре совсем не безразлично, в какое время суток осуществляется фотобиологическая стимуляция.

Так, в опытах с икрой леща наибольшее число ровных здоровых личинок было получено при однократном воздействии лазерного излучения на икру в ранние утренние часы

(рис. 8). У некоторых видов рыб лучшее время для фотобиологической стимуляции — полдень, а вот к воздействию в вечернее время икра и личинки всех изученных видов рыб индифферентны. Это связано, по-видимому, с биологическими ритмами рыб и состоянием геомагнитного поля Земли в разное время суток.

Уникальные свойства излучения гелий-неонового лазера позволяют использовать его не только для получения здоровых жизнеспособных личинок рыб. Это излучение стимулирует и другие биологические процессы: например, ускоряет и синхронизирует созревание самок осетров, влияет на процессы, обеспечивающие переход молоди лососевых рыб к жизни в морской воде. В общем, лазер полезен везде, где требуется компенсаторная адаптация организма и повышение его устойчивости к неблагоприятным условиям среды.

И главное — такие работы постепенно выходят из стадии эксперимента. На государственных рыболовных заводах в Карелии, некоторых осетровых заводах на Волге, а также в Прибалтике фотобиологическую стимуляцию икры используют уже достаточно широко. Хочется надеяться, что «процесс пойдет» и дальше. Рыбоводство — отрасль развивающаяся, и использование лазера, дающее такой впечатляющий экономический эффект, в ней обязательно приживется.



Доктор
биологических наук
Д.Н.Лапшин,
лаборатория
обработки сенсорной
информации
Института
проблем передачи
информации
РАН



Как открыли эхолокацию у бабочек

Эхолокация — это способ исследования предметов в окружающем пространстве, при котором эхолокатор издает прямые, или зондирующие, сигналы и воспринимает эхо для получения информации о пространственном положении и свойствах лоцируемых целей. При импульсной эхолокации передатчик генерирует очень короткий зондирующий сигнал. Если он отражается от объекта и возвращается к приемнику, то по времени задержки эха можно определить расстояние до этого объекта.

История открытия эхолокации у животных связана прежде всего с именем американского ученого Дональда Гриффина. Именно Гриффин впервые зарегистрировал ультразвуки летучих мышей (1938), провел теперь уже ставшее классическим исследование эхолокации у этих животных и обнаружил аналогичную способность у птиц, обитающих в пещерах (1953). В 1957 году два американских исследователя, Кеннет Редер и Эшер Трит, изучая способность ночных бабочек-совок (семейство *Noctuidae*) воспринимать ультразву-

ки, обнаружили, что эти насекомые в полете издают короткие ультразвуковые щелчки. Поскольку совки наиболее активны в ночное время, авторы предположили, что эти бабочки способны к импульсной эхолокации. Однако за три десятилетия после выхода в свет пионерской работы Редера и Трита не было получено ни одного факта, непосредственно подтверждающего «эхолокационную» гипотезу у насекомых. Сейчас уже трудно понять, предпринимались такие исследования или нет, — отрицательные результаты обычно не публикуют. Я склонен считать, что поиски эхолокации у насекомых все-таки проводили, но ничего подтверждающего гипотезу найдено не было. Основной довод против возможности эхолокации у совков, который мне приводили специалисты в области биоакустики, состоял в следующем: слуховая система бабочек не может разделить прямой и отраженный сигналы — ответ на эхо будет теряться на фоне сильной реакции рецепторов на собственный щелчок.

Примерно полвека назад со сходной проблемой столкнулись инжене-

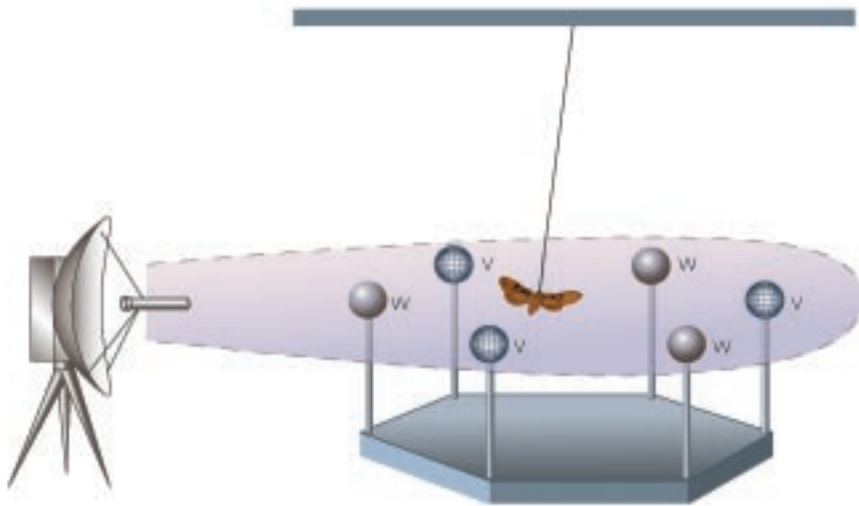
1
Рабочая зона экспериментальной установки.

Бабочка, прикрепленная к поводку датчика горизонтального смещения, летала и издавала ультразвуковые щелчки. Эти щелчки регистрировались микрофоном; сигналы с выхода микрофона после усиления и преобразования формы поступали на акустический излучатель, направленный на бабочку

ры при создании импульсных радиолокаторов. В первых таких системах зондирующий сигнал воздействовал на приемник и нарушал его работу. Эту проблему довольно быстро удалось решить, и описание решения вошло во все учебники по радиолокации.

Теперь, если провести аналогию в части постановки проблемы и предложить конструкторам разработать радиолокатор таким образом, чтобы его приемник реагировал как на зондирующий импульс, так и на отраженный сигнал, они откажутся выполнять столь нелепое требование — и будут правы. В импульсных локаторах с помощью специальных средств обязательно подавляется работа приемника на время, пока не закончится излучение зондирующего сигнала, — это общее правило для систем такого типа. Поэтому, обсуждая возможность импульсной эхолокации у бабочек, не следовало ставить вопрос об их способности разделять прямой и отраженный сигналы. Его нужно было формулировать иначе: могут ли слуховые рецепторы бабочки не реагировать на высокоамплитудные стимулы, в том числе на ее собственные акустические щелчки? В таком контексте исследование способности совков к эхолокации становилось вполне перспективным, поскольку фактов, указывающих на возможность подавления реакций слуховых рецепторов на сильные стимулы, в физиологии известно довольно много.

Для проверки эхолокационной гипотезы на первых порах можно было упростить задачу: достаточно было определить, способны ли бабочки воспринимать сигналы, сходные с эхом от их собственных щелчков.



Именно с первых наших экспериментов в 1989 году, направленных на решение этого вопроса, началась история экспериментального изучения эхолокации у совок. В этих опытах бабочки в ответ на ретрансляцию им эхоподобных стимулов демонстрировали двигательные реакции — попытки изменить направление полета (рис. 1). Так мы убедились, что дальнейшие исследования эхолокации у совок действительно перспективны. Оглядываясь назад, я могу почти с уверенностью сказать, что успех был определен не какой-то особой оснащенностью лаборатории (в шестидесятые годы у Редера уже было все необходимое для решения технических проблем), а правильной постановкой тех вопросов, которые следовало решить в первую очередь.

Еще задолго до наших исследований отечественные и зарубежные ученые показали, что эхолокационные системы летучих мышей и дельфинов устроены очень сложно и весьма эффективны. Утвердилось мнение, что эхолокация — это прерогатива исключительно высших позвоночных, так как для обработки эхолокационной пространственной информации необходим высокоразвитый головной мозг. Мы также сомневались в том, что эхолокация у насекомых возможна, поэтому даже после получения первых реакций совок на «эхоподобные» сигналы эта тема пролежала без движения еще два года. И лишь в 1991 году, чтобы окончательно решить, нужны ли дальнейшие поиски, мы приступили к исследованию способности бабочек ориентироваться в темноте.

Эти опыты проводились на так называемой карусельной установке (рис. 2), в которой насекомые, укреп-

ленные на тонкой, гибкой проволочке, летали среди модельных преград. Одни из таких преград (акустически «светлые» — W) хорошо отражали ультразвук, другие (акустически «темные» — V) отражали ультразвук в два раза хуже. Ожидалось, что бабочка, если она пользуется эхолокацией, в темноте будет лучше чувствовать предметы с высоким коэффициентом отражения и соответственно реже с ними сталкиваться. Результаты первых же опытов подтвердили наши предположения: совки действительно избегали в темноте столкновений с препятствиями, но только когда излучали щелчки. Затем, в 1993 году, в сходных экспериментальных условиях была обнаружена особая зона в передней полусфере перед лоцирующей бабочкой — «мертвая зона», внутри которой наблюдалось резкое снижение вероятности реакций подопытных насекомых на эхо. Однако карусельная методика в силу разных причин не подходила для измерений характеристик эхолокатора бабочек, поэтому в дальнейшем мы вернулись к методу ретрансляции насекомым эхоподобных стимулов.

По аналогии с традиционными представлениями, основанными на результатах изучения эхолокации у летучих мышей, в качестве реакции лоцирующей бабочки на эхо можно было ожидать ее двигательный ответ — рывок в сторону от источника эха. Однако, несмотря на несколько удачных результатов, довольно быстро стала очевидной бесперспективность такого подхода из-за высокой самопроизвольной двигательной активности бабочек. В ходе этих же опытов мы обнаружили, что на фоне ретрансляции подопытные совки начинают

чаще издавать щелчки. Такие изменения акустической активности легко могли быть зарегистрированы и поэтому значительно лучше подходили в качестве признака реакции насекомого на стимул. С момента разработки этой методики темпы исследования эхолокационной системы бабочек резко ускорились, и нам удалось получить результаты, недостижимые в рамках старых подходов. В частности, оказалось, что эхолокатор совок адаптирован к восприятию отражений от препятствий, находящихся в ближней зоне, в пределах 6–16 см от насекомого. В этом диапазоне локационная система имеет высокий запас по чувствительности, необходимый для обнаружения предметов, слабо отражающих ультразвук. Таким образом, нам удалось подтвердить способность ночных бабочек к эхолокации. Это пока первый пример среди беспозвоночных.

Теперь на повестке дня встал следующий вопрос: зачем совкам, обладающим чувствительным зрением, нужна эхолокация? Обычно параметры той или иной системы определяются ее назначением, но нам пришлось решать обратную задачу — по характеристикам локационной системы определять ее место в пространственной ориентации бабочек.

Эхолокатор совок во многом отличается по своим параметрам от уже исследованных систем других животных. Диаграмма направленности акустического излучения у них имеет форму не лепестка, направленного вперед, как у летучих мышей или дельфинов, а близка к шарообразной (рис. 3), то есть эхо от каждого щелчка представляет собой как бы слепок материального окружения бабочки.



Совка картофельная,
Hydraecia micasea



Пламенница
пирамидальная,
Amphipyra pyramidea



3
Бабочка (на снимке она изображена со спины, головой от зрителя и вверх) излучает звуки не только перед собой, как летучие мыши и дельфины, но и в стороны, и назад

Слуховые рецепторы совок эволюционно произошли от нейронов, участвовавших в управлении движением задних крыльев, но они сохранили прямые связи с нервными центрами, управляющими полетом. В результате такой тесной кооперации слуха и моторной системы время задержки реакций бабочки на эхо составляет всего 30 мс. Этот интервал примерно соответствует периоду взмаха крыльями. В то же время двигательные реакции совок на зрительную информацию происходят с большей задержкой. Сравнение двух гистограмм (рис. 4) дает ответ на вопрос, для чего совкам необходима эхолокация: задержка их реакций на зрительные сти-

мулы в три раза больше, чем реакций на эхо. Фактор времени для летящего животного может стать определяющим, даже если ночью его зрение достаточно чувствительно.

С учетом всех полученных сведений можно сделать вывод, что основное назначение локатора совок — обнаружение предметов около машущих крыльев, то есть как раз на тех курсах, где элементы окружения смещаются с наибольшей скоростью. Вероятно, зрение и эхолокация у совок работают совместно, дополняя друг друга.

Одна из причин, ограничивающих использование эхолокации, — это самообнаружение лоцирующего животного как перед хищниками, так и перед потенциальными жертвами. Совки сталкиваются с этой проблемой, поскольку одновременно с ними в воздухе находятся хищники — летучие мыши, также способные к эхолокации, что неизбежно должно привести к противостоянию эхолокационных стратегий этих животных.

Известно, что совки могут обнаружить присутствие в воздухе летучих мышей, восприняв их зондирующие сигналы. Редер и Трит установили, что при облучении слабым ультразвуком (летучая мышь далеко) совка стремится в полете развернуться так, чтобы улететь от его источника. Амплитуда

эха от бабочки при этом уменьшается, так как ее крылья ориентируются примерно ребром к падающей акустической волне. При средних уровнях звука совка начинает совершать непредсказуемые и резкие маневры: описывать петли и нырять к земле. При очень большой громкости бабочка обычно складывает крылья и падает на землю.

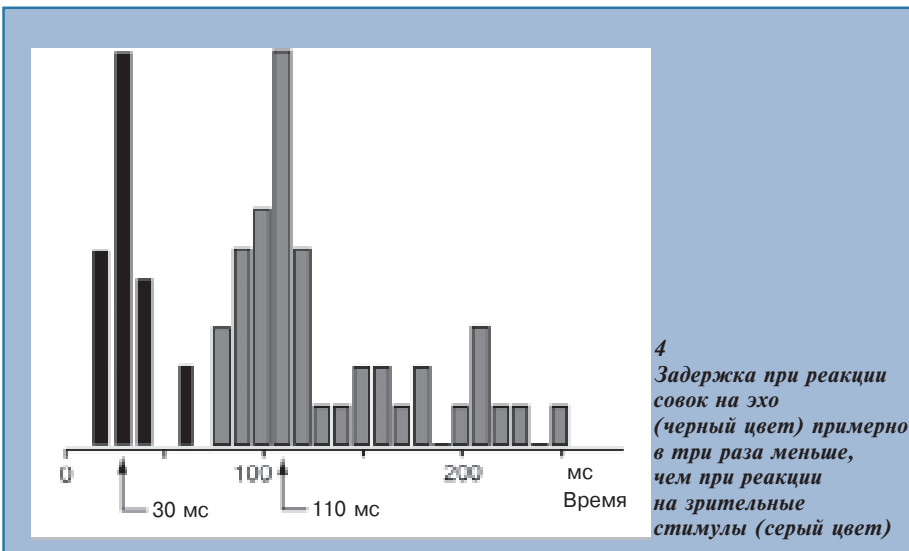
Летучие мыши, по-видимому, также улавливают щелчки совок, и эти сигналы привлекают их внимание. Поэтому бабочкам приходится сокращать время своего «акустического присутствия» в воздухе — излучать сигналы только при необходимости. Когда совка замечает препятствие, она начинает испускать щелчки с высокой частотой и продолжает щелкать, пока не минует его, и еще несколько секунд после потери с ним акустического контакта.

Давлением отбора со стороны летучих мышей можно также объяснить сохранение у совок ведущей роли зрения, несмотря на способность этих животных к эхолокации.

Подводя итог, можно отметить, что эхолокация оказалась более распространена в природе, чем думали раньше. Предпосылкой развития у животных эхолокационных систем служит быстрое движение в насыщенном препятствиями трехмерном пространстве в темное время суток либо в средах с низкой прозрачностью. Те виды, у которых обнаружена способность к эхолокации, очень подвижны и не находятся в постоянном контакте с поверхностью земли. На эту тенденцию можно ориентироваться при поиске эхолокации у других животных.

Что еще можно прочитать об эхолокации у бабочек:

- Лапшин Д.Н. Эхолокационная система бабочек. М.: Наука. 2005. (<http://www.lapshin.iitp.ru/abstr24.htm>)
- Лапшин Д.Н., Федорова М.В., Жантиев Р.Д. Эхолокация у совок (*Lepidoptera, Noctuidae*). Зоол. журн. 1993. Т.72, № 9.
- Roeder K.D., Treat A.E. Ultrasonic reception by the tympanic organ of noctuid moths. J. Exp. Zool. 1957. V.134.





Кто поет, когда насекомые молчат?

Природу нужно слушать внимательно. Даже в наше время в лесопарках больших городов, включая Москву, по голосам можно обнаружить интересных животных, в том числе новых, ранее здесь не замеченных.

В самом начале мая 2004 года я оказался в парке Центральной клинической больницы (ЦКБ), что недалеко от Крылатского на западе столицы. Это место довольно тихое, огороженное со всех сторон высоким забором — своеобразная заповедная зона. Лесная дорожка вдоль опушки, усыпанная прошлогодней листвой, вела меня мимо заболоченных лужаек с сухой травой (см. фото). Проходя мимо одной из них, ярко освещенной весенним солнцем, я услышал то тут, то там ясные, хотя и тихие, короткие (около секунды) звуки — высокочастотную дробь. Кто это? Ведь для любых поющих прямокрылых насекомых

шлигодним опадом, стараясь ориентироваться на звук. Однако то ли я не успевал реагировать, то ли эхо сбивало меня, но с первого раза обнаружить невидимых певцов мне не удалось. Я встал и прошел вперед по дорожке. По мере удаления от лужайки звуки стихли. Стало понятно, что те, кто издавал эти сигналы, обитают именно в том месте, не выходя за его пределы.

Вернувшись обратно к лужайке, я решил, что, пока не разгадаю тайну звука, не уйду. И стал ждать. По траве ползали мелкие жуки, клопы, садились и взлетали мухи, бегали разнообразные клещи и пауки. Кто же из них? Вдруг из-под сухого листа вылез довольно крупный самец паука-волка из семейства ликозид (*Araneae, Lycosidae*), пробежал по нему, застыл на мгновение и затряс брюшком, ударяя его нижней стороной по листу, как по барабану. И тогда я услышал тот самый

опадом, оставаясь невидимыми для глаза наблюдателя. Как жаль, что у меня нет с собой магнитофона! Ну а кто мешает мне взять пауков с собой в лабораторию?

Я поймал несколько самцов и по возвращении сразу же настроил звукозаписывающую аппаратуру. Насыпал в садок на влажную землю сухие листья и выпустил туда пауков. Спустя некоторое время самцы стали по очереди барабанить по листьям, издавая те же сигналы, что я слышал в природе.

Я не арахнолог — специалист по паукам, так что определить название этого вида мне было непросто. И вот тогда-то пришла на помощь биоакустика. В Интернете удалось разыскать зарубежную статью с осциллограммами сигналов, издаваемых самцом одного из видов паука-волка из Западной Европы. Сравнение осциллограмм не оставило сомнений: это была гигроликоса краснополосая (*Hygrolycosa rubrofasciata*). Позже мое определение подтвердил специалист.

В апреле–мае самцы гигроликосы активно ищут самок, привлекая их внимание ударными сигналами. А летом можно увидеть самок ликозид разных видов со светлым шаровидным коконом под брюшком. Надо заметить, что в природе я слышал звуки пауков в ясную и солнечную погоду и только в первой половине дня. Начиная с двух-трех часов дня пауки постепенно прекращали издавать сигналы, а уже к пяти вечера ничто не выдавало их присутствия. Вполне возможно, что столь раннее пение этого вида связано с отсутствием весной конкуренции за акус-

тические ниши. Позже, когда отраждаются поющие прямокрылые насекомые, также использующие звук для коммуникации, услышать пауков, скорее всего, было бы намного сложнее.

Спустя два года я решил проверить, как широко распространен этот вид паука на территории Москвы. Экскурсия по Измайловскому парку на востоке столицы весной 2006 года показала, что гигроликоса краснополосая обитает и тут, во влажных болотистых биотопах, хорошо прогреваемых солнцем, вблизи ручьев и речушек. Здесь я также обнаружил его благодаря звукам самцов.

Ранее никто не сообщал о том, что гигроликоса краснополосая обитает в Москве, и никогда не регистрировал и не изучал коммуникационные сигналы пауков на территории России. Вот так по звуку мне удалось обнаружить в Москве интересный вид паука.

Хочу поблагодарить Р.П.Сейфулину (МГУ) за подтверждение определения паука *Hygrolycosa rubrofasciata*, а также К.Г.Михайлова (Зоологический музей МГУ) и А.В.Танасевича (Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы, Москва) за консультации по вопросам распространения этого вида.

Работа поддержана грантом «Университеты России».

Сигналы размещены в Интернете на сайте Entomology Info (<http://entomology.narod.ru/araneae/>).

А.А.Бенедиктов,
кафедра энтомологии
биологического факультета
МГУ



Осциллограммы сигналов пауков: *a* — серии ударов нескольких самцов; *b* — одна серия из отдельных ударов. Отметка времени внизу: *a* — 7,5 с; *b* — 250 мс. Температура записи 25°C

(Orthoptera) слишком рано. Саранчовые (*Acrididae*), кузнечики (*Tettigoniidae*) и сверчки (*Gryllidae*) еще даже не вышли из яиц. Певчим цикадам (*Homoptera, Cicadidae*) тоже пока не время. Кто же так красиво стрекочет хором, переключаясь друг с другом?

Звуки ясно доносились с земли. Я опустился на колени и стал разглядывать переплетение сухих трав с про-

звук, который привлек мое внимание. После этого паук вновь нырнул под лист и издал ту же дробь — серию ударов, но уже сидя под листом. Так вот почему я не смог с первого раза найти источник звука! Я привык искать насекомых, которые в момент пения обычно сидят на более или менее видимом месте. А здесь не насекомые, а пауки издавали сигналы, часто под

Продолжение



Художник С. Дергачев





Близилась полночь. Человек за письменным столом отложил ручку, собрал бумаги в аккуратные стопки, ожесточенно потер глаза, потом с наслаждением потянулся. Продолав этот ритуальный комплекс движений, он поставил локти на стол, уперся подбородком в скрещенные кисти рук и замер в ожидании.

Большой электронный будильник в углу замигал зелеными цифрами, высветил на дисплее четыре нуля, разделенных жирным двоеточием, и издал серию писков, что означало приход новых суток.

Над бумагами за клубился цветной туман, струйками пополз вверх, формируя десятка два небольших — как раз в высоту листа распечатки — фигурок. Вскоре на столе перед неподвижно застывшим человеком стояли, расхаживали и метались существа, среди которых было сколько-то явных гуманоидов, парочка мифических тварей и еще несколько вовсе трудноидентифицируемых созданий. Вся эта орава говорила и кричала, наперебой обращаясь к человеку тоненькими голосами, из-за чего разобрать слова кого-то из них не представлялось возможным.

— В очередь! — гаркнул человек, приподняв голову.

Существа скакнули в стороны и попрятались за бумагами, лишь некоторые — вероятно, наиболее стойкие — остались на середине столешницы: немолодой мужчина в меховых одеждах, с длинным мечом на плече; остроухая девица в плаще, бикини и высоких сапогах; двое подростков-близнецов, скудно одетых, но богато татуированных; и еще изящный угольно-черный дракон.

— Смелые? Ну, вперед! Вот ты, — указующий перст человека почти коснулся ушастой девушки, — на что жалуешься?

— На костюм, — уверенно заявила та. — Мне дважды бывать в горах и один раз — в подземном озере. Я, конечно, перворожденный эльф, ну и все такое, но в этом?.. — Она подергала завязку купальника. — В этом я замерзну насмерть во второй же главе.

— Что же ты не пожаловалась автору? — Человек за столом недоуменно приподнял брови.

— А он в меня не верит. Я ему один раз явилась, так он полпузырька валерьянки сожрал, взял отпуск и теперь ложится спать не позже одиннадцати. И пить бросил.

— Бедняга! — рассмеялся человек — Хорошо, это мы с ним поправим. Свободна.

Эльфийка изобразила рукой совершенно современный жест, обычно сопровождаемый школьниками возгласом «Yeesss!», и растаяла в воздухе.

— Следующий! — Человек перевел взгляд на мечника в мехах.

— Я больше не хочу, — тихо и устало произнес тот. —

Пятая серия. Сколько можно! У меня дети взрослые, а я все мир спасаю.

Человек за столом пристально уставился на жалобщика: — Нечасто я слышу от персонажей просьбы резать публикацию.

— А куда деваться? — горько парировал мечник. — Мужик, мы ж давно знакомы! Сделай милость, попроси хозяйина сменить главного героя.

— Он на тебе зарабатывает. И, кстати говоря, хорошо зарабатывает.

— Знаю. Ну и что? Мне тоже хочется жить нормально, а не злодеев рубить в капусту без перерыва на обед.

На лице человека обозначилось сочувствие:

— Ладно. Пятую часть отбегаешь — и все. Больше эту эпопею брать не будем. Или пусть меняет героев. Автор твой раскручен уже достаточно, может себе позволить. Но ты его тогда уж не бросай! Ты свой мир знаешь лучше, чем он сам, — поработай хоть советчиком. Договорились.

Разом повеселевший мечник, салютовав мечом размером с авторучку, выкрикнул:

— Уж я насоветую! Тут не беспокойся, будет все чисто. И растворился следом за эльфийкой.

Вперед было сунулся дракон, но человек остановил его:

— Погоди, с тобой разберемся в конце, там другое... Вы, ребята, что?

Близнецы, сплошь покрытые узорами татуировки, синхронно шагнули вперед.

— Именно сие, — изрекли они хором.

— Содеявший с нами это... — начал тот, что справа.

— ...Вдохновением наделен сверх меры, но разумом обижен, — подхватил тот, что слева.

— ...Судьбу нашу связав с любовными похождениями...

— ...Разнообразными и частью противоестественными...

— ...Творец наш подумать не соизволил, что таковые похождения...

— ...В наших условиях крайне затруднены, а то и вовсе невыполнимы.

Человек за столом поморщился:

— А, вы из этого... из «Души в зеркале»? Да, автор ваш, конечно, талант. Кто-то из вас аскет и волшебник в эротической сфере, а кто-то гей.

— Прощения просим, сие не совсем так...

— ...И это хуже всего. Волшебник — я, и я же предпочитаю любовь юношей...

— ...Но в силу особенностей своего искусства брат мой принужден делить ложе с женщинами.

— ...А поскольку душа у нас одна на двоих...

— ...То я, аскет и мастер тонких энергий, волею создателя не могу разлучаться с братом...



— ...А вследствие нашего сходства нет никого, кто нас не спутал бы между собой...

— ...И небеса ведают, что жить так невозможно! — хором закончили оба.

Но тихий смешок человека заставил близнецов понуричься.

— Логично, — произнес он. — Я еще удивлялся, когда читал, как вы там не спятили... Ладно, поговорю с вашим создателем — пусть он вам послабление сделает. Кстати, не «он», а «она». Такое только баба могла придумать!.. Но тогда будете ждать подписки в печать еще два месяца, имейте в виду!

Близнецы покорно закивали и, двигаясь как один, убрели к бумажным бастионам на краю стола, после чего вошли в одну из стопок и исчезли.

— Люблю покладистых персонажей, — вздохнул человек. — Остальные, давайте сюда!

На шумную группу, которая высыпала в центр столешницы, он посмотрел брезгливо. Существа, оказавшиеся перед ним, страдали разнообразными дефектами: некоторые — бесформенностью, другие — туманностью, многие были обряжены в чудовищные одежды или доспехи; кто-то зловеще хихикал, а многоголовая тварь не могла закрыть пасти: мешали неряшливо торчащие зубы.

— Ну и что? Вы думаете, в таком виде я могу выпустить вас в свет? В зеркало посмотритесь! Нет, это несерьезно. Пошли прочь. Все!

— Недобрый ты, — прокомментировал дракон, наблюдая, как отвергнутые со стенаниями рассеиваются в воздухе.

— А никто и не говорил, что я добрый, — отрезал человек. — Ты подожди еще минутку, хорошо? — Он взял синий фломастер и начал расписываться на каждой стопке бумаги. Вариантов росписи было два: «В публикации отказано» и «На доработку». — Рецензии завтра сяду ваять, — пробормотал устало. И расписался на последней стопке: «В печать».

— Вот как? — удивился дракон. — Тогда зачем я тут торчу? Ты же еще позавчера не хотел пропускать. Мелочи, говорил, шлифовка.

— Да, видишь ли, тут такое дело... — Человек отвел глаза. Помолчал и без выражения сказал: — Автор твой... в общем, похороны завтра.

В этот самый миг будильник разразился истошным писком. Час ночи.

— То есть уже сегодня, — поправился человек. — Поэтому никаких исправлений больше не будет. Посмертное издание... ну, последний роман, и все такое... Слушай, драконы водку пьют? Составишь мне компанию?

— Составлю, — согласился дракон. — А ты возьми меня утром с собой. Я постараюсь продержаться, не исчезнуть хотя бы до полудня.

— Хочешь попрощаться?

Дракон сунул морду в стакан с водкой. Уровень жидкости заметно понизился.

— Хочу. В конце концов, он меня придумал. Сделал положительным героем. Жаль, что он больше ничего обо мне не напишет. Хотелось еще приключений. Но он сказал, что драконы не любят суеты, и значит, всю оставшуюся жизнь я просижу в своей пещере. Просто потому, что он уже ничего для меня не сочинит.

Человек одиноко стоял поодаль и глядел, как от могилы группками расходятся родственники и знакомые покойного. Глядел и поглаживал теплую шею дракона, затихшего под курткой.

Подошла женщина с заплаканными глазами, тихо поздоровалась. Он с усилием вспомнил ее. Вдова. Да, виделась раза два или три.

— Вот... — Женщина протягивала стопку бумаги в целофановом пакете. — Он хотел вас удивить, только не успел. Это продолжение его последней вещи. Возьмите, пожалуйста...

Будильник отсчитывал последние минуты до полудня. Не раздевшись, человек присел к столу и слегка дрожащими руками извлек рукопись из пакета. Дракон вопросительно заглядывал то ему в лицо, то в текст: читать он не умел.

— «Лучи заходящего солнца, — вслух прочел человек, — покрыли склоны горы золотом и киноварью, выложили длинные тени на луга внизу и подсветили красным крыльям черного дракона, набравшего высоту над вершиной».

— Ох! — сказал дракон.

Персонаж и редактор глядели друг на друга, а между ними лежала рукопись.

Будильник пропищал полдень. Дракон задумчиво распустил по столу крыло и почесал его задней лапой.

— Знаешь что? Не буду я вообще никуда исчезать. А вдруг здесь понадобится что-нибудь исправить?.. Я тебе помогу. Ладно?





ФОТОИНФОРМАЦИЯ

рая, наоборот, способствует появлению этих самых прыщей. Но если приглядеться, то можно заметить, что роса росе рознь. Одно дело, когда в предрассветные часы поверхность почвы остывает столь сильно, что ее температура оказывается ниже точки росы и вода, испарившаяся за теплый летний день, конденсируется на земле, а также на камнях, металлоконструкциях и растениях. Другое дело, когда на кончиках сухих листьев дрожат многочисленные капельки, которые подобно бриллиантам переливаются в лучах восходящего солнца. Их происхождение иное, хотя тоже связано с влажностью воздуха.

Вообще говоря, вода в растении, как правило, движется снизу вверх, от корней к листьям. И там ее излишек испаряется через устьица — щели между специальными клетками (устьица открываются и закрываются, регулируя испарение). Этот процесс для растения жизненно важен — с водой перераспределяются питательные вещества, а испарение помогает избавиться от излишнего тепла. Если влажность окружающего воздуха



С. М. Комаров

Пот растений

Про росу сложено немало легенд. В них есть и майская роса, которая сохраняет свежесть лица, и роса на Ивана Купалу, помогающая от прыщей и при бесплодии, и роса, кото-



Обильная роса покрыла жесткие листики голубики, придав им сходство с драгоценным украшением



слишком велика, может так получиться, что вода не станет испаряться даже из открытых устьиц: не позволит термодинамика. Как тут быть? Ответ таков: задействовать дополнительный механизм. В его

роли выступает гуттация, прямое выделение воды растением, из-за чего и образуются капельки на листьях и стеблях. Для гуттации у растений есть специальные железки — гидатоды, которые, как правило,



При гуттации блестящие капельки воды украшают только самые кончики листьев





Фото П.А.Хохрякова

расположены на кончиках листьев. Капелька жидкости постепенно растёт, а затем отрывается и скатывается на землю. Порой объём такого растениетворного дождя оказывается столь большим, что почва становится очень влажной.

Вытекающая при гуттации жидкость — отнюдь не чистая вода. В ней растворены соли и другие вещества (до нескольких граммов в литре капель), порой вредные для здоровья растения: высохнув, капелька может оставить после себя химический ожог на листе. Получается, что гуттация — своеобразное потение растений.

А как же целебные купания в росе в ночь на Ивана Купалу? Физиологи растений однозначно отвечают на этот вопрос: роса — это почти чистая вода, поэтому о её биологической активности говорить не приходится. Но холодное обливание — процедура безусловно полезная.



ФОТОФАКТ

Грибная кровь

Воду выделяют не только растения, но и грибы, причем порой их «пот» выглядит зловеще — он подобен капелькам крови, как, например, у гиднеллума кровоточащего и печеночницы. Цвет капельки воды на поверхности плодового тела гриба связан с его пигментами: зрелый гиднеллум — красного цвета. У серого трутовика, или домового гриба, выделения бесцветны.

«Микологи называют эти капли экссудатом, он часто образуется на молодых, интенсивно растущих плодовых телах трутовиков и некоторых других грибов, — говорит профессор Л.В.Гарибова (биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова). — Дело в том, что при бурном росте гриба происходит разложение гликогена на простые сахара. Гриб накачивает воду, и давление внутри клеток сильно увеличивается (а в грибах его значение огромно, оно достигает восьми атмосфер); чтобы его снять, гриб выбрасывает излишнюю воду наружу. Вместе с водой выходят и

Фото К.А.Головиной

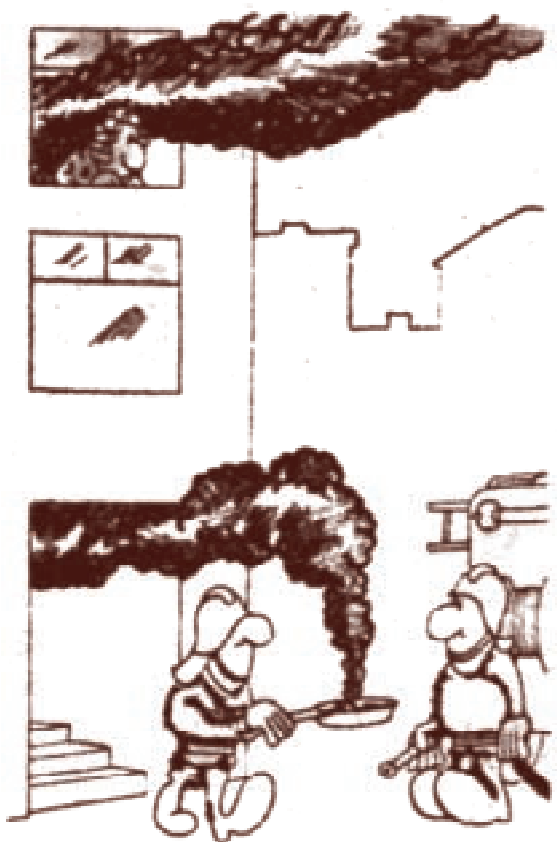


Такой гриб *Hydnellum peckii* можно найти в лесу под Новосибирском

другие вещества, те же пигменты или сахара. Сложно сказать, насколько этот процесс помогает избавиться от ненужных продуктов жизнедеятельности. Скорее всего, они оказываются в экссудате просто потому, что растворимы в воде. Практического значения экссудат не имеет, и его изучение не привлека-

ет внимания исследователей: какие-то полезные вещества из грибов получают, перерабатывая мицелий. Содержание веществ в нем несравнимо больше, чем в каплях слабого раствора».

С.Алексеев



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Гамбургер не переваривается

В ресторанах быстрого обслуживания еду, как правило, хорошо обжаривают. Оно и понятно — такая пища обладает манящим ароматом и приятным вкусом, из-за чего и возникает у многих, а особенно у подростков, привязанность к всевозможным гамбургерам и картошке фри. То, что подобное питание, мягко говоря, не полезно (тем более если им злоупотреблять), — не новость, однако вряд ли кто-нибудь может перечислить все угрожающие здоровью компоненты «фастфуда». Испанские ученые из Андалузского университета обнаружили еще один (по сообщению агентства AlphaGalileo от 15 апреля 2006 года).

Им оказались продукты реакции Майяра. Эта реакция происходит при нагреве пищи и состоит из последовательных взаимодействий аминокислот с сахарами или окисленными липидами. В результате на хлебе или жареном мясе появляется аппетитно пахнущая корочка, а поджаренные зерна кофе приобретают свой неповторимый аромат. Кроме того, продукты реакции действуют как антиоксиданты. С другой стороны, организм не способен разлагать обжаренные белки на аминокислоты, то есть пища не усваивается. Именно этот факт и установили испанские исследователи, проведя четырехмесячный эксперимент с участием двух групп школьников, одну из которых кормили гамбургерами, хлебом с поджаристой корочкой и прочими жареными продуктами, а других — равным по питательной ценности количеством вареных сосисок и овощного пюре. В результате развивающиеся организмы детей из первой группы усваивали меньше белков, чем из второй.

А с крысами все получилось еще печальнее. Их кормили едой, 3% которой составляли продукты реакции Майяра. И у всех подопытных грызунов снизилось содержание кальция и магния в костях, а это — верный путь к остеопорозу.

С. Комаров

Пишут, что...



...Тритон, самый крупный спутник Нептуна, возможно, когда-то был частью бинарного небесного тела, от которого оторвался при сближении с Нептуном («Nature», 2006, т.441, № 7090, с.162)...

...вышла монография А.А.Глушко «Космическая экология. Экологические исследования космических систем жизнеобеспечения» (М., 2005) («Инженерная экология», 2006, № 2, с.2)...

...австрийские физики подтвердили существование «треугольников Ефимова», триплетов бозонов в ультрахолодном газе из атомов цезия — состояния частиц, предсказанного Виталием Ефимовым 30 лет назад («Physics World», 2006, № 4, с.4)...

...игнорирование фрактального характера распространения землетрясений может привести к занижению сейсмической опасности («Доклады Академии наук», 2006, т.407, № 5, с.679—681)...

...использовать в адресах электронной почты значок @ впервые предложил американец Р.Томлисон в 1971 году («Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права», 2006, № 5, с.35—44)...

...трехлетние исследования в Гарвардской медицинской школе и клинике Майо (США) не смогли выявить терапевтический эффект молитв о здоровье пациента после операции на сердце («Scientific American», 2006, т.294, № 6, с.12)...

...идентифицированы гены, мутации в которых могут быть причиной болезни Гиршпрунга — при этом заболевании в толстом кишечнике не развиваются определенные нервные клетки («Proceedings of the National Academy of Science of the USA», 2006, т. 103, № 18, с.6919—6924)...

...у людей, перенесших облучение, биологический возраст, оцениваемый по частоте хромосомных обменов в лимфоцитах, заметно больше календарного («Радиационная биология. Радиоэкология», 2006, т.46, № 2, с.140—151)...



...описаны патологоанатомические изменения при гриппе у птиц отряда куриных («Ветеринария», 2006, № 4, с.16, 26—27)...

...в сообществе луговых муравьев информацию о пище передает специализированная группа «курьеров», которые организуют эстафету («Зоологический журнал», 2006, т.85, № 4, с.493—499)...

...секвенированы мобильные элементы из генома рыжего таракана, которые могут быть полезными для популяционных и эволюционных исследований («Генетика», 2006, т.42, № 4, с.501—506)...

...создана математическая модель роста деревьев темнохвойных пород, как одиночных, так и сблизженных, на основе L-систем («Сибирский экологический журнал», 2006, № 2, с.181—188)...

...отрезанная у амёбы ложноножка прорастает обратно, если восстановлен контакт с клеткой, но между потомками одной особи, выросшими в разных условиях, такие пересадки невозможны («Успехи современной биологии», 2006, т.121, № 2, с.132—148)...

...лабораторные мини-свиньи, в том числе российские породы — мини-сибсы и светлогорские, — не являются патологическими карликовыми формами обычных пород свиней («Успехи физиологических наук», 2006, т.37, № 2 (апрель — май — июнь), с.71—83)...

...пониженная сексуальная активность у молодых самцов черно-бурых лисиц может быть реакцией на одомашнивание («Журнал эволюционной биохимии и физиологии», 2006, т.42, № 2, с.146—152)...

...трибология, наука о трении, родилась в Великобритании, после конференции Общества инженеров-механиков и Института железа и стали, которая состоялась в октябре 1964 года («Трение и износ», 2006, № 2 (март — апрель), с.129—131)...



Не сиди, пока летишь

Британские и голландские ученые попытались выяснить, в какой степени низкое содержание кислорода в салоне самолета влияет на риск возникновения глубокого тромбоза при длительных перелетах.

Известно, что из-за долгого неподвижного сидения замедляется ток крови, а это приводит к образованию сгустков, провоцируя глубокий тромбоз вен. Правда, когда речь заходит о синдроме экономического класса, другими словами, многочасовом перелете в отсутствие должного простора, специалисты называют и другие внешние факторы: стресс из-за боязни полета, плохое качество воздуха, пониженную влажность, низкое давление и даже воздействие космической радиации.

Сотрудники британского Университета Лестера под руководством Уильяма Тоффа решили обратить внимание на давление в салоне самолета — этот параметр напрямую связан с нехваткой кислорода.

В эксперименте приняли участие 70 здоровых добровольцев, которые сначала просидели восемь часов в камере с нормальным, «наземным» атмосферным давлением, а затем еще восемь — в условиях, соответствующих полету на высоте 2438 метров: при минимальном давлении, предусмотренном международными правилами проведения полетов.

До и после каждого сеанса у испытуемых брали пробы крови, анализируя четыре маркера, которые возвещают о начале образования сгустков. В обоих случаях ученые не обнаружили существенных отличий.

Однако исследователи из Медицинского центра Лейденского университета (Нидерланды), изучающие влияние низкого давления на развитие глубокого тромбоза вен, уверены, что прежде всего нужно обратить внимание на пассажиров из группы риска, в том числе генетически предрасположенных к тромбозу, а не на здоровых людей. У них после восьмичасового перелета было обнаружено больше признаков свертываемости, чем после столь же длительного сидения в обычных условиях (например, в креслах кинотеатра).

Таким образом, по мнению голландских специалистов, именно низкое давление в салоне самолета остается главным подозреваемым в деле о синдроме экономического класса. Нужно продолжать исследования, привлекая добровольцев из группы риска (по сообщению агентства News Nature от 16 мая 2006 года).

Пока же пассажирам авиарейсов следует воспользоваться простым советом: время от времени совершать прогулку по салону или шевелить ногами, не вставая с кресла.



А.Р.БУГРОВОЙ, Москва: Сами по себе метан и пропан лишены запаха, пахнут меркаптановые или сульфидные одоранты — вещества, которые добавляют к бытовому или технологическому газу специально для того, чтобы запах предупреждал об утечке.

Н.П.АФНАСЬЕВУ, Вологда: Колесную мазь приготавливали на основе самых разных масел, это мог быть не только деготь, но и нефтяные масла, и свиное сало, и неочищенный вазелин.

Г.А.ГУРЕВИЧ, Люберцы: Золотухой в XIX веке называли не только диатез, но и наружные (кожные и лимфатические) формы туберкулеза.

Д.М.ЖУКОВУ, Новосибирск: Отличить натуральное розовое масло от фальсифицированного, если вы не эксперт-парфюмер, едва ли возможно, не делая хроматографии: в него добавляют более дешевые эфирные масла (например, различных разновидностей герани, цитронеллы, гваяколовое эфирное масло), а также разбавляют его растворителями.

Р.В.БЕЛЯВСКОМУ, Воркута: Электронные отпугиватели кротов испускают сигналы разных частот, в зависимости от моделей — 2000—5000 Гц, 300—400 Гц; кротовым нервам всякие вибрации неприятны.

Л.В.ТИХОНОВОЙ, Тула: Пудели не всегда были декоративными собаками: до выведения легавых собак с пуделями охотились на болотную дичь, и само название породы происходит от немецкого диалектного *rideln* — плескаться.

З.М.ГОРИНОЙ, Санкт-Петербург: Если препараты, уничтожающие запах кошачьих «меток», не являются моющими средствами, то они содержат ферменты, разлагающие активную органику; важно помнить, что сами эти ферменты могут быть инактивированы моющим средством.

В.ПЕТРОВУ, вопрос из Интернета: Самый дорогой в мире кофе луак, или лувак, из зерен, прошедших через кишечник индонезийской пальмовой куницы (разработчики этого экзотического напитка в свое время стали лауреатами знаменитой Игнобелевской премии, см. «Химию и жизнь», 2004, № 12), уже можно продегустировать в кофейнях в центре Москвы; сами мы, правда, не рискнули.



Тупик,

У тупика (ударение на первом слоге) смешное имя и яркая внешность опереточного франта: черный верх, белый низ, большая голова, а клюв — как у попугая: желто-серо-красный, массивный, округлый (то есть «тупой»). По-немецки тупика так и называют — попугай-ныряльщик. Эти морские птицы величиной с голубя, родственники чистика и кайры, гнездятся на островах и побережьях Северной Атлантики от США и Канады до Исландии, Шпицбергена и Новой Земли, в зоне действия Гольфстрима.

Контрастная черно-белая окраска помогает тупику, как и другим околотовным птицам, быть незаметным: сверху — на фоне темного моря и снизу — на фоне светлого неба. Как у многих птиц, которые плавают лучше, чем летают, ноги тупика расположены на теле поближе к хвосту, и на суше он стоит вертикально, словно маленький пингвин. Часто взмахивая крылышками и руля красными растопыренными лапами, тупик летит быстро, но не маневренно, и его несложно поймать сачком, как бабочку, стоя у обрыва над колонией. Стихия тупика — море. На воде он плавает, подобно утке, а нырнуть может на глубину 170 м! Во время «подводного полета» узкие недлинные крылья работают словно ласты, пе-



он же попугай-ныряльщик



КСТАТИ О ПТИЦАХ

репончатые лапы — как рули. Если чайки кормятся на поверхности воды, то тупики освоили кормовые ресурсы водной толщи.

Экосистемы холодных морей бывают богаче, чем в пресных водоемах на той же широте и даже южнее. Пресные водоемы замерзают, и всю долгую зиму лед отделяет птиц от источника корма. Морская же вода в небольшие морозы не замерзает. За лето она накапливает тепло и отдает его медленно, причем благодаря перемешиванию воды в морских течениях, выносу с глубины минеральных веществ и хорошей освещенности полярным летом количество корма там велико, особенно на шельфах. Например, Баренцево море, где живет около 15 тысяч тупиков, из-за теплого Гольфстрима гораздо продуктивнее более южного Белого моря (там гнездится

всего одна пара). Цепи питания в море начинаются с растительного планктона. Он служит кормом для зоопланктона, которым питаются беспозвоночные и рыбы. В этой пищевой пирамиде тупики находятся ближе к вершине: они едят небольшую рыбу и беспозвоночных, а сами могут стать добычей северного сокола кречета и крупных чаек. В Баренцевом море тупики ловят мелкую сельдь, мойву и песчанку на глубине около 70 м и приносят их птенцам в клюве целыми охапками (а во рту у них есть острые крючковидные выросты, на которые тупики накалывают рыбешек языком). Но по дороге на них иногда нападают короткохвостые поморники, родственники чаек. Поморники охотятся парой: одна птица догоняет, а вторая летит наперерез, вынуждая бедного тупика отдать им рыбешку. Это безобразие называется

«клептопаразитизм», то есть паразитизм посредством грабежа.

Гнездятся тупики колониями на обрывистых морских берегах — в небольших пещерках или в норах глубиной свыше одного метра, вырытых в торфянистой почве с помощью сильного клюва и когтей на лапах. И уж им палец в нору не кладут — кусаются! В глубине норы родители насиживают одно яйцо (редко — два), и потом там же около месяца сидит бурый птенец, а затем еще две недели он проводит у входа в нору и при опасности туда прячется. А потом — прощай, суша!

Осенью наши тупики откочевывают вслед за рыбой, достигая Западной Атлантики, причем плохо летающие молодые делают это вплавь. Вот такая она, тупиковая жизнь.

О. Волошина

Международная Химическая Ассамблея



ICA - 2006

7 - 10 ноября

www.ica-expo.ru

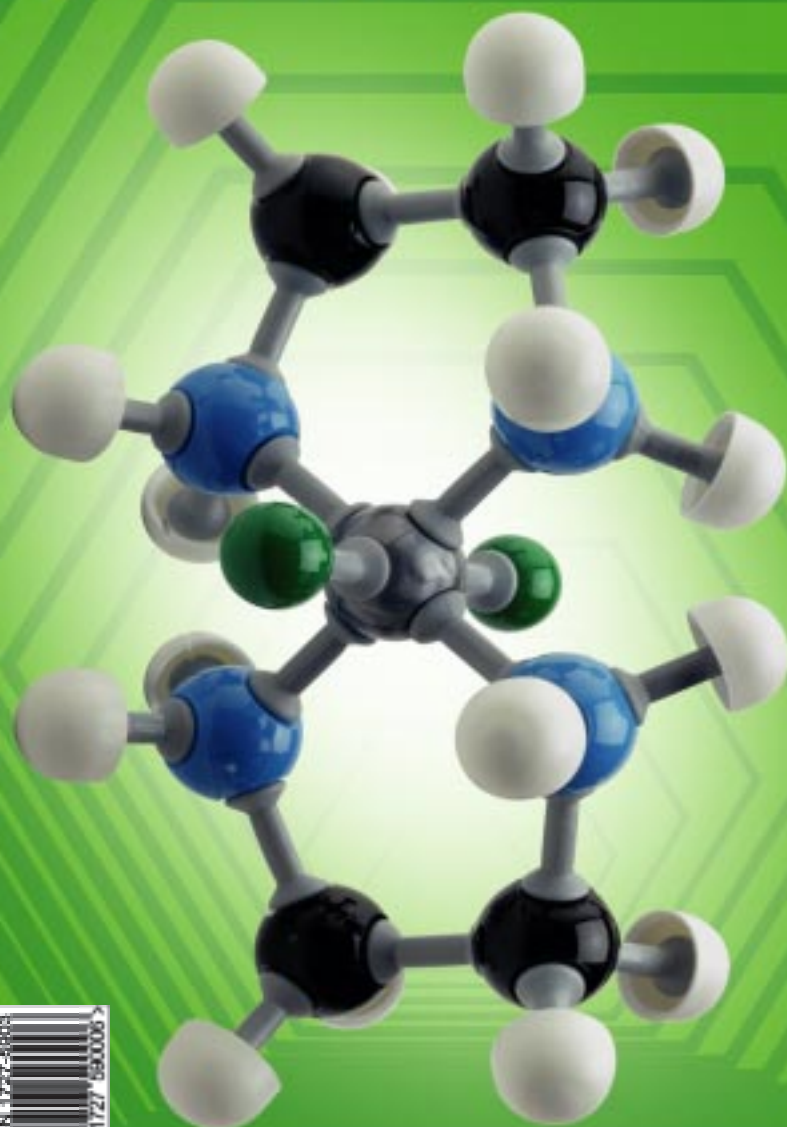
Организатор -
ЗАО "ЭКСПОЦЕНТР"
при содействии
ЗАО "РОСХИМНЕФТЬ"
и поддержке
РОССИЙСКОГО
СОЮЗА ХИМИКОВ

Россия, Москва,
Выставочный
комплекс
ЗАО "Экспоцентр"
на Красной Пресне

На стендах -
продукция более
300 известных
российских и зарубежных
фирм из 16 стран.
Конференции и семинары

123100, Москва,
Краснопресненская наб., 14
Тел. [495] 255-37-39,
255-25-28
Факс [495] 205-60-55
E-mail: chemica@expocentr.ru,
Интернет: www.expocentr.ru,
www.ica-expo.ru

По вопросам участия
и посещения просим
обращаться:
ЗАО "Экспоцентр",
Дирекция № 1
"Выставки машино-
технической тематики",
ICA-2006



 **ЭКСПОЦЕНТР**