

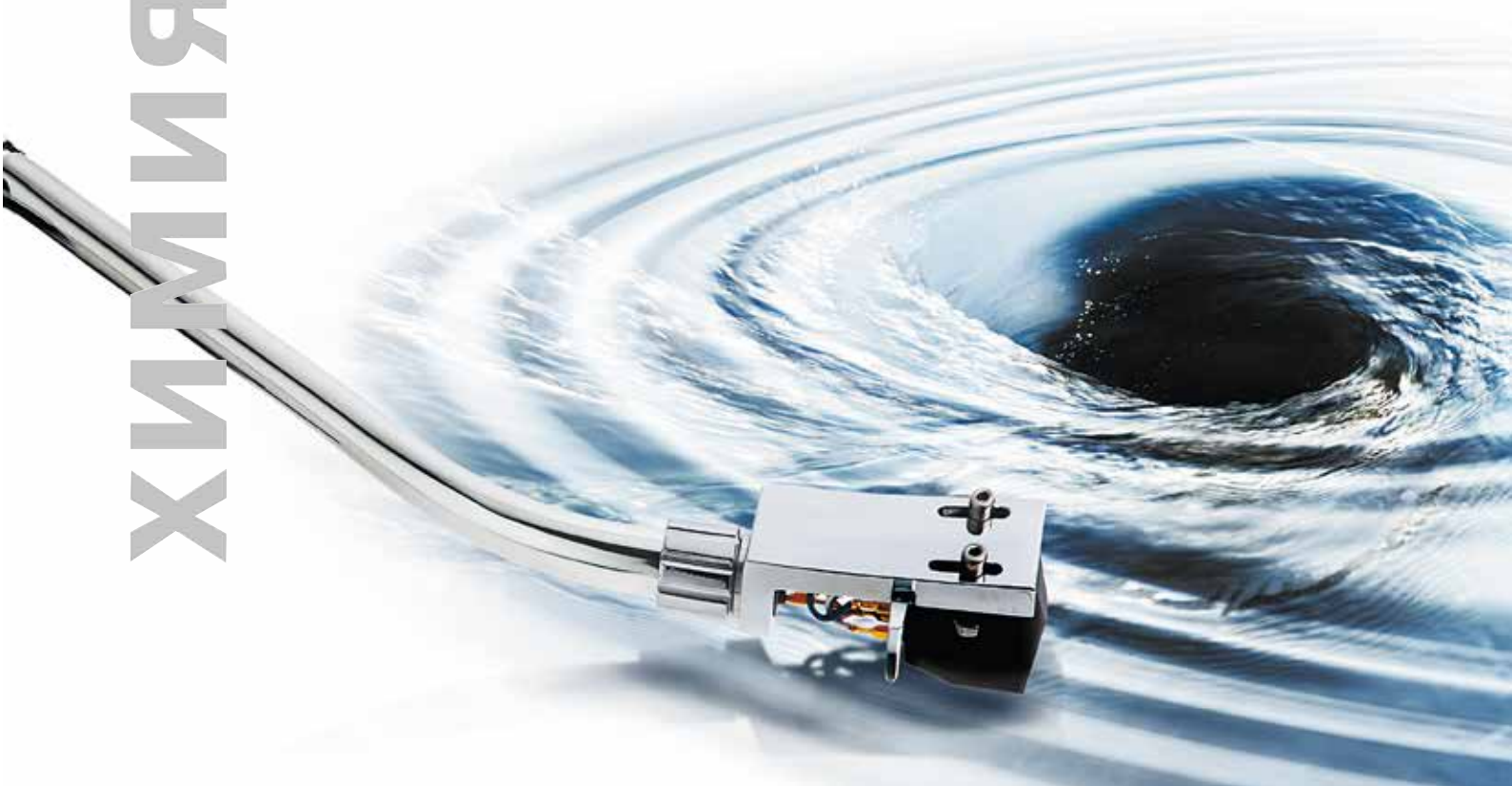


Э

Э

2014

ЭНЕРГИИ И ВИДОВ







Зарегистрирован  
в Комитете РФ по печати  
19 ноября 2003 г., рег. № 014823

**НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:**

**Главный редактор**  
Л.Н.Стрельникова  
**Заместитель главного редактора**  
Е.В.Клещенко  
**Главный художник**  
А.В.Астрин

**Редакторы и обозреватели**

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

**Технические рисунки**

Р.Г.Бикмухаметова

Подписано в печать 4.03.2014

**Адрес редакции**

19991, Москва, Ленинский просп., 29, стр. 8  
**Телефон для справок:**  
8 (495) 722-09-46  
**e-mail:** redaktor@hij.ru  
<http://www.hij.ru>

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

© АНО Центр «НаукаПресс»



*НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина*

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —  
картина Макса Бекмана «Натюрморт  
с кошками». В мартовском номере  
поговорим о том, когда кошки впервые  
поселились рядом с нами, как лечить  
аллергию на кошачью шерсть и что мы  
узнали благодаря кошкам о природе сна.*

*Оптимист думает, что этот мир  
лучший из возможных миров,  
а пессимист знает это наверняка*  
*Наблюдение Оппенгеймера*

# Содержание

<b>А почему бы и нет?</b>		
ПУТЬ К ПЛАНЕТАРНОМУ ЯДРУ. О.О.Фейгин .....		2
<b>Калькулятор</b>		
ТЕМНАЯ СУЩНОСТЬ В ЯДРЕ. Ф.Манилов.....		5
<b>Технологии</b>		
ПРОФЕССИЯ ЭЛЕКТРОНА. А.В.Пономарев .....		8
<b>Вещи и вещества</b>		
ВОЙНА СО РТУТЬЮ. Л.Стрельникова .....		14
<b>Цикл Земли</b>		
СИНЯЯ ТАЙНА ТРЕТЬЕЙ ПЛАНЕТЫ. В.Ю.Введенский .....		20
<b>Из писем в редакцию</b>		
ПРОВЕРКА ЭФФЕКТА МПЕМБЕ. В.В.Севостьянов .....		22
<b>Нанофантастика</b>		
ОБЩАЯ ЧЕРТА. Алексей Лисаченко .....		23
<b>Живые лаборатории</b>		
ЯДЫ ПРОТИВ ИОННЫХ КАНАЛОВ. Д.Б.Тихонов.....		24
<b>Научный комментатор</b>		
ЯДУ МНЕ, ЯДУ! Н.Л.Резник.....		27
<b>Болезни и лекарства</b>		
КАК ПОБЕДИТЬ АЛЛЕРГИЮ ЗА ЧЕТЫРЕ ИНЪЕКЦИИ. Л.П.Вязьмина .....		29
<b>Еда по-научному</b>		
ВИННАЯ ХИМИЯ. А.А.Бондарев .....		32
<b>Гипотезы</b>		
ЗАНЯТИЯ СПЯЩЕГО МОЗГА. Н.Л.Резник.....		36
<b>Расследование</b>		
ГЛАВНЫЙ КОШАЧИЙ СЕКРЕТ. Н.Анина .....		42
<b>Книги</b>		
ЭВОЛЮЦИЯ ЯЗЫКА: ПРОГРЕСС И КРИЗИС. Г.Ю.Любарский.....		45
ВЕСНА, ПРАЗДНИК, ЦВЕТЫ. К.Г.Михайлов .....		48
<b>Ученые досуги</b>		
ПСИХИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ САДОВОДОВ. ОРЕХОВАЯ РАПСОДИЯ. Михаил Диев .....		49
<b>Фотоинформация</b>		
ЕЩЕ РАЗ ПРО КРИСТАЛЛЫ. М.С.Мартынов.....		50
<b>Что мы едим</b>		
ПРОСО. Н.Ручкина.....		54
<b>Фантастика</b>		
НА ДНЕ КОЛОДЦА. НА ВЕРШИНЕ ГОРЫ. Денис Тихий .....		56
<b>Прогулки по истории химии</b>		
МАРИЯ СКЛОДОВСКАЯ-КЮРИ: ТРИУМФ И ТРАГЕДИЯ. И.А.Леенсон .....		64
<b>В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ</b>	6	<b>КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ</b> 62
<b>КНИГИ</b>	61	<b>ПИШУТ, ЧТО...</b> 62
<b>ИНФОРМАЦИЯ</b>	19, 35, 41	<b>ПЕРЕПИСКА</b> 64



# Путь к планетарному ядру

О.О.Фейгин

*Так вот, я считаю, что Земля, на которой мы живем, сама является живым организмом со своим кровообращением, органами дыхания, а также нервной системой.*

*Артур Конан Дойл. Когда Земля вскрикнула*

Десять лет назад физик Дэвид Стивенсон из знаменитого Калтеха — Калифорнийского технологического института — созвал пресс-конференцию. Прежде чем подвести итоги бурного обсуждения в СМИ проекта своего зонда для исследования ядра Земли, профессор Стивенсон вспомнил фильм 1965 года «Трещина в мире». В фильме неадекватный экспериментатор заложил в земной разлом атомную бомбу и оторвал кусок поверхности планеты, создав вторую Луну. Свое исследование Стивенсон предполагал осуществлять сходным способом. Он задумал создать отверстие в зоне разлома земной коры и опустить в глубины планеты зонд.

## Строение земного шара

То, что находится глубоко у нас под ногами, изучено намного хуже, чем, например, лунная поверхность. Более того, у нас нет даже методов, позволяющих получить однозначный ответ. Как не раз писала «Химия и жизнь» (см., например, ноябрьский номер за 2005 год), система внутри планеты в значительной мере нелинейна, что затрудняет интерпретацию сейсмических сигналов.

Согласно наиболее распространенному мнению, земную кору составляют затвердевшие горные породы, под ней находится тол-

стый слой расплавленной мантии, а в центре — ядро достаточно сложного строения, состоящее из жидкой оболочки и твердого ядра диаметром в шесть раз меньше, чем у всей планеты. Это ядро может оказаться главным действующим лицом многочисленных климатических катастроф. Как полагает член-корреспондент РАН Ю.Н.Авсюк, именно его смещения и порождают циклы оледенения планеты. Также считается, что в ядре сосредоточены тяжелые металлы. Действительно, при формировании планеты, когда она была в жидком состоянии, проходила стратификация — тяжелые элементы тонули, а легкие всплывали. Стало быть, где-то там пылает ядерный реактор, дающий тепло Земли, и там же находится планетарный магнит из твердого сплава никеля и железа. По другой версии, магнитное поле создается движением электрических токов в жидкой оболочке ядра, а тепло внутри Земли берется от распределенных по недрам радиоактивных элементов.

Не все ученые согласны с такой картиной. Например, доктор геолого-минералогических наук В.Н.Ларин, автор гипотезы «расширяющейся Земли» считает, что ядро составлено из гидридов тяжелых металлов и водород вследствие дегазации постоянно проходит через планету (см. «Химию и жизнь», 2000, № 10). Следствием этой гипотезы оказываются и расширение Земли, и подъем уровня океана, и постоянное образование на ее поверхности углеводородов, делающее запасы нефти и газа поистине неисчерпаемыми. Согласно теории автора «Причинной механики» Н.А.Козырева, и с ядерным реактором все не очевидно — тепло для обогрева Земли может дать и само по себе течение времени. Понятно, что такие гипотезы не приняты академической наукой...

Планетарный магнит может быть причастен и к изменению климата. Известно, что мы живем, скорее всего, в начале переплюсовки (см. «Химию и жизнь», 2007, № 2) — планетарный магнит переворачивается, меняя местами магнитные полюса Земли. Об этом, в частности, свидетельствуют ускоренное падение напряженности геомагнитного поля начиная с 1880 года и быстрое перемещение Северного магнитного полюса начиная с 1970 года. Движение магнита должно сказываться на системе электрических токов в мантии планеты, которая электропроводна, что не может быть нам безразлично, поскольку в силу закона Джоуля — Ленца количество тепла, выделяемого проводником, пропорционально квадрату силы текущего по нему тока. Не зная состава мантии, нельзя оценить ее электрические свойства и учесть изменение этого вклада в тепло планеты.

Если к этому добавить неспособность геофизиков решить важнейшую прикладную задачу краткосрочного прогноза землетрясений и извержений вулканов, то станет ясно, сколь полезными могут оказаться знания, которые можно добыть с помощью зонда Стивенсона.

## Миссия к ядру

Свое предложение профессор Стивенсон детально изложил в статье с интригующим названием «Миссия к ядру Земли — скромное предложение» («Nature», 2003, 423, 239—240; doi:10.1038/423239a). Суть идеи — создать для начала зонд, способный погрузиться на глубину 2900 км до самой верхней границы расплавленной оболочки ядра.

Если когда-нибудь дело дойдет до выполнения подобного проекта, то инженерам и конструкторам придется решить три очень непростые задачи. Во-первых, необходимо подобрать специальные материалы для спускаемого зонда, способные выдержать чудовищные температуры и давления в недрах планеты. Во-вторых, надо как-то организовать канал связи с земной поверхностью. В-третьих, осуществить само погружение в твердь планеты. Наиболее трудной задачей будет именно спуск зонда в глубь Земли.

Тем не менее современная наука может многое предложить для путешествия к земному ядру. Температура нижних слоев мантии — 3000—4000 К. Из чистых элементов такие температуры выдерживают вольфрам (температура плавления 3683 К), рений (3453 К), осмий (3318 К), тантал (3288 К) и углерод (4300 К). При этом рений и осмий, будучи платиноидами, отличаются высокой



А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

химической инертностью, правда, они весьма редки. Самое же тугоплавкое соединение — это сплав карбидов гафния и тантала с температурой плавления 4488 К. Итак, подобрать материал для зонда Стивенсона в принципе можно.

Связь сквозь скальные породы и раскаленную магму придется организовывать с помощью сейсмических волн, поскольку электромагнитный сигнал из проводящей ток мантии не выходит. Эти колебания недр планеты доходят до нас из глубины во время сильных землетрясений; их давно уже изучают на сейсмостанциях; собственно, они — главный источник информации о недрах планеты. Принимать же сигналы удастся с помощью технологий, которые были придуманы для поиска гравитационных волн: такие чувствительнейшие антенны, ловящие всевозможные колебания, уже не редкость, они есть у немцев, итальянцев и американцев. В том же Калтехе специальная гравиметрическая лаборатория ЛИГО (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) оснащена уникальными лазерными интерферометрами. Правда, детекторы ЛИГО вовсе не приспособлены для «линии гравитационной связи», и их полосы пропускания может и не хватить для обмена всей необходимой информацией с зондом. Однако принцип конструирования такой системы связи понятен.

Ну и, наконец, сам зонд весом всего лишь в несколько десятков килограммов можно было бы запустить через очень глубокий вулканический разлом в земной коре. Если такого естественного геологического образования не найдется, то можно попробовать вызвать искусственный катаклизм. Подсчеты показывают, что для сильного землетрясения в 7—8 баллов по шкале Рихтера, способного раскрыть разлом в земной коре, потребуется 5—6 мегатонных атомных зарядов.

В данном расчете учитываются особенности строения земной коры в океанских впадинах. Кора материковых выступов там разбита сложной сетью глубоких трещин, проникающих чуть ли не к самой верхней границе расплавленной мантии. Как правило, такие трещины приурочены к границам материковых массивов и океанических впадин (например, кольцевая зона разломов вдоль побережий Тихого океана) или к горным поясам вроде Альпийско-Гималайского, Уральского и других. Эти горные пояса можно представить чем-то вроде швов, залечивших старые раны.

Самое оригинальное в проекте — способ погружения зонда. Для этого в трещину предлагается залить несколько тысяч (а может быть, миллионов?) тонн расплавленного металла. Зонд необходимо разместить в центре этой колоссальной капли, которая под собственным чудовищным весом устремится через более легкие расплавленные породы к центру Земли. Скорость погружения может составить несколько метров в секунду, и уже через неделю зонд достигнет границы земного ядра. На своем пути зонд станет сообщать уникальные данные о температуре, давлении и составе вещества. Если, конечно, толстая оболочка из расплавленного металла не помешает ему проводить эти измерения.

Любопытно, что одновременно с появлением проекта зонда Стивенсона на экраны вышел голливудский фантастический блокбастер «Земное ядро». По сценарию кинофильма ядро нашей планеты начинает замедлять вращение, что грозит катастрофическим всплеском тектонической активности. Для «раскрутки» ядра строят обитаемый подземный атомный поезд, пробивающий себе путь в недра земли сверхмощными лазерами.

## На штурм земной тверди

Реальные достижения по исследованию «подземного космоса» сегодня выглядят довольно скромно, и здесь все рекорды принадлежит советской Кольской сверхглубокой скважине (см. «Химию и жизнь», 2012, № 12). Эта глубочайшая шахта расположена в Мурманской области в 10 км к западу от города Заполярный и пробурена на глубину 12262 метра. Скважина заложена в северо-восточной части Балтийского щита в области сочленения рудоносных докембрийских структур, типичных для фундаментов древних платформ. В отличие от других сверхглубоких скважин, которые бурились для добычи нефти или геологоразведочных работ, Кольская была пробурена исключительно с научно-исследовательскими целями в том месте, где нижняя граница земной коры подходит близко к поверхности Земли.

За несколько лет до закладки Кольской скважины, в 1970 году, закончился крахом проект «Мохол» Национального научного фонда США. Проект основывался на предположении, что на очень больших глубинах океанское дно почти вплотную прилегает к таинственной поверхности Мохоровичича, отделяющей кору от мантии. Бурение проводилось с морской платформы рядом с вулканическим тихоокеанским островом Гваделупа, недалеко от калифорнийского побережья. На глубинах около 3,5 км было пробурено несколько скважин с углублением в дно до 183 метров. Проект был закрыт в связи с отсутствием значимых результатов и перерасходом средств, но ему наследовали многочисленные проекты глубоководного бурения (см. «Химию и жизнь», 2012, № 12).

Сама же мечта попасть в глубины земных недр и открыть там неисчислимы богатства полезных ископаемых питает изобретательские умы уже более столетия. Возможно, одним из первых был русский изобретатель Петр Рассказов, убитый во время московского вооруженного восстания 1905 года. Он сконструировал подземную лодку, опубликовал заметку в британском журнале, а подготовленные им чертежи, как говорят, впоследствии появились в Германии. Следующим был Евгений Толкалинский. В 1918 году он бежал в Швецию, где усовершенствовал проходческий щит.

В 30-х годах в СССР проблемой занялся А.И.Требелев. Говорят, он был так одержим идеей создать подземную лодку, что даже свою дочь назвал Субтеррина. Вместе с технологом А.Баскиным и инженером А.Кирилловым он создал проект «металлического крота» для разработки глубинных нефтяных и угольных месторождений. Первые испытания подземного агрегата прошли на заброшенных уральских рудниках. Аппарат подобно проходческому комбайну вгрызлся своими фрезами в скальные породы, уверенно углубляясь в гору. Но конструкционные недоработки требовали времени и средств, что привело к приостановке проектирования.

В это же время в Германии немецкий изобретатель Хорнер фон Верн запатентовал свой вариант подземного аппарата. Правда, его рассчитывали применить в совсем иных целях: в операции «Морской лев» для штурма Британских островов и в масштабном проекте «Змей Мидгарда» (Midgard Schlange). В данном научно-фантастическом проекте «подземный бронепоезд» действительно напоминал суставчатого стального змея из вагонов-отсеков. При пятисотметровой длине головной агрегат оснащался буровой установкой, приводимой в движение электродвигателями мощностью в тысячу лошадиных сил. Движение подземнохода также обеспечивалось электродвигателями, вращавшими многочисленные гусеницы. Электроэнергию вырабатывали дизель-генераторы мощностью в 10 тысяч л. с. Бронированный геоход предполагалось снабдить тысячами мин, подземных торпед и специальных снарядов для взрыва особо прочных скальных пород. Общий вес этого монстра должен был составлять 60 тысяч тонн с экипажем в 30 человек. Проектная скорость «Змея» в гранитных скалах по расчетам могла достигать 2 км/ч, а в суглинистой почве — 10 км/ч.

В пятидесятые годы прошлого века вышло несколько интересных теоретических работ, тут же вызвавших появление разнообразных городских легенд о тактических и стратегических «подземных лодках». Например, ленинградский профессор Г.И.Бабат предлагал снабжать подземные объекты энергией СВЧ-

излучения по методу Николы Теслы. А московский гидромеханик Г.И.Покровский доказывал принципиальную возможность процессов, напоминающих кавитацию, не только в жидкой, но и в твердой среде. Вихри парогазовых струй, по мнению профессора Покровского, могли бы разрушать скальные массивы намного эффективнее, чем победитовые и алмазные фрезы. Еще дальше пошел знаменитый академик А.Д.Сахаров. По мнению Андрея Дмитриевича, геоход с атомным реактором следует оснастить генераторами плазмы — плазмотронами: такой подземный зонд будет двигаться в облаке распыленных частиц со скоростью 100—150 км/ч.

Умозрительные модели академика Сахарова попытался воплотить в реальность инженер М.И.Циферов и даже получил авторское свидетельство СССР на изобретение подземной ракеты — аппарата, способного развивать скорость в толще земли до 1 м/с. Михаил Иванович предложил использовать в качестве плазмотрона академика Сахарова энергию скрытого взрыва. Он сконструировал реактивный бур, вращаемый пороховыми газами, которые поступали из камеры сгорания под давлением в несколько тысяч атмосфер. Кроме того, пороховые выхлопы расплавляли почву, окутывая головку бура высокотемпературной плазмой. Но подземная ракета инженера Циферова так и не смогла преодолеть существенных конструкционных недостатков, главные из которых — плохая управляемость подземного снаряда и взрывоопасность его двигателя.

Позднее эстафету конструирования подземных ракет и реактивных торпед принял сын изобретателя В.М.Циферов. Разработки Циферовых явно могут иметь «двойное применение», но о подобных изделиях ВПК официально ничего не известно. А вот городские легенды о военных геосферах, геоскафах и субтерринах немало. Отечественную мифологию о боевых подземных лодках возглавляет роман Эдуарда Тополя «Чужое лицо», где бывший диссидент-антисоветчик взахлеб описывает, как советский атомный подводный крейсер десантирует субтеррину вблизи Калифорнии. Там, в центре узла тектонических напряжений, советские диверсанты устанавливают ядерный фугас, взрыв которого вызовет масштабное землетрясение, неотличимое от природного стихийного бедствия.

## Китайский синдром

Осенью 1984 года на физфаке МГУ для ограниченного круга студентов и преподавателей, специализировавшихся на инженерно-технической атомной физике, был показан американский художественный фильм «Китайский синдром». Он вышел в прокат 16 марта 1979 года, всего за несколько дней до аварии на американской АЭС «Три Майл Айленд» в штате Пенсильвания. При аварии расплавилась треть активной зоны реактора, и радиоактивные продукты были выброшены в здание АЭС. К счастью, сработала аварийная сигнализация, и автоматика предотвратила распространение радиоактивного заражения в окружающую среду.

В результате фильма общественность впервые почувствовала, какие разрушительные силы скрывают в себе промышленные ядерные реакторы. Журналисты из дискуссий специалистов узнали, что ядерное топливо даже после остановки реактора остается источником энергии, которой достаточно, чтобы при нарушении условий отвода тепла топливо расплавилось, проплавало корпус, бетонные перекрытия и (если следовать черному юмору одного из персонажей фильма), прожигая грунт, дошло до Китая. Этот «огнедышащий дракон» будет нести с собой чудовищную радиоактивность, эквивалентную выбрасываемой при взрыве сотни ядерных бомб. Так возникло выражение «китайский синдром»; позднее оно приобрело иронический оттенок, как синоним научно обоснованной критики ядерной энергетики.

«Китайский синдром» дает нам еще один способ транспортировки зонда Стивенсона. Аппарат можно было бы заключить в достаточно большой капсуле с радиоактивными саморазогревающимися отходами. Проблему воздействия радиации на приборы и оборудование зонда придется решить в любом случае для прохождения радиоактивных недр. С другой стороны, задача утилизации радиоактивных отходов и излишка

ядерных боеприпасов настолько актуальна, что вызвала появление таких проектов, как «Тонущий реактор» и «Горячая капля».

Технологическая разработка варианта «Тонущий реактор» предполагает своеобразный механизм «катапультирования» вышедшего из строя ядерного оборудования на многокилометровую глубину, где оно полностью расплавится и поглотится магмой.

Проект под названием «Горячая капля» в общих чертах разработал А.В.Бялко, ученый секретарь Института теоретической физики РАН им. Л.Д.Ландау. Алексей Владимирович предложил сконструировать металлическую оболочку из тугоплавких материалов — вольфрама и молибдена диаметром в несколько метров. В этот шар загружается отработанное ядерное топливо и вместе с контейнером, наполненным научной аппаратурой, отправляется в глубь Земли.

Оценки показывают, что для запуска «Горячей капли» требуется под сотню тонн высококонцентрированных радиоактивных отходов, которые немедленно начнут саморазогреваться. Средняя температура плавления скальных пород — около 800°C, поэтому планируемый разогрев контейнера в 1200°C быстро расплавит под собой горное основание. А поскольку радиоактивные отходы состоят из тяжелых трансурановых элементов, контейнер с ними начнет стремительно тонуть в земных пластах.

Кроме экологического аспекта, в проекте «Горячая капля» очень важно научное содержание. Ведь вместо одноразового запуска

зонда Стивенсона здесь получается долговременное зондирование земных недр с помощью разнообразных датчиков и на различных глубинах. Вместе с утилизацией опасных радионуклидов это позволило бы уточнить модели тектонической активности недр нашей планеты. Получается, что проект доктора физико-математических наук Бялко, в отличие от построений профессора Стивенсона, не только может полностью окупить все расходы, но и принести существенную прибыль!

В старте «Горячей капли» можно использовать хорошо отработанные технологии проведения подземных ядерных взрывов. Это минимизирует риски радиоактивного заражения верхних слоев земной поверхности, где располагаются водоносные пласты: в подходящем геологическом разрезе бурится узкая скважина и на километровой глубине создается взрывная полость, в которую загружают радиоактивные отходы.

Так несколько легкомысленный и экологически опасный проект Стивенсона, требующий многомиллиардного бюджета и грозящий опасностью залить землю масштабным извержением магмы, превращается в свою полную противоположность. Будет ли «Горячая капля» осуществлена когда-нибудь? Трудно сказать, но вероятность, что такая идея найдет сторонников, отнюдь не равна нулю.



КАЛЬКУЛЯТОР

## Темная СУЩНОСТЬ в ядре

Открытие темной материи, которая лишь гравитационно взаимодействует с веществом, добавляет к строению ядра Земли еще одну сложность. Вообще-то считается, что темная материя образует гало вокруг каждой галактики. Внутри галактики она не попадает. Однако в 2012 году Сильвия Гарбани из Цюрихского университета с коллегами из Института астрономии Общества Макса Планка и цюрихского Института астрономии проанализировала движения ближайших к нам звезд, так называемого локального скопления, и посчитала, что темная материя в нем имеется в количестве примерно 0,025 солнечной массы на кубический парсек («Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 2012, 425, 2, 1445—1458; doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21608.x; arXiv:1206.0015v2). Очевидно, что, двигаясь сквозь это локальное облако, Солнечная система замечает частицы темной материи. И если относительная скорость такой частицы оказывается меньше первой космической скорости столкнувшегося с ней массивного тела, например Земли или Солнца, частица неизбежно захватывается массивным телом и начинает в него падать под действием силы тяжести. Падает до тех пор, пока не достигнет минимума силы тяготения. А этот минимум номинально находится в центре массивного тела, где силы, действующие с разных сторон, одинаковы и равнодействующая оказывается равной нулю. Получается, что если частицы темной материи долгоживущие, то в центре Земли, Солнца и других планет станут образовываться сгустки темной материи тем большего

размера, чем больше масса этого тела. Более того, такой сгусток не находится в покое, а совершает движения под действием приливов, вызванных прежде всего Луной, а также, в гораздо меньшей степени, другим телами Солнечной системы.

А велик ли сгусток? Посчитаем его размер для Земли. Для этого нужно сначала умножить путь, проходимый Землей за год, на площадь поперечного сечения планеты. Этот путь состоит из двух частей — орбитального движения со скоростью 30 км/с и следования вместе с Солнцем по галактической орбите со скоростью 230 км/с. С учетом того, что в году  $365 \times 24 \times 3600 = 3,15 \cdot 10^7$  секунд, получаем  $95 \cdot 10^7$  и  $724 \cdot 10^7$  км соответственно. Площадь поперечного сечения Земли  $3,14 \times 6371^2 = 127 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>. Перемножив эту площадь на суммарный путь, узнаем, что за год Земля замечает  $1 \cdot 10^{18}$  км<sup>3</sup>. Поскольку один парсек — это  $3,1 \cdot 10^{13}$  км, такой объем равен  $3 \cdot 10^{-20}$  пк<sup>3</sup>. Масса темной материи в нем составляет  $0,025 \times 3 \cdot 10^{-20} = 7,5 \cdot 10^{-22}$  масс Солнца, или с учетом того, что масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, —  $1,5 \cdot 10^9$  кг. О том, сколько из встреченных на этом пути частиц способно войти в темное гало Земли (то есть какая их доля имеет относительную скорость менее 8 км/с), судить трудно, ведь свойства частиц темной материи, а тем более кинематика ее локального облака, практически неизвестны. Однако можно предположить, что темная материя локального скопления, будучи связана с ним гравитационно, также движется по галактической орбите. В этом случае скорость движения таких частиц относительно Солнечной системы может оказаться невелика, и тогда предположение, что вся

заметенная темная материя собирается в гало вокруг планеты, а затем падает в нее, будет не столь уж далеко от истины. Впрочем, если в Земле тонет лишь каждая десятая частица, качественно результат не меняется: миллиард тонн материи, размazanной по миллиардам кубических километров, заметить невозможно.

Однако за 4,5 млрд. лет существования Земля должна замести уже гораздо больше темной материи, а именно  $7 \cdot 10^{18}$  кг. Утонув в Земле и собравшись в ее центре, они дадут сгусток. Если его плотность такая же, как у вещества в центре Земли, —  $13,5$  т/м<sup>3</sup>, то объем сгустка составит  $5 \cdot 10^{14}$  м<sup>3</sup> — шар диаметром в сто километров. На силе тяжести Земли такая добавка (а масса сгустка примерно пять тысячных долей процента от массы ядра) не скажется, поэтому не оправдываются надежды создать переменную гравитацию планеты за счет ее утяжеления при захвате темной материи. (Об этом мечтают авторы фантастических гипотез, объясняющих полеты птеранодонов и строительство мегалитов.) А вот на кинематику ядра и соответственно выделение им тепла колеблющийся внутри сгусток повлиять может за счет трения о вещество. Видимо, климатологам придется скоро и его учитывать для построения адекватных моделей. Во всяком случае, Стивен Уэст из Лондонского университета (см. «Химию и жизнь», 2010, № 9) уже предлагает использовать аналогичный сгусток темной материи для объяснения аномалий температуры Солнца, которые несколько расходятся с имеющейся теорией звезды.

Ф.Манилов

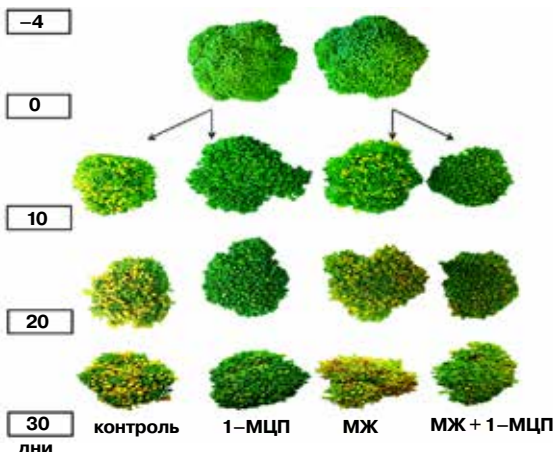
**В два пшика**

*Побрызгав брокколи двумя веществами природного происхождения, можно повысить ее противораковый потенциал.*

**В** брокколи, впрочем, как и в цветной и кочанной капусте, в хрене, редьке и прочих крестоцветных, имеются интересные вещества — глюкозинолаты. Распавшись в организме под действием фермента мирозина, они проявляют биологическую активность: включают синтез ферментов, ответственных за детоксикацию, например, хинонредуктазы, и вообще способствуют профилактике рака.

Исследователи из Иллинойсского университета во главе с Джеком Джувином придумали, как увеличить содержание глюкозинолатов. Для этого брокколи надо за четыре дня до сбора урожая побрызгать микродозой растительного сигнального вещества — метилжасмоната. Увы, это вещество способствует выделению растительного гормона этилена, который ускоряет созревание. Снятую же капусту везут в магазин, порой расположенный за тысячи километров, а там она еще будет лежать на полке... В общем, этилен совсем некстати.

Чтобы выйти из патовой ситуации, исследователи побрызгали капусту другим микропрепаратом — 1-метилциклопропаном, тоже растительного происхождения. Это вещество блокирует этиленовые рецепторы, и растение перестает созревать. Так удается решить задачу доставки покупателю продукта, обогащенного полезными глюкозинолатами. «Оба вещества стоят дешево, расход их мал, поэтому затраты на получение столь полезного продукта, способствующего профилактике рака, ничтожны, особенно по сравнению с затратами общества на его лечение. По безопасности они близки к поваренной соли, к тому же летучи, и уже через десять часов их в растении не остается», — говорит Джек Джувик.



<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0077127>

**Растения против вируса**

*Экстракт растений помогает пороссятам бороться с болезнью*

**П**оросята часто болеют: то у них расстроится пищеварение от кишечной палочки, то их поразит вирусная простуда, так называемый репродуктивный и респираторный синдром свиней (PPCC, или «синее ухо»). В результате и растут поросята медленно, идохнут в изрядном количестве, тем более что зараза легко распространяется по всему свиноводству. Антибиотики помогать перестали, поскольку микробы-возбудители к ним приспособились.

В поисках лекарства исследователи из Иллинойсского университета во главе с Джеймсом Петтигрю обратили внимание на травы. Они сделали три препарата — из перца, чеснока и живицы куркумы, добавляли эти препараты в пищу подопытным пороссятам и заражали их кишечной палочкой и вирусом PPCC. Результат оказался неплохим. Кишечная палочка вызвала понос всего у 20% пороссят по сравнению с 40% в контроле. У зараженных вирусом пороссят самочувствие также было на 55% лучше, они продолжали хорошо питаться и набирать вес. Особенно хорошо себя проявила живица куркумы. Анализ крови показал, что число вирусных частиц под действием экстрактов снижается на 15%, уменьшается количество маркеров воспаления. Поскольку подобным образом менялись показатели крови и у пороссят с кишечной палочкой, был сделан вывод, что экстракты способствуют именно снятию воспаления за счет воздействия на иммунную систему.

Агентство «AlphaGalileo», 28 февраля 2014 года

**Не шуми...**

*Использование алмазного сверла резко снижает шум при ремонте*

**В** больницы норвежского города Бодо начинается капитальный ремонт, причем пациентов переводить в другое место не собираются. Как защитить их и персонал от шума стройки, рассчитанной на три года? Ответить на вопрос попытались Трулс Гьестланд и Андерс Хомб, специалисты из норвежского инновационного агентства SINTEF.

Шум бывает двух типов: звуки, распространяющиеся по воздуху, и колебания, проходящие по бетонным стенам. Последние способны преодолевать многие метры, причем порой невозможно понять, где источник звука. Именно они и стали предметом рассмотрения. Вывод исследователи сделали такой: надо сменить инструмент. Например, перфоратор создавал в соседних помещениях звук громкостью 85 дБ. Это гораздо больше нормы и предполагает использование берушей. А вот если вместо перфоратора, который, по сути, долбит бетонную стену, применить сверло с алмазным наконечником, режущее бетон, шум снижается до 60 дБ. Это много, ведь каждые 20 дБ означают стократное снижение мощности звука. Считается, что шум в 60 дБ уже можно выдержать. Правда, если заменить перфораторы на дрели с алмазными сверлами, возрастут и стоимость работ, и время их проведения.

Агентство «AlphaGalileo», 28 февраля 2014 года

**Олень за стабильность**

*Травоядные уберегут тундру от пришельцев*

**Г**лобальное потепление неизбежно ведет к тому, что более южные растения теснят северные. В частности, тундру заселяют высокие кустарники, которые сделают жизнь низкорослых соседей невыносимой, закрыв им солнце. Элина Каалеярви, аспирантка университета Умеа, решила проверить, сколь велика эта опасность. Она провела серию полевых испытаний в разных районах Лапландии, выращивая пришлые кустарники как на огороженных площадках, так и на открытых. Эти эксперименты показали, что кустарникам не всегда выгодно быть высокими; олени и зайцы охотнее поедают самые длинные веточки. Поэтому там, где есть травоядные, прежде всего олени, кустарникам внедриться в экосистему не удается. А в тех местах, где их никто не ел, все шло по классической схеме — занятие территории и постепенное угнетение аборигенов. В общем, все по В.В.Жерихину: вынь из экосистемы базовый элемент — в данном случае оленей — и вся она развалится.



Агентство «AlphaGalileo», 14 февраля 2014 года

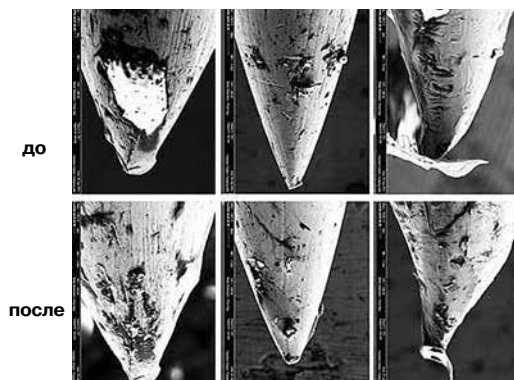
**На кончике иглы**

*Иглы для акупунктуры надо хорошенько затачивать.*

«Acupuncture in Medicine»,  
13 февраля 2014  
года; doi: 10.1136/  
acupmed-2013-010472

Исследователи из Королевского Мельбурнского технологического института во главе с профессором Майком Се рассматривали под сканирующим микроскопом иглы для акупунктуры до и после использования. Оказалось, что на поверхности игл порой имеются заметные зазубрины, кончик отнюдь не всегда острый, а кроме того, на них могут быть частицы металла, налипшие после полировки. При использовании же само острие иногда деформируется, частицы металла с иглы пропадают, видимо оставаясь в коже пациента. Все это может сказываться на самочувствии, поскольку частицы способны вызывать раздражение, а зазубрины и кривизна острия — наносить болезненные повреждения (не говоря уж о том, что энергия ци, если таковая существует, по кривому острию пойдет не в ту сторону).

С учетом этих данных исследователи рекомендуют изготовителям игл тщательнее следить за качеством своей продукции и совершенствовать технологию заточки. Заметим, что в Китае иглокалыванием лечат 40% всех пациентов, обратившихся за медицинской помощью.



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

**Белый деготь**

*Лучше использовать бересту предлагают финские исследователи.*

Агентство  
«AlphaGalileo»,  
14 февраля 2014 года

Ушли времена, когда дегтярное мыло или созданная на его основе мазь Вишневского продавались в каждой аптеке и сам березовый деготь был дешевой смазкой. А когда-то это черное вещество с характерным запахом производили методом пиролиза бересты в больших количествах. Теперь же бересту попросту сжигают, благо горит хорошо. Она почти наполовину состоит из жирных кислот — бетулина и суберина. Именно первый и придает коре березы характерный белый цвет. Исследователи из Технического исследовательского центра Финляндии решили не разбрасываться этим природным богатством и найти обоим веществам лучшее применение, нежели получение тепловой энергии.

По их мнению, бетулин с его жесткой разветвленной структурой и гидрофобностью — неплохое сырье для производства смол, полимеров и покрытий. Кроме того, он может служить сырьем и для производства препаратов против вирусов, простейших, бактерий и даже рака (вспомним лечебные свойства березового дегтя). Сейчас бетулин используют главным образом в косметике, а также при производстве пищевых добавок. Суберин бересты может пригодиться для изготовления клеев, смазок и полимеров.

В настоящее время бетулин стоит очень дорого — несколько сот евро за килограмм, из-за малых объемов производства. Если бы на вещества из бересты возник спрос, их цена стала бы гораздо меньше, чем у продуктов из сосновой смолы, тем более что та стремительно дорожает из-за ее применения в производстве биодизеля.

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

**Очистка целлюлозы**

*Новый растворитель на 40% повысит эффективность производства бумаги.*

Агентство  
«AlphaGalileo»,  
14 февраля 2014 года

Разделение лигнина и целлюлозы, слагающих древесные волокна, всегда было головной болью для изготовителей бумаги и спирта. Обычно древесину варят, обрабатывают химикатами вроде серной кислоты, гасят ее гипсом, и лигнин вместе с ним собирается в многометровые отвалы. При этом тратится немало энергии.

Чтобы снизить и потребление энергии, и объем отходов, Конфедерация европейских изготовителей бумаги объявила в 2013 году конкурс новых технологий. В числе победителей оказалась профессор Майке Крон из Эйндховенского университета (Нидерланды). Она предложила извлекать целлюлозу с помощью так называемого эвтектического растворителя, DES (deep eutectic solvent). Такой растворитель представляет собой жидкость, получаемую при соприкосновении нескольких веществ, не растворимых друг в друге в твердом состоянии. Если соотношение количеств этих веществ подобрано правильно, то температура плавления их смеси оказывается гораздо меньше, чем у исходных компонентов. Обычно металлические смеси эвтектического состава служат припоями, но в 2003 году было обнаружено, что и органические соединения способны давать легкоплавкие эвтектики. Например, у смеси из одной части холинхлорида и двух частей мочевины температура плавления всего 12°C, тогда как у компонентов соответственно 312°C и 113°C. Такая жидкость может стать растворителем. Профессор Крон подобрала состав эвтектики, который прекрасно растворяет целлюлозу, отходом же служит чистый лигнин, пригодный для использования в качестве наполнителя композитов. Сам растворитель хорошо разлагается бактериями. Его применение при производстве бумаги снижает затраты энергии на 40%, а выбросы углекислого газа — на 20%. Промышленные компании выделили финансирование на постройку в ближайшие четыре года полупромышленной установки для проверки этой технологии.

**О прогнозах**

В декабре прошлого года мы опубликовали предсказание результатов Олимпийских игр в Сочи, которое профессор Владимир Андреев дал на основании сравнения валового продукта разных стран, уровня развития в них зимних видов спорта и других факторов. По его предположению, первые три места в общем медальном зачете должны были занять США, Германия и Канада, Россия — четвертое, а Китай мог побороться за место в этой четверке. Действительность опровергла математический расчет, места распределились так: Россия, США, Норвегия, Канада, Нидерланды, Германия. О чем это говорит? Возможно, модель плоха, хотя автор клялся, что когда он проверял ее справедливость на прошедших олимпиадах, все сходилось. А может быть, модель хороша, но данные о ВВП неверны. Или есть некий фактор, помогающий спортсмену превзойти самого себя, и этот фактор никакой алгеброй не поверить...

# Профессии электрона

Доктор химических наук  
**А. В. Пономарев**

## Таинственные лучи и Нобелевские премии

Любому школьнику известно, что электрон открыл Дж. Дж. Томсон. И это считается одной из вех в научной революции конца XIX века. Но история электрона на самом деле началась значительно раньше, еще до рождения Томсона (1856—1940). Как и положено в науке, началась она с вопроса: почему в тонком воздушном зазоре между разомкнутыми контактами электрической цепи проскакивает искра и что изменится, если воздух заменить другим газом или вакуумом?

Впервые устройство для такого эксперимента изготовил в 1854 году германский стеклодув и изобретатель Генрих Гейслер. Он впаял два электрода в стеклянную трубку и откачал из нее воздух. Спустя четыре года другой германский физик Юлиус Плюккер соединил электроды трубки Гейслера с электрическим генератором и обнаружил, что при подаче повышенного напряжения ток проходит через разреженные газы и в вакууме. Одновременно над катодом возникает свечение. При давлении 1 Па газ переставал светиться. Зато начинало светиться стекло на дальнем от катода конце трубки.

Свечение заинтересовало многих ученых и породило массу догадок. Уже в 1876 году Ойген Гольдштейн пришел к выводу, что внутри трубки возникают невидимые лучи, которые испускает отрицательно заряженный электрод (катод). Он назвал их катодными лучами, полагая, что это тот же самый ток, который протекал по металлическим проводам в неразомкнутой электрической цепи.

Вскоре английский физик Уильям Крукс доказал, что катодные лучи обладают массой. В 1885 году он продемонстрировал эффектный опыт: катодные лучи, направленные на лопатки колеса, заставляли его поворачиваться. Крукс также выяснил, что катодные лучи можно отклонять магнитным полем. Значит, они несут электрический заряд. А в 1892 году обнаружилась еще одна неожиданная способность катодных лучей — проникать сквозь тонкую алюминиевую фольгу.

Окончательную ясность внес Джозеф Джон Томсон из Кембриджской лаборатории. Он сконструировал новую трубку, в которой система катушек создавала магнитное поле, а параллельные металлические пластины-конденсаторы — электрическое. На стенку трубки, противоположную катоду, он нанес слой люминофора. Так получился простейший прототип электронно-лучевой трубки. Меняя напряженность электрического поля, он мог разгонять электроны до больших скоростей (энергий), а меняя соотношение полей — управлять траекторией катодных лучей. И он же первым определил массу неведомых частиц, которая оказалась в две тысячи раз меньше, чем масса атома водорода.

Результаты расчетов и экспериментов не оставляли сомнений: неизвестные частицы — не что иное, как мельчайшие электрические заряды, и эти заряды есть в составе любых атомов.



*Невидимый пучок электронов оставляет в веществе видимый след — свечение Вавилова — Черенкова*

Поначалу Томсон назвал их корпускулами, но затем признал более подходящим название «электрон», которое ввел еще в 1891 году ирландский физик Джордж Стоуни для обозначения элементарного заряда.

Историю открытия электрона принято отсчитывать от 29 апреля 1897 года, когда Томсон изложил природу катодных лучей на вечернем заседании Лондонского королевского общества. Электрон стал первой заряженной частицей, открытой учеными. К тому же она оказалась мельче атома, который прежде считали наименьшим и неделимым. В 1906 году открытие Томсона было удостоено Нобелевской премии по физике.

Но там, где есть отрицательные частицы, должны быть и положительные. Действительно, одновременно с отрицательно заряженными катодными лучами в трубке Крукса возникал поток положительно заряженных частиц, который распространялся от анода к катоду. В 1886 году Ойген Гольдштейн просверлил в катодном канале, чтобы открыть этим частицам выход в закатодное пространство, и назвал их каналовыми лучами. Спустя 16 лет немецкий физик Вильгельм Вин выяснил, что если трубка заполнена водородом, то каналовые лучи состоят из положительно заряженных атомов водорода — ионов водорода. А если другими газами?

Вин и Томсон продолжили исследование в различных разреженных газах и убедились, что и в этом случае каналовые лучи состоят именно из положительных ионов газов, находящихся внутри трубки. Так была открыта способность электронного пучка ионизировать стабильные молекулы, превращать их в реакционноспособную ионную форму.

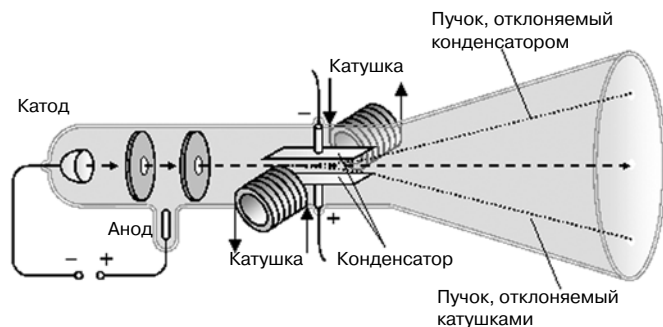
## Первая работа электронного луча

Из опытов по ионизации газов катодными лучами родился очень важный для химиков метод — масс-спектрометрия. Суть метода проста: пучок электронов ионизировал исследуемый газ (пары вещества), превращая их в положительно заряженные ионы. А затем, прилагая электрические и магнитные поля, эти ионы разделяли между собой и определяли их массу — точно так же, как незадолго до этого была определена масса самого электрона. Пионером масс-спектрометрии стал Дж.Дж.Томсон, а впоследствии Фрэнсис Уильям Астон в Кембридже усовершенствовал метод своего учителя. Новый масс-спектрограф позволил Астону открыть 213 стабильных изотопов различных химических элементов, за что он был удостоен Нобелевской премии по химии в 1922 году.

Первые масс-спектрометры обходились небольшим ускоряющим напряжением и не требовали особой регулировки электронного пучка. Более тонкое управление пучком и высокие энергии электронов потребовались в кинескопах — первых электронно-лучевых приборах (катодных трубках), преобразующих электрические сигналы в световые. Управляемый поток электронов в трубке сталкивался с экраном, покрытым люминофором, и заставлял его светиться. Так невидимый поток невидимых частиц стал видимым. Это явление легло в основу изобретения электронно-лучевых трубок для телевизоров, большой вклад в которое внес российский физик Б.Л.Розинг (1869—1933).

Розинг подал заявку на изобретение «способа электрической передачи изображений на расстояния» 25 июля 1907 года. В его трубке двумерную развертку луча делали магнитные поля. А с помощью конденсатора можно было регулировать яркость свечения. Девятого мая 1911 года на заседании Русского технического общества Розинг продемонстрировал передачу и прием изображений простых геометрических фигур с их воспроизведением на экране электронно-лучевой трубки. И только в 1929 году В.К.Зворыкин, ученик Розинга, разработал высоковакуумную приемную трубку — кинескоп. Оба этих изобретения обозначили начало эпохи телевидения, хотя традиционно рождение телевидения связывают с докладом Зворыкина на годичной конференции Американского общества радиоинженеров в 1933 году.

Кинескоп представляет собой стеклянную колбу, откачанную до глубокого вакуума и герметично запаиванную. Ее дно, играющее роль экрана, покрыто изнутри слоем люминофора. Зворыкин разработал растровую схему, определяющую движение электронного луча. Луч последовательно вычерчивал на экране одну светящуюся линию (строку) под другой. Высветив нижнюю строчку, он возвращался наверх и снова повторял свой путь по экрану. Эта процедура повторялась 25 раз в секунду. Светлые и темные участки на изображении появлялись из-за изменения тока пучка: на светлых участках ток больше, на темных — меньше. Так ученые и инженеры приручили электронный



На рисунке показана схема катодной трубки, с которой работал Дж.Дж.Томсон. Он количественно изучал, как отклоняются катодные лучи в электрических и магнитных полях и, благодаря этим экспериментам, в 1897 году открыл электрон



ТЕХНОЛОГИИ

пучок, начали манипулировать им. И скоро электронно-лучевые технологии вместе с телевизорами вошли в каждый дом.

Следующую главу в истории электрона написал французский физик Луи де Бройль (1892—1987). В 1924 году он выдвинул гипотезу о волновых свойствах этой частицы, согласно которой электроны обладают не только корпускулярными, но и волновыми свойствами, то есть для них характерны интерференция и дифракция, как и для света. Гипотезу экспериментально подтвердили в 1927 году Клинтон Дэвиссон и Лестер Джермер в США и Джордж Паджет Томсон в Англии. А де Бройль незамедлительно, в 1929 году, получил Нобелевскую премию по физике.

Но поразительно другое. Потребовались считанные годы, чтобы эти фундаментальные исследования воплотились в устройство, да какое — первый электронный микроскоп с 400-кратным увеличением. Его создали немецкие инженеры Макс Кнолль и Эрнст Руска в 1931 году. Правда, в этом случае Нобелевской премии по физике пришлось ждать несколько дольше, 55 лет. Похоже, по числу Нобелевских премий электрон уступает разве что рентгеновским лучам. В сущности, электронный микроскоп очень похож на оптический. Только в нем вместо луча света используется пучок электронов, проникающий сквозь вещество, а вместо стеклянных линз — магнитные катушки, которые так и называют «линзами».

## Свободу электрону!

В масс-спектрометре, кинескопе и электронном микроскопе пучок электронов заключен внутри вакуумной трубки. Но если мы хотим использовать его для химических технологий, то пучок следует выпустить в атмосферу или в реакционный сосуд с перерабатываемым сырьем и добавить этому пучку мощности. Можно ли это сделать? И если да, то как?

Первую проблему решил американский физик Уильям Кулидж. В 1925 году он создал первую высоковольтную катодную трубку, позволившую вывести электронный пучок за пределы стеклянной вакуумной камеры. Поначалу электроны высокой энергии выпускали непосредственно через тонкую стеклянную стенку трубки, а затем придумали специальное выпускное окно, затянутое алюминиевой или титановой фольгой, которая отделяла вакуумный объем ускорительной системы от атмосферного воздуха, но легко пропускала электроны.

Решением второй проблемы — созданием ускорителей высокой мощности — начали заниматься практически одновременно и в России, и за рубежом. Необходимо было получить высокое напряжение. В 1914 году русский ученый В.К.Аркадьев первым предложил, как это сделать. Он создал так называемый генератор молний, работавший по принципу умножения напряжения.

Спустя одиннадцать лет профессор Б.И.Угримов в Московском высшем техническом училище сконструировал высоковольтный генератор, в котором заряды механически перетаскивала к высоковольтному электроду непрерывно движущаяся лента. Эти эксперименты привлекли внимание американского физика Роберта Ван-де-Граафа и помогли ему создать в 1929 году электростатический ускоритель. В первом генераторе ускоряющая разность потенциалов составляла 80 кВ. Но уже в начале тридцатых годов усовершенствованные ускорители



*Ускоритель «Родотрон» (7 МэВ, 700 кВт, Канада)*

Ван де Граафа позволили достичь 7 МВ.

В 1932 году Джон Кокрофт и Эрнест Уолтон в Кембриджском университете продемонстрировали первый ускоритель на базе каскадного генератора. Высокое постоянное напряжение получалось преобразованием низкого переменного напряжения с помощью многокаскадной выпрямительной схемы.

Оба вышеописанных ускорителя дают пучки электронов с мощностью в несколько десятков киловатт и относятся к разряду высоковольтных ускорителей прямого действия, где электроны подгоняет постоянное электрическое поле. В сущности, высоковольтный ускоритель устроен так же, как и катодная трубка: высоковольтный генератор, источник электронов (электронная пушка) и вакуумная ускорительная трубка ( $10^{-4}$ – $10^{-5}$  мм рт. ст.). Между точками с разницей потенциалов в 1 В электрон приобретает энергию в 1 эВ.

Наряду с громоздкими ускорителями Кокрофта — Уолтона и Ван де Граафа в 1937—1939 годах начали появляться более компактные устройства трансформаторного типа. Здесь генератором высокого напряжения служил повышающий трансформатор. В отличие от предшествующих генераторов, высоковольтный трансформатор практически не имеет ограничений по мощности и потому наиболее перспективен для мощных и сверхмощных высоковольтных ускорителей с энергией электронов до 2—3 МэВ. Именно такие электронные ускорители и нужны для проведения химических реакций. А те, что работают в коллайдерах для физических исследований, уже шагнули в область гигаэлектронвольтных энергий ( $10^9$ — $10^{11}$  эВ). Но в данном случае они нас не интересуют.

## Электронный пучок двигает науку

Вернемся к химии. Как оказалось, вслед за ионизацией газа, наблюдавшейся еще в катодных трубках, начинаются его химические превращения. Американский ученый Самуэль Линд стал первым, кто исследовал и объяснил химическое воздействие электронов на вещество. В 1921 году из-под его пера вышла первая специализированная монография «Химические действия альфа-частиц и электронов». К тому времени уже было известно, что ионизация превращает воду в водород и кислород, кислород воздуха — в озон, белый фосфор — в красный, окрашивает стекло и фарфор. В 1914 году французский химик Андре-Луи Дебьерн впервые сфор-



*В таких катодах (внизу) рождается электронный луч. Разогнавшись до высокой энергии, электроны вырываются из выпускного окна ускорителя (вверху) наружу и приступают к химическим преобразованиям*

мулировал гипотезу о том, что вслед за ионизацией воды и взаимодействием ионов образуются радикалы H и OH, а затем из них — водород и перекись водорода.

Сегодня мы знаем, что ускоренный электрон, соударяясь с молекулой вещества, передает ей часть своей энергии. Чаще всего молекула ионизируется — из нее выбивается вторичный электрон, а сама молекула превращается в положительно заряженный ион (катион-радикал), то есть возникает ионная пара. Энергия, затраченная на ионизацию, распределяется между вторичным электроном и катион-радикалом. Вторичный электрон и катион-радикал могут вновь объединиться в молекулу воды — рекомбинировать. Воссозданная молекула воды при этом окажется возбужденной: она будет нести на себе избыточную энергию, за счет которой может произойти разрыв связи O-H. В результате образуется пара радикалов — H и OH.

Другой сценарий развития событий — быстрая миграция вторичного электрона от места образования ионной пары. В этом случае и вторичный электрон, и катион-радикал могут вступать в химические реакции с каким-нибудь растворенным веществом. Такая же судьба может быть уготована и паре радикалов. Они прореагируют не друг с другом, а с растворенным веществом. Атомы H и вторичные электроны будут играть роль восстановителей, а радикалы OH и катион радикалы  $H_2O^+$  — роль окислителей. Ускоренные электроны, растратив свою энергию на ионизацию и возбуждение молекул, превращаются просто в элементарный электрический заряд, который по токоведущим материалам стекает на заземление. В свою очередь, вторичные электроны, не успевшие прореагировать с примесями, полностью нейтрализуются катионами.

На образование одной ионной пары затрачивается в среднем 25 эВ. Если электрон имеет начальную энергию 1 МэВ, то общее число ионизаций составит примерно 40 000.

Следующий прорыв в этой области случился в 1960 году, когда был разработан метод импульсного радиолитиза — исследование химических реакций под действием коротких мощных импульсов ускоренных электронов. Новым методом исследовали тысячи быстрых химических реакций и свойств промежуточных продуктов, время жизни которых было ничтожно — от 1 секунды до 1 пикосекунды. Например, в Институте физической химии АН СССР функционировали установки микро-, нано- и пико-секундного импульсного радиолитиза со спектрофотометрической и ЭПР-регистрацией.

Очень быстро импульсный радиолитиз позволил сделать очередное открытие. В 1962 году американцы Эдвин Харт и Джон Боаг сообщили первые данные о новой форме электрона — сольватированном электроне. Одновременно А.К.Пикаев и Б.Г.Ершов из Института физической химии АН СССР обнаружили эту частицу методом ЭПР в замороженных водных растворах щелочи.

Позднее выяснилось, что подобные частицы образуются также в аммиаке, спиртах, эфирах, аминах и углеводородах. Оказалось, что молекулы среды поляризуются и образуют вокруг вторичного электрона своего рода сольватную оболочку. В нейтральной воде гидратированные электроны существуют сотни микросекунд, пока не погибнут в реакциях с ионами, радикалами и молекулами. Сольватированный электрон — самый сильный элементарный восстановитель. Так электроны в очередной раз помогли химикам значительно расширить свои представления о механизмах самых разных превращений, претерпеваемых веществом — фотохимических, радиационно-химических, электрохимических и радиобиологических.

До середины 1960-х годов электронный пучок использовали в основном для научных исследований. Химическое действие электронных пучков целенаправленно исследовали и в России с 1948 года, когда в Институте физической химии АН СССР создали специализированную лабораторию под руководством П.Я.Глазунова и смонтировали ускоритель типа Кокрофта — Уолтона. Однако до 1955 года все работы велись под грифом «совершенно секретно», а потом еще почти два десятилетия под другими грифами.

## Профессии электронного луча

Впрочем, не отставали и химики-технологи, оценившие потенциал электронного пучка. Первый патент (US Pat. 1906402) на использование ускоренных электронов для вулканизации каучука получил американский ученый Э.Б.Ньютон в 1929 году. Позднее выяснилось, что электронный луч практически мгновенно отверждает лакокрасочные и полимерные покрытия и прочно связывает их с поверхностью многих материалов, будь то дерево, металл, керамика, цементные плиты, стекловолокно. Поэтому первым масштабным применением электронов в промышленности стало именно отверждение покрытий. Например, в СССР эту технологию использовали при производстве телевизионных корпусов на заводах Львова, Симферополя и Самары, а в компаниях «Форд» и «Фольксваген» — для нанесения покрытия на металлические детали.

Электронный пучок способен также инициировать радикальную и ионную полимеризацию в массе вещества, поэтому его активно применяют в биоинженерии — для синтеза биосовместимых полимерных материалов и иммобилизации биоактивных компонентов (ферментов, антител и антигенов, противотромбозных препаратов, лекарств, гормонов, нейромедиаторов, аминокислот и др.) в полимерные матрицы. Прививочная полимеризация в электронном потоке очень пригодилась для отделки текстильных материалов, чтобы они лучше окрашивались, хуже электризовались, меньше мялись и

были водостойкими. Еще в конце 1960-х годов в США внедрили электронно-лучевую отделку хлопчато-полиэфирных волокон с производительностью  $4,5 \cdot 10^6$  м/год. С 1968 года во Франции действовала установка для прививки акриловой кислоты к алюминию. В 1981 году в Японии началось электронно-лучевое производство ионообменных мембран для щелочных батарей, а в США наладили производство эффективных флокулянтов.

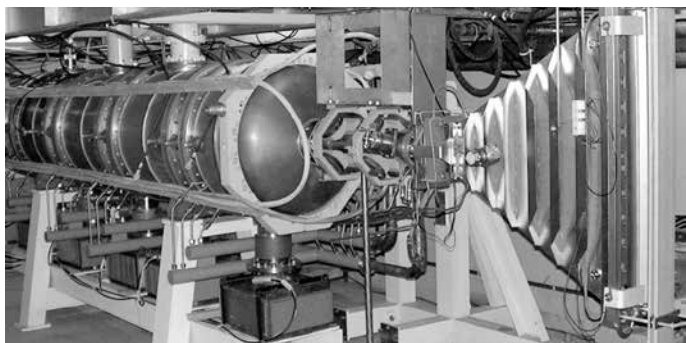
Однако этим профессии электронного пучка не ограничиваются. Он оказался отличным инструментом для изготовления блочных композиционных материалов на основе полимеров и различных наполнителей: древесины, цемента, бумаги, стекла, минеральной крошки и т. д. Таким способом во многих странах производят водостойкую кровлю, стеновые панели и другие конструкционные материалы с гидрофильными покрытиями и консервирующей пропиткой. В Японии и Франции электронный пучок работает на производстве оптических изделий — линз Френеля, оптических решеток, фокусирующих линз, контактных линз, призм.

Но если говорить о наиболее «крупнотоннажных» применениях, то это, безусловно, модифицирование полимеров. Здесь мы назовем два главных процесса — сшивку полимера (полиэтилена, полипропилена, полиакриламида, поливинилхлорида, полистирола, каучука и др.) и деструкцию (тефлона, полиметилметакрилата, бутилкаучука, целлюлозы и др.). Например, электронно-лучевая сшивка полиэтилена добавляет ему термостойкости — он устойчив до  $150^\circ\text{C}$ , а обычный полиэтилен — до  $90^\circ\text{C}$ . Кроме того, электронная сшивка повышает электропроводность материала, делает его более эластичным, снижает степень его кристалличности и газопроницаемость. В Великобритании первые промышленные установки для сшивки теплоизоляционных полимерных материалов начали работать в 1964 году, а на производстве вулканизованных резино-технических изделий — в 1970-м.

В середине 1960-х годов в Японии разработали технологию электронно-лучевого производства сшитого пенополиэтилена. Материал получился отличный — эластичный, упругий, прочный, плохо проводящий тепло, стойкий, термостабильный. И вскоре подобные установки появились в других странах, на которых и по сей день изготавливают материалы для теплоизоляции и электроизоляции, прокладки, упаковку, тепловые экраны в автомобилях, строительные конструкции, спортивный инвентарь и электротехнику.

Что касается деструкции, это способ разложить отработавший полимерный материал на мелкие составляющие, чтобы использовать повторно. Или сделать удобным в прямом смысле этого слова. Например, электронно-лучевая обработка целлюлозы в сельскохозяйственных и промышленных отходах (сене, соломе, жмыхе и т. п.) снижает ее молекулярную массу и кристалличность. В результате этот корм для птиц и животных усваивается значительно лучше.

В 1970-х годах в России работали производства, на которых электронными пучками модифицировали кабельную изоляцию, рулонную полиэтиленовую пленку и получали термостойкие полиэтиленовые трубки, вулканизировали резину, модифи-



Промышленный ускоритель ИЛУ-14 — детище Института ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения РАН

цировали текстиль, обрабатывали полупроводники и микросхемы, изготавливали полимерные фигурные матрицы для формования железобетонных изделий, отверждали покрытия. На этой ниве трудились отечественные ускорители «Электрон», «Аврора», ЭЛВ, ИЛУ, ЭОЛ, ЛУЭ и УВ.

Из разработок последних лет в России необходимо упомянуть процесс переработки попутного нефтяного газа в жидкие углеводороды. Опытно-промышленная установка была запущена в 2000 году. Этот метод до сих пор остается единственным прямым (одностадийным) способом утилизации попутного нефтяного газа.

Если к началу 1960-х годов в мире насчитывалось около 40 установок на базе электронных ускорителей, то к 1990 году их число увеличилось до 450, а в 2012 превзошло 1500. При этом суммарная мощность ускорителей, работающих в промышленности, превысила 40 МВт.

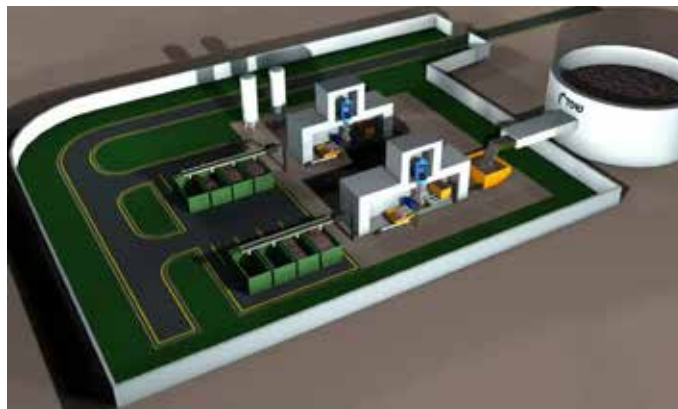
## Электроны на защите окружающей среды

Впрочем, есть еще одно очень важное применение электронных пучков — в области защиты окружающей среды. Первой мишенью стали выбросы промышленных предприятий. В 1970—1971 годах в Японии разработали метод обезвреживания оксидов серы и азота в дымовых газах на электростанциях и в котельных, а в 1972—1974 годах его опробовали на промышленных ускорителях. В результате воздействия электронных пучков образуются серная и азотная кислоты, для нейтрализации которых используют известь и аммиак. Конечные продукты — удобрения или дорожные наполнители. Степень очистки дымовых газов составляет 90—98%, и такой эффект обходится на четверть дешевле, чем традиционная химическая очистка. В последующие годы эта технология распространилась по всему миру, в том числе четыре установки появились и в России (в Новосибирске, Новолипецке, Оренбурге и в Подмоскowie).

Загрязнение окружающей среды не ограничивается вкладом промышленных выбросов. Есть еще и сточные воды. В начале 80-х годов в Бостоне (США) и в Такаси (Япония) появились первые крупнотоннажные пилотные агрегаты для дезинфекции муниципальной сточной воды. Сегодня их уже пятнадцать. На Воронежском заводе синтетического каучука пошли дальше. Здесь в 1990 году, чтобы избавиться от эмульгатора некаль, который не разлагается биологически, «ударил» электронным пучком и озоном. Сработало.

Самая крупная водоочистная установка, где трудятся электроны, была запущена в Южной Корее в 2006 году. Ее совместно спроектировали корейские и российские специалисты, и она перерабатывает 10 тыс. кубометров воды в сутки. За короткое время контакта грязной воды с электронным пучком в ней успевают произойти очень важные изменения. Во-первых, стойкие примеси превращаются в биоразлагаемую форму, поэтому время финишной биологической очистки сокращается вдвое. Во-вторых, поток электронов резко снижает стойкость коллоидных примесей, и они начинают самопроизвольно коагулировать, поэтому можно отказаться от химической коагуляции, которую применяли раньше. Наконец, электронный пучок окисляет примеси, а значит, сточная вода не забирает лишнего кислорода из атмосферы. Собственно, в этом и заключается суть очистки промышленных стоков.

За очисткой сточных вод последовало обезвреживание ила и осадков, которые в этих водах образуются. Первая такая установка была создана в 1976 году в Бостоне (США). Позже ее модификации начали действовать в Майами (США) и Такаси (Япония). Сегодня их уже более десятка. В последние годы обезвреживание осадков сточных вод доверяют электронным пучкам в Израиле, Китае, Южной Корее. Россия ограничилась испытаниями.



Так выглядит установка для дезинфекции осадков сточных вод (макет), которая работает в Израиле. Здесь тоже трудятся электронные пучки

## Узкие места

В промышленности работают мощные электронные пучки, разгоняемые до высокой энергии в ускорителях. А ускорители, конечно, несовершенны. Есть проблемы с фольгой, которая быстро теряет прочность по разным причинам. Есть проблемы с относительно небольшой проникающей способностью электронов — массивные изделия с толстыми стенками уже нельзя взять в работу. Наконец, для работы с большими количествами жидкости и газа нужны ускорители большой единичной мощности. Над всеми этими проблемами работают и за рубежом, и в России. Но тем не менее электронные пучки продолжают трудиться в промышленности. Значит, это выгодно, хотя удовольствие недешевое.

Сегодня удельная цена ускорителей наиболее распространенных типов составляет от 2 до 9 тыс. долларов/кВт. Она тем меньше, чем выше мощность установок. Использование ускорителя для производства сшитых поропластов становится выгодным, если производительность установки превосходит 100 тонн в месяц. При производительности 200 тонн в месяц и выше электронно-лучевой метод становится выгоднее химического способа в несколько раз.

Собственно, это общее правило: чем выше мощность любой установки, тем больше выгода от ее применения. Применение ускорителей в промышленной экологии выгодно только в случае крупнотоннажной переработки. В Израиле обеззараживание одной тонны осадков (7000 м<sup>3</sup> осадков сточных вод в месяц) обходится в 4,4 доллара, причем эту величину можно умень-

*Промышленные электронно-лучевые установки с ускорителем электронов могут быть вполне компактными, как, например, эта передвижная установка*



шить вдвое, если установка будет работать круглосуточно, а не с перерывами. Опыт южнокорейских специалистов показывает, что для очистки 10—20 тыс. кубометров сточной воды в сутки электронно-лучевой метод требует несколько больших капитальных затрат, чем метод ультрафиолетового облучения. Однако эти расходы как минимум в полтора раза ниже капитальных затрат, необходимых для внедрения озонной, мембранной или химической коагуляционной очистки. Вместе с тем содержание и обслуживание электронно-лучевой очистки стоков обходится всего в 0,07–0,11 долларов/м<sup>3</sup> — меньше, чем всех названных методов. А уж по сравнению с ультрафиолетовым облучением выигрыш двукратный.

Электронно-лучевые установки появились в промышленности сравнительно недавно, когда большинство рыночных ниш было уже занято другими технологиями. В этой ситуации задача разработчиков электронно-лучевых технологий — предложить промышленникам нечто обеспечивающее уникальность или высочайшее качество продукции. Причем этот поиск должен идти опережающими темпами. Но легко сказать! Для традиционной химической технологии или биотехнологии процесс в целом понятен — изучаешь детали в пробирке, а потом масштабируешь. Эволюция, конечно, не то чтобы линейная, но близка к этому. В случае же электронно-лучевых технологий о хоть какой-то линейности можно забыть, потому что энергетические характеристики электронного пучка не поддаются масштабированию. Электроны с «лабораторной» энергией 100 кэВ дают эффект, несопоставимый с эффектом «промышленной» энергии 1—8 МэВ: разное пространственное распределение, разная плотность ионизации и соответственно разное соотношение скоростей и выходов реакций. А стоимость ускорителя просто несопоставима со стоимостью «пробирки».

Главный ценообразующий параметр ускорителя — энергия электронного пучка. Мощность пучка влияет не столь сильно. К тому же мало купить ускоритель, ему еще нужно специальное помещение с толстыми защитными стенами — опять немалые деньги. А обслуживание? Для поддержки установки в рабочем состоянии приходится ежегодно тратить не менее 10% от исходной стоимости ускорителя. На производственном предприятии все эти расходы — обычная практика. Они окупаются. Но в бюджет института ускоритель, как правило, не помещается.

Если нет исследовательских ускорителей, то нет и специалистов, а значит, и новых эффективных технологий для внедрения. Кстати, электронно-лучевые технологии обладают высокой энергетической эффективностью, что, безусловно, привлекательно для промышленности. Ведь электронный пучок имеет строго заданное направление и не распространяется во все стороны, соответственно его энергия локализуется в пределах реакционного объема. Электронный пучок расходует свою энергию именно на образование реакционно-способных частиц, инициирующих химические и физико-химические превращения. К тому же в современных технологических ускорителях трансформация переменного тока в постоянный происходит с эффективностью выше 90%.

Технологии всегда вырастают из большой науки. Сегодня в России химическим действием электронных пучков продолжают целенаправленно заниматься, по сути, только в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина. В 2011 году там была создана специализированная лаборатория, нацеленная на электронно-лучевую конверсию энергоносителей. Она использует три импульсных исследовательских ускорителя с мощностью от 1 до 4 кВт и энергией электронов от 200 кэВ до 8 МэВ и занимается интересными и важными темами.

Существуют промышленные процессы, которые требуют не селективности, а наоборот, широкого набора компонентов в конечном продукте, например — получение топлива, масел, разбавителей и прочих смесей. Например, автомобильный бензин должен иметь широкий фракционный состав. Регламентная температура начала его кипения 35°C, а температура



конца кипения — до 195°C. Это необходимо, чтобы двигатель запускался и устойчиво работал и в мороз, и в жару, при неспешной езде и при спортивной гонке. Такую смесь можно синтезировать из природного газа или попутного нефтяного газа, если применить электронно-лучевую переработку. Под действием пучка электронов синтезируются жидкие бензиновые углеводороды, причем именно того самого регламентного состава. При этом бензин имеет октановое число выше 95, поскольку при электронном воздействии образуются преимущественно сильно разветвленные (а значит, высокооктановые) молекулы. Вопрос, который ставят перед собой исследователи, — как повысить выход конечного продукта и эффективно управлять его составом.

Другое интересное направление исследований — деструкция растительного сырья, точнее, процесс его превращения в химические реагенты и компоненты топлива. Например, в результате такой обработки из целлюлозы выделяются фураны, из хитина — пиридины, из лигнина — метоксифенолы, а из липидов — углеводороды. Выход фуранов из волокон целлюлозы достигает 40 вес. %, причем более 90% из них — фурфурол. Пока столь продуктивных промышленных или лабораторных способов прямого получения фурфурола неизвестно. А из целлюлозы фурфурол прежде вообще не получали (обычно его получают из пентозанов с выходом менее 15 вес. %).

## Давай попробуем вернуть!

Из былой сотни промышленных ускорителей в России сохранились единицы. Сегодня на благо химической науки и производства трудятся лишь полтора десятка установок, по большей части устаревших. Но пока еще сохраняются сравнительно прочные отечественные позиции в сфере производства новых электронных ускорителей. Однако большинство из них мы поставляем за рубеж, в первую очередь в быстро развивающиеся страны азиатско-тихоокеанского региона. В среднем на один ускоритель, остающийся в России, приходится не менее 15 ускорителей, отправляемых на экспорт. Для сравнения: в разных отраслях японской промышленности сегодня трудится около 250 электронных ускорителей и еще почти 150 — в сфере науки.

Электронно-лучевые методы и технологии — из числа экологически чистых и ресурсосберегающих. Эти технологии благодаря своим достоинствам все больше и больше становятся востребованными во многих странах. Восстановить электронно-лучевой сектор в отечественной большой химии и в науке — непростая задача. Но это актуальная и перспективная задача. Она, конечно, стоит дорого, но стоит того, чтобы ею заниматься — ради конкурентоспособности отечественных химических производств и преодоления промышленного и научного кризиса.





# Война со ртутью

**Л. Стрельникова**

Мир объявил войну ртути. Почти сто стран подписали Конвенцию Минамата осенью 2013 года на конференции в Кумамото (Япония). После того как конвенция будет ратифицирована не менее чем в пятидесяти странах, она вступит в силу. А это означает, что в ближайшие несколько лет человечество откажется от использования ртути везде, где только возможно.

В сущности, объявлять войну металлу — все равно что объявлять войну плохой погоде. Он живет по законам природы и к человечеству равнодушен. Ртуть не напрашивалась к нам в друзья. Мы сами начали рыть шахты и огнем выгонять жидкий металл из руд, которые лежали нетронутыми миллионы лет. Джинна выпустили из бутылки и заставили работать, не считаясь ни с чем. Потребовались многие сотни лет, чтобы человечество наконец поняло: игры с ртутью опасны. Поэтому Конвенция Минамата — это объявление войны не ртути, а человеческому невежеству и безответственности, войны ради победы разума.

## Добыча

Ртути в природе не так много, всего 83 мг в тонне земной коры, а в воде океана и того меньше — 0,1 мг/м<sup>3</sup>. В довольно больших количествах ее находят в глинистых сланцах, она присутствует в большинстве металлических руд в виде попутчика, поэтому производство многих цветных металлов сопровождается выбросами ртути в атмосферу. В концентрированном виде ртуть существует в природе в двадцати минералах в форме сульфидов (киноварь HgS), хлоридов (каломель Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, эглестонит Hg<sub>6</sub>Cl<sub>4</sub>O), оксихлоридов (терлингуаит Hg<sub>2</sub>ClO) и др.

Встречается она и в самородном состоянии, сопутствуя киновари. В начале XVI века лужицы серебристого металла обнаружили жители Идрии (Словения) на дне колодцев. С этого момента началась промышленная добыча ртути в этом местечке, богатом, как выяснилось, киноварью. Довольно быстро правящая династия Габсбургов взяла эту шахту под свое крыло, и уже в XVII веке доходы от ее эксплуатации покрывали 5% расходов в австрийском бюджете. Каждый год шахта, на которой трудились почти полторы тысячи человек, выдавала по 600—700 тонн ртути. «Жидкое серебро» превратило Идрию в один из богатейших средневековых городов Европы.

Киноварь — самый удобный с точки зрения промышленности источник ртути, поскольку ее в этом минерале много — 86,2%. Это та самая киноварь, из которой в Средние века делали красный пигмент для живописи, перетирая минералы, похожие на закристаллизованные капли крови. Именно из этого минерала многие сотни лет назад начали добывать жидкий металл, обжигая киноварь в печах и конденсируя пары ртути. В сущности, этот процесс повторяет манипуляции алхимиков, «превращавших» камни в металл.

Исторически первое и самое крупное производство ртути, видимо, появилось в Испании, в городе, стоящем на руднике, — Альмадене. Считается, что в землях Альмадены сосредоточено аномальное количество ртутных залежей. Поэтому на протяжении всей истории эта шахта была мировым лидером, добывая едва ли не более половины всей ртути, извлеченной миром из земных недр.

Есть и другие месторождения ртути — только в России их несколько десятков. Известное Никитовское месторождение в Горловке (Украина) разрабатывалось более ста лет, пока ртутный комбинат не умер в 90-х годах по понятным причинам. Ртутные шахты есть в Алжире, Китае, Киргизии, Перу и США.

Никто не знает точно, когда началась разработка месторождения в Альмадене. Но известно, что за все эти сотни лет здесь вытащили из земли более 500 тысяч тонн ртути. А в Идрие за почти пятьсот лет добыли 107 тысяч тонн, прорубив более 700 км штолен и шахт на пятнадцать уровней, которые местами уходят под землю на 32 метра ниже уровня моря.

Вокруг этих шахт строились и развивались Альмаден и Идриа. «Наш город существует только благодаря руднику, — рассказывал сорок лет назад Хесус Каррион, священник Альмадены, Джону Путману, корреспонденту журнала «National Geographic». — Это неотделимая часть нашей жизни. Его

штольни проходят под нашими домами, а новый шахтный подъемник возвышается рядом с развалинами замка XII века. Почти из каждой семьи кто-то работает в шахте. По правилам, введенным еще двести лет назад, шахтерам разрешается работать не более восьми дней в месяц, так что у них остается время для дополнительного заработка. Наши горняки — еще и парикмахеры, адвокаты, торговцы...»

## Использование

Каждый год в мире получают и пускают в дело около трех тысяч тонн ртути. Куда шло и идет такое огромное количество? История применения жидкого металла и его соединений длинная и очень богатая. Когда выяснилось, что ртуть легко растворяет золото (и не только золото), образуя с ним амальгаму, родился чудовищный метод нанесения золотых покрытий на металл. Метод использовали, когда золотили купола Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге. На огромные медные листы наносили слой жидкой амальгамы золото-ртуть, а затем прокаливали эти листы на открытых кострах, чтобы ртуть испарилась и остался только тонкий слой золота. И так по нескольку раз. Трудно даже представить, сколько людей погибло в результате отравления ртутью, но кто тогда обращал на это внимание!

От такого дикого способа золочения со временем отказались, однако амальгамирование как метод извлечения золота, рассыпанного мельчайшими зернами в породах, работает до сих пор. Кустарная и мелкомасштабная золотодобыча по всему миру потребляет очень много ртути. И неудивительно: эта отрасль дает 500—800 тонн золота в год, или 20—30% мирового производства драгоценного металла. Согласно данным Глобального проекта по ртути, выполненного ЮНИДО (Организация объединенных наций по промышленному развитию) и Глобальным экологическим фондом, в эту деятельность прямо или косвенно вовлечены не менее 100 миллионов человек более чем в 70 странах (главным образом в Африке, Азии и Южной Америке) — они живут на доходы от этого бизнеса. Непосредственно в такой добыче золота участвует около 10—15 миллионов старателей, включая 4,5 миллиона женщин и один миллион детей.

В результате на этих промыслах потребляется и рассеивается около тысячи тонн ртути в год. Конечно, существуют более эффективные технологии с применением цианидов, они работают на крупных золотодобывающих предприятиях. Впрочем, цианид тоже не подарок. Вспомним хотя бы не столь давнюю



## ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

историю с Иссык-Кулем. 20 мая 1998 года из-за дорожно-транспортного происшествия в реку Барскун, впадающую в Иссык-Куль, свалилась машина с бочками с цианидом натрия. Его везли на рудник «Кумтор», где добывает золото канадская компания «Centerra Gold Ltd.». Конечно, не все 20 тонн химиката растворились в воде, все же он был упакован. Но заметная его часть из разрушенной упаковки растворилась и очень быстро оказалась в знаменитом озере со всеми вытекающими последствиями.

Еще один крупный потребитель ртути — это химическая промышленность, а точнее, все мы, поскольку химпром работает для нас. Сегодня уже во многих домах и квартирах в России установлены стеклопакеты из поливинилхлорида (ПВХ), одного из самых массовых полимеров в мире, спрос на который растет каждый год. А для получения исходного мономера, винилхлорида, по классическому методу нужен хлорид ртути. Напомню, что винилхлорид образуется при взаимодействии ацетилена и хлороводорода в присутствии катализатора — активированного угля, основательно пропитанного двуххлористой ртутью (HgCl<sub>2</sub>).

Разумеется, есть новые, более современные технологии получения винилхлорида — без ртутных солей, например сбалансированный по хлору метод на основе этилена. Тем не менее старый классический способ по-прежнему работает, причем в Китае, что вполне объяснимо. У Китая недостаточно своих нефти и газа, зато много дешевого угля, который и служит сырьем для большой химии. Получать ацетилен из угля довольно просто, метод стар как мир: кокс сплавляют с известняком, получают карбид кальция, а затем его гидролизуют. Что называется, «просто добавь воды» и посмотри на результат.

На производство винилхлорида в 2007 году Китай использовал до тысячи тонн ртути. А сегодня европейские конкуренты начинают выказывать обеспокоенность тем, что Китай производит эту продукцию на экспорт по очень низкой цене за счет технологии, которая уже неприемлема по экологическим соображениям в других регионах мира.

Третье место в мире по потреблению ртути занимает хлорно-щелочное производство. В сущности, речь идет о производстве хлора, побочным продуктом которого становится щелочь (каустик). Около 95% всего хлора в мире производят электролизом хлоридов щелочных металлов, а именно обычной поваренной соли, которая есть на каждой кухне (NaCl). Этот метод придумали в конце XIX века, и он успешно работает до сих пор. Проблема в том, что в электролизерах используют ртутный катод. Именно на нем образуется амальгама натрия. В отдельном аппарате ее обрабатывают водой и получают очень чистый NaOH и чистую ртуть, которая вновь идет в производство. Но потери ее неизбежны. Кстати, в США хлорно-щелочная промышленность по закону обязана извлекать всю ртуть из отходов с высоким ее содержанием. И надо сказать, у них получается. Многие предприятия постепенно отказываются от этого метода и переходят на более энергоэффективную безртутную мембранную технологию, другие — планируют такой переход. Но пока проблема остается. Во всяком случае, еще недавно эта отрасль потребляла до 500 тонн ртути в год.

Ртуть и ее соединения используют во множестве устройств, в том числе в батареях и батарейках. Скажем, аккумулятор таблеточного типа, который мы вставляем в часы, содержит до 2% ртути. Китай, основной производитель этих товаров, переходит на изделия с низким содержанием ртути. Но объемы их производства — десятки миллиардов штук в год! Поэтому потребности в ртути для этих товаров пока измеряются сотнями тонн в год.

Этот перечень можно продолжать очень долго. Пары ртути содержатся в люминесцентных лампах (от нескольких миллиграммов до десятков и сотен в каждой лампе). Например, в среднем, в обычной трубчатой лампе отечественного производства — 52 мг ртути, в компактной — 5 мг. Учитывая огромные масштабы их производства, представьте себе, сколько ртути из отработавших ламп оказывается в помойках и на свалках. Ртуть используют в разного рода измерительных и электронных приборах. Барометры и манометры до середины прошлого века работали на ртути, а ртутные вакуумные насосы были основными источниками вакуума. Впрочем, и сейчас такие установки можно встретить в научно-исследовательских лабораториях. А еще — герметичные переключатели, датчики положения, тяжело нагруженные гидродинамические подшипники, полупроводниковые детекторы радиоактивного излучения, различные сплавы, ультрафиолетовые лампы, гремячая ртуть, реактив Нессле-

ра для количественного определения аммиака... С помощью ртути делали зеркала и фетровые шляпы (выделка фетра), компоненты красок и составы для протравливания семян. И конечно, обширное поле приложения для ртути, придуманное человеком, — медицина.

Наверное, первым, кто применил ртуть в натуральном виде для излечения, был некий древний врач, который заставил пациента выпить стакан ртути, чтобы не допустить заворота кишок. Возможно, это легенда. Но вот что известно точно. Пятьсот лет назад знаменитый врач и алхимик Парацельс лечил своих пациентов от сифилиса втиранием ртутных мазей в ноги. Надо сказать, что препараты ртути для этих целей после Парацельса применяли еще 450 лет, в Советском Союзе — вплоть до 60-х годов XX века. И даже пытались лечить парами ртути, на время помещая пациента в камеру с соответствующей атмосферой. Смертность была, мягко говоря, высока.

Тем не менее ртуть в медицине осталась. Это не только градусники, каждый из которых содержит до 2 г жидкого металла, и приборы для измерения давления. Ртуть сохранила свои позиции и в лечении онкологических заболеваний как фармакологическое средство, и в стоматологии как компонент пломб для зубов.

## Опасность

О том, что ртуть опасна, знают все. Хотя, казалось бы, какой может быть вред от стакана ртути, если, конечно, ее не принимать внутрь. Но вред есть, потому что ртуть непрерывно испаряется даже при обычных условиях. На дневном свету эти пары невидимы глазу. Но стоит колбу с жидким металлом подсветить ультрафиолетом, как на тени, отбрасываемой колбой на стенку или лист белой бумаги, мы увидим темный «дым», поднимающийся из сосуда.

Вообще, ртуть всегда присутствует в атмосфере. Даже во льдах доиндустриальной эпохи в каждом литре содержится около 4 нанограммов этого металла. В атмосфере ее содержание меньше — до 1,2 нанограммов в кубическом метре. Это средние величины, и понятно, что в районах ртутных и газовых месторождений, вокруг предприятий, производящих и потребляющих ртуть, ее концентрация может быть в сотни и тысячи раз больше.

Помимо естественной дегазации Земли свою лепту вносят и вулканы. На долю источников естественного происхождения приходится половина ртути в атмосфере. С этим количеством можно жить. А вот вторая половина — дело рук человеческих. Сжигание угля на тепловых станциях, добыча золота, выплавка цветных металлов, производство

цемента, утилизация мусора и многое другое вносят свой вклад в баланс ртути в атмосфере.

Ртуть из атмосферы выпадает на Землю вместе с осадками. Причем выпадает в любом уголке Земли, в том числе и там, где нет никаких вредных производств. Поэтому проблема действительно глобальная.

Еще в давние времена знали, что работать с ртутью и ее солями опасно, будь то добыча металла, производство фетра для шляп или зеркал. На том самом руднике в Альмадане работал специальный госпиталь для шахтеров. Стены одной из комнат, которую шахтеры называли пляжем, были увешаны мощными лампами, а на полу нарисована кольцевая дорожка. Как только у шахтера появлялись первые признаки отравления — начинали дрожать руки и ноги, его сразу отправляли в этот госпиталь. Шахтер полностью раздевался, ходил по кругу под жарким светом ламп и нещадно потел, что, собственно, и требовалось: вместе с потом из организма выходила ртуть.

Те, кто многие годы работал с ртутью, знал, что дрожь, потеря зубов, нарушения походки, психические расстройства — это все от нее, от ртути. От отравлений страдали даже английские полицейские: краска для снятия отпечатков пальцев, которой они пользовались, тоже содержала ртуть. Впрочем, к этому относились как к профессиональному заболеванию и постепенно научились принимать необходимые меры предосторожности. Однако события 1953 года в Японии ясно дали понять, что одними профессиональными заболеваниями, которые можно контролировать и предупреждать, дело не ограничивается. На карту поставлены жизни совершенно непричастных людей.

В 1953 году рыбаки из маленького японского городка Минамата на острове Кюсю и окрестных деревень стали жертвами таинственной и страшной болезни: нарушение психики, затруднение речи и походки, летальный исход в каждом третьем случае. Анализ обитателей моря и обследование пострадавших показали, что в их организмах содержится чрезвычайно много ртути: 24 мг/кг в живущих около берега мелких крабах, 144 мг/кг в почках больных. Значит, беда пришла из моря. Это косвенно подтверждал интересный факт, что у кошек из прибрежных деревень наблюдались те же симптомы.

Быстро нашли и причину загрязнения — сточные воды крупнейшего и старейшего промышленного предприятия города «Chisso», которое работало здесь с 1908 года. Предприятие выпускало удобрения, химические полупродукты, пластики и синтетические волокна.

Таблица 1  
Эмиссия ртути в России  
по основным группам источников загрязнения в 2005 году

Группа источников	Эмиссия в атмосферу		Ртуть в отходах на свалках		Механические потери ртути	
	Тонны	Доля, %	Тонны	Доля, %	Тонны	Доля, %
Целенаправленное применение ртути	4,9	13	47	48	57,7	100
Ртуть в качестве примеси в сырье	30	77	21	21		
Переработка отходов	4	10	30	31		
Итого	39	100	98	100	57,7	100

Примечание. Таблицы взяты из статьи О.Ю.Цитцер «О проблемах ртутного загрязнения в Российской Федерации и мерах по их разрешению» («Экологический вестник», 2013, № 8)

Таблица 2  
Целевое использование ртути в России по отраслям, тонн/год

Отрасль	Потребление ртути	Выбросы ртути в атмосферу	Ртуть в отходах на полигонах
Хлорно-щелочное производство	103	1,2	39
Производство ВХМ	7,5	0,02	0,0
Добыча золота с применением амальгамации	5,5	3,1	1,1
Производство термометров	26	0,009	0,1
Производство источников освещения	7,5	0,15	0,001
Другие области использования	5,8	0,06	2,4
Всего	155	4,5	43

Примечание. В целом в 2005 году в мире было получено и использовано 2560–3380 тонн ртути.

Примерно за год до появления первых случаев отравления завод приступил к массовому производству ацетальдегида и винилхлорида, используемых при производстве пластических материалов. В качестве катализаторов применяли соединения ртути, а загрязненные ею сточные воды сбрасывали в залив. Ртуть накапливалась в тканях рыб и крабов, а затем попадала в организмы людей.

Нельзя сказать, что для жителей Минаматы это было полной неожиданностью. Уже в 20–40-е годы было ясно, что завод плохо влияет на окружающую среду: в частности рыбы, основной пищи местных жителей, становилось все меньше. Местные рыбаки неоднократно подавали жалобу на компанию «Chisso» и дважды получали компенсацию — в 1926 и 1943 году.

Трагедия Минамата повторилась в 1964-м в городе Ниигата, на острове Хонсю. После этого японское правительство учредило специальное агентство по борьбе с промышленными стоками. Жить стало безопаснее.

В то же самое время в Швеции начали исчезать птицы. И здесь причину выяснили достаточно быстро — семена, которые шведские фермеры протравливали соединениями ртути. Впрочем, отказываться от них фермеры не желали — бог с ними, с птицами, зато урожаи высокие.

Но гром все-таки грянул. Выяснилось, что шведские сельскохозяйственные продукты, в том числе мясо, содержат в два — четыре раза больше ртути, чем производимые в Дании и других европейских странах, где ртутные протравы не применяют. Меры приняли: в 1966 году шведское правительство запретило использовать ртутные протравы. И сразу после этого содержание ртути в шведских продуктах упало до уровня других европейских стран, а птицы вернулись в те районы, где они совсем или почти исчезли.

В 1969 году нечто подобное произошло в США: из торговой сети было изъято 12,5 миллионов банок консервированного тунца, содержащего ртуть. Тогда-то и был установлен верхний предел содержания ртути в рыбе — 0,5 мг/кг. Министерство сельского хозяйства США также запретило использовать соединения ртути для протравливания семян. А министерство внутренних дел обследовало территории промышленных предприятий и возбудило судебные дела против девяти химических заводов, загрязнивших ртутью все вокруг. Более тридцати штатов обнаружили ртуть в своих реках и озерах, а штаты Мичиган и Огайо наложили ограничения на лов рыбы и начали искать источники ртути. Оказалось,

что в 1970 году одна только хлорная промышленность выбрасывала в окружающую среду более 450 тонн ртути в год. Два месяца спустя после судебных процессов по делам о загрязнении на 50 обследованных предприятиях сброс ртути в водоемы сократился на 86%.

На этой волне некоторые отрасли промышленности вообще отказались от использования ртути. В 1972 году Агентство по охране окружающей среды США запретило добавлять ртуть в защитные краски, предохраняющие материалы от повреждения живыми организмами. Только на эти цели шло около 350 тонн ртути в год. Впрочем, есть производства и процессы, в которых пока без ртути не обойтись.

Запреты — дело полезное и необходимое. Но еще более полезное дело — научные исследования. Все эти случаи отравления ртутью из самых разных источников поставили перед учеными много вопросов. В поисках ответа наука получила новое полезное знание о миграции и трансформации ртути в природе.

Ведь тогда, в конце пятидесятых, с историей в заливе Минамата не все было ясно. Виновника нашли — химический завод, который сбрасывал в воду отходы, содержащие ртуть. Но отравление вызывали совсем не те вещества, что попали в залив. Отравление вызывали метилртуть и диметилртуть, в изобилии содержащиеся в рыбе из этого залива. Однако именно этих веществ в отходах и не было. В чем дело?

К расследованию подключились специалисты из многих стран мира. В итоге в 1969 году шведы А.Йернелев и С.Йенсен впервые установили чрезвычайно важный факт: многие микробы, живущие в донных осадках рек, озер и морей, способны химически изменять неорганические или органические соединения ртути, превращая их в метилртуть, а затем и в диметилртуть — сильнейшие яды. Они, в отличие от неорганических соединений ртути, легче поглощаются тканями животных и человека и очень медленно выводятся из организма.

Сейчас установлено, что разнообразные бактерии могут биометилировать не только ртуть и мышьяк, но также и





теллур, таллий, золото, серу, селен, свинец, олово и кадмий. В результате некоторые из них, в частности свинец, превращаются в крайне токсичные продукты, губительные для животных уже в нанограммовых количествах.

Так было открыто новое явление — биологическое алкилирование химических элементов, присоединение к ним алкильных радикалов. А ведь еще незадолго до того ученые были абсолютно уверены, что образование природных соединений со связями «металл — углерод» невозможно!

## Ртуть в России

По данным ЮНЕП, наибольшие выбросы ртути создают Китай и Индия с бурно развивающейся экономикой. Переработка и сжигание угля в огромных количествах, производство ПВХ и различных батарей — все это вносит весомый вклад в глобальное загрязнение мира ртутью. Китай и Индия больше всего потребляют и больше всего выбрасывают опасного металла — более 1,3 тысячи тонн на двоих. Африка и Южная Америка, где неустанно добывают золото кустарным способом, тоже в лидерах.

В России ситуация поспокойнее, и в целом наши показатели выглядят скромнее (см. таблицу 1 и 2).

Больше всего ртути (но в целом не так много, потому что промышленность по-прежнему в депрессивном состоянии) сегодня в России потребляют химическая промышленность и приборостроение; электротехническая промышленность и научные исследования — на порядки меньше.

Но проблемы, безусловно, есть. Достаточно сказать, что каждый год в России разбивается девять миллионов градусников. В результате в окружающую среду попадает 18 тонн ртути (утилизируется лишь одна тонна). Но это лишь один источник. Пока что в России нет госпрограммы, которая регламентировала бы процесс утилизации ртути. Поэтому суммарно каждый год в воду и в воздух попадают десятки тонн опасного металла. А территории вокруг некоторых химических предприятий, металлургических заводов, целлюлозно-бумажных комбинатов, ТЭЦ, мест добычи золота и мусорных полигонов испытывают серьезное ртутное давление.

Все подробности об источниках и потребителях ртути в России, а также загрязненных территориях мы узнаем через два с половиной года, когда будет создан «Кадастр ртути и ртутных загрязнений». Этот проект, инициированный Минприроды РФ и поддерживаемый Глобальным экологическим фондом, стартовал летом прошлого года

## Война по правилам

Эксперты и юристы работали над текстом Конвенции Минамата более четырех лет. К январю 2013 года документ был готов и одобрен 140 странами на совещании в Женеве. В октябре прошлого года на конференции в Японии Конвенцию открыли для подписания.

Стороны, принявшие конвенцию, признают, что ртуть — опасное вещество, требующее чрезвычайной аккуратности в обращении, иначе жди беды. А где можно обойтись без нее, там лучше ее и вовсе не использовать. Потому Конвенция вводит ограничения на промышленные производства, использующие ртуть, и продукты, ее содержащие.

К 2020 году ситуация в мире должна измениться, если, конечно, будут выполнены планы, предусмотренные конвенцией. Прежде всего это касается сокращения производства ртути. Крупнейшие шахты мира в Испании, в Алжире и в Словении уже несколько лет как закрыты. Правда, совсем без ртути человечеству пока не обойтись, потому закрывать работающие шахты не стоит. А вот открывать новые Конвенция точно запрещает. Да и на старых надо потихоньку сокращать производство.

Меньшее предложение ртути на мировом рынке, безусловно, поднимет ее цену. А это и хорошо. Это означает, что кустарная добыча золота дедовским способом станет невыгодной. Так что на идею Конвенции будут работать и экономические механизмы.

К 2020 году придется отказаться от многого, что содержит ртуть, и постараться заменить его чем-то более экологичным. Во-первых, это батареи, содержащие ртуть, в том числе таблеточные аккумуляторы, которые вставляют в часы, игрушки и пульты дистанционного управления. Исключение составляют серебряно-цинковые и воздушно-цин-

ковые таблеточные аккумуляторы, в которых ртути меньше 2% и которые используют в имплантируемых медицинских устройствах. Под запрет попадают переключатели и реле, за исключением высокоточных конденсаторных мостов для измерительных приборов, если содержание ртути в них менее 20 мг на каждый мост, переключатель и реле.

Конечно, нам придется отказаться от люминесцентных ламп, включая лампы с холодным катодом и внешним электродом для электронных дисплеев, чему лично я очень рада: на мой взгляд (или ощущение, если хотите), свет в них не физиологичный, да к тому же дрожит. Нам придется забыть (если кто о них помнил) о пестицидах, биоцидах и локальных антисептиках, содержащих ртуть, а также о барометрах, гигрометрах, манометрах, термометрах и сфигмоманометрах (исключение составляют измерительные устройства, установленные на крупногабаритном оборудовании или используемые для высокоточных измерений, если отсутствуют безртутные альтернативы). Все это к 2020 году уже не сможет быть предметом производства, экспорта и импорта.

Что касается химических производств, на которых применяют ртуть и ее соединения, то Конвенция предусматривает их поэтапный вывод из обращения. Скажем, хлорно-щелочное производство с использованием ртути (в России их четыре) должно быть постепенно свернуто к 2025 году, а производство ацетальдегида, в котором ртуть или ртутные соединения работают катализаторами, — к 2018 году.

С винилхлоридом сложнее, это крупномасштабное производство, дающее людям востребованный полимер. Поэтому здесь речь идет о постепенной замене ртутного катализатора на что-то более приемлемое и, возможно, о внедрении новых технологий. Но это по указке сверху не делается. Требуются время и ресурсы.

Разумеется, документ затрагивает все вопросы, связанные с технологиями использования этого металла, его безопасным хранением, очисткой выбросов. Все предприятия, будь то производство цемента или цветных металлов, угольные электростанции, установки по сжиганию мусора, попадут под «ртутный» контроль.

Россия готовится присоединиться к Конвенции Минамата в ближайшее время. А это означает, что нашим привычным ртутным градусникам осталось жить шесть лет. Жалко, конечно, но что поделаешь, если за сотни лет человек так и не научился обращаться с ртутью. Не умеешь обращаться — не трогай.





# АНАЛИТИКА ЭКСПО

12-я Международная выставка лабораторных технологий,  
химического анализа, биотехнологий и диагностики

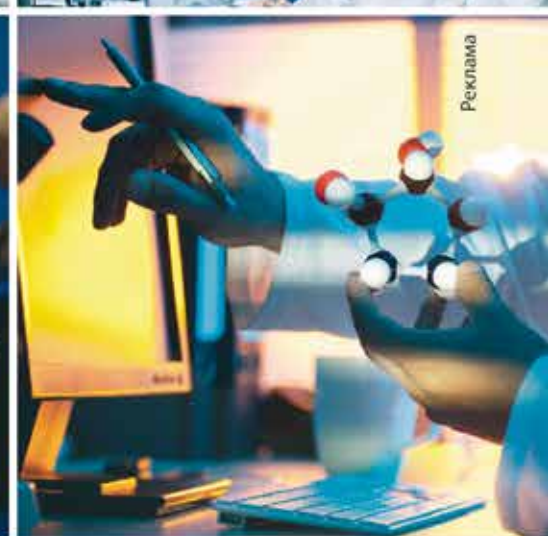
15–18 апреля 2014 года  
Москва, КВЦ «Сокольники»

Более 6000 посетителей



Забронируйте стенд на сайте

Свыше 250 участников



[www.analitikaexpo.com](http://www.analitikaexpo.com)

## ВСЁ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ И ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА!

Организатор:



В составе группы компаний ПТЕ

Тел: +7 495 935 81 00  
E-mail: [analitikaexpo@ite-expo.ru](mailto:analitikaexpo@ite-expo.ru)

Соорганизаторы:



Ассоциация Аналитических Центров



Генеральный спонсор:



# Синяя тайна третьей планеты

Небо очень черное. Земля голубая.  
Все видно очень ясно.

Юрий Гагарин. Переговоры с ЦУПом

## Золото на голубом

Почему небо у нас голубое, стало ясно в конце XIX века, после того как лорд Рэлей открыл зависимость рассеяния света от длины его волны. В соответствии с механизмом Рэля, белый солнечный свет рассеивается на мелких, меньше длины волны, неоднородностях атмосферы, вызванных тепловым движением молекул. Интенсивность рассеяния оказывается обратно пропорциональной четвертой степени длины волны света и прямо пропорциональной шестой степени диаметра такой неоднородности. Иначе говоря, чем меньше длина волны света и чем крупнее неоднородность (если при этом она остается много меньше длины волны), тем сильнее свет рассеивается. При этом, чем меньше размер неоднородностей, тем их больше. Эти-то факторы и проводят к тому, что синий свет рассеивается лучше красного или желтого. Максимум солнечного излучения как раз желтый, а к краям спектра интенсивность уменьшается. Кроме того, спектр обрезается в ультрафиолетовой области за счет поглощения озоном и кислородом. Поэтому если глядеть непосредственно на Солнце, мы видим желтый свет, мало искаженный рассеянием, а все остальное небо заполнено рассеянным синим светом. При восходе и заходе Солнце светит по касательной через толстый слой воздуха, тут заметным оказывается рассеяние желто-красных лучей, интенсивность которых в спектре больше, — Солнце выглядит красным. Напротив, в полярных областях атмосфера тоньше и северное солнце бледнее южного.

При взаимодействии с частицами, превышающими длину волны света, например с каплями воды в облаках, все лучи рассеиваются примерно одинаково, из-за этого в пасмурную погоду освещение бледнее, чем в солнечную.

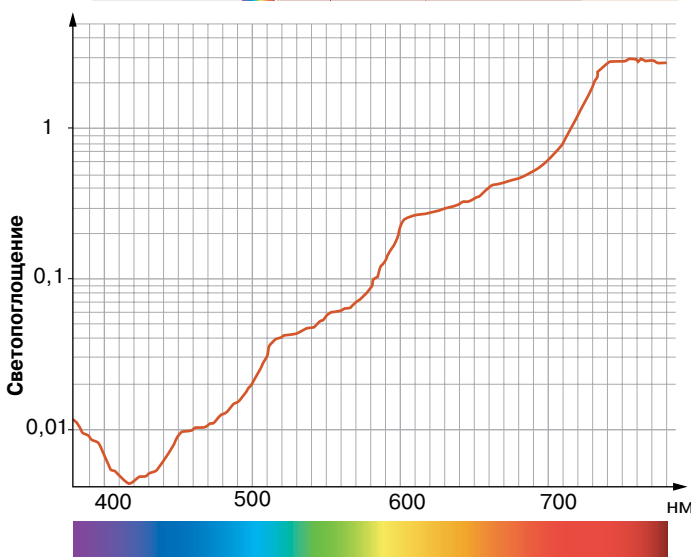
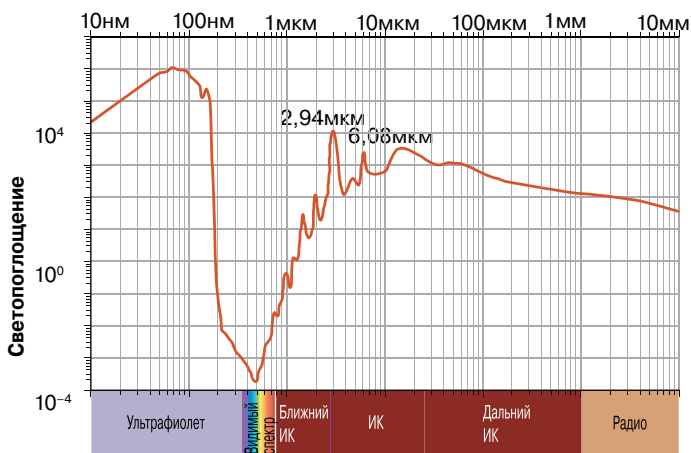
## Голубой бассейн

А голубой цвет воды также связан с рэлеевским рассеянием? Да, отчасти это так. Кроме того, в природных водоемах видно отражение синего неба. Но давайте спустимся с небес на землю и зайдем в бассейн. Представьте, что вы зритель соревнований по синхронному плаванию. Милые девушки в лазурной воде... А почему она лазурная? Бассейн-то под крышей! Небо не отражается. Опять светорассеяние? А может быть, просто кафель синий? Или краску в воду добавили? Да, так бывает, но главный трюк в другом: вода голубая потому, что она голубая!

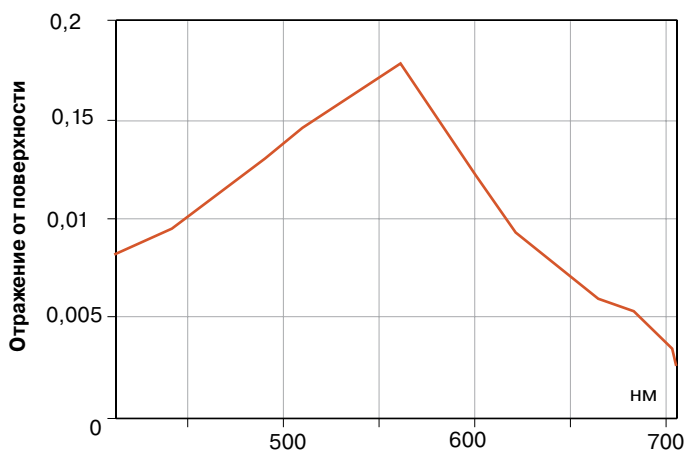
Вода, совершенно чистая и многократно дистиллированная, отнюдь не бесцветна; она по природе своей слабо окрашена — слегка поглощает красный свет и хорошо пропускает синий. Эффект этот различим, когда вода чистая, а толщина слоя больше метра. В бассейне (или даже в ванной) за счет отражения от дна достаточно и 50 см.

Конечно, разглядыванием бассейнов мы не ограничимся. На рис. 1 показан спектр поглощения воды в широком диапазоне — от жесткого ультрафиолета до высокочастотного радиодиапазона. Он получен не в один прием, а составлен по результатам работ многих авторов, использовавших подходящие для каждого диапазона приборы.

Что видно на этом рисунке? Во-первых, бросается в глаза: вода хорошо поглощает практически во всех областях за исключением узкой полосы, которая и есть привычный нам видимый свет. Ничего удивительного в этом нет, ведь глаз, как и весь наш организм, состоит преимущественно из воды, и мы видим то, что она пропускает. Понятно также, что некоторый запас по расширению видимого спектра есть главным образом в ультрафиолетовой области, при движении же в ближнюю инфракрасную поглощение растет гораздо быстрее. В самом деле, некоторые позвоночные животные и насекомые видят ультрафиолет, недоступный человеческому глазу; приспособления же для восприятия инфракрасного, то есть теплового излучения у животных обычно имеют другую «приборную основу» и с глазами не связаны. А во-вторых, минимум поглощения наблюдается именно в синей области спектра, при сдвиге же в красную область поглощение усиливается.



1 Спектр поглощения жидкой воды в широком диапазоне частот (а) и в видимой области (б)



2  
 Типичный спектр отражения морской воды в видимой области

## Аномалия ОН

Такой вид спектра поглощения кажется странным, поскольку принято считать, что в отсутствие хромофоров, поглощающих или излучающих свет определенной длины волны, он должен быть гладким, а вещество — бесцветным. Обычно хромофорами служат молекулы, в фрагментах которых есть сопряженные двойные связи, однако в воде имеются лишь одинарные О—Н-связи, то есть она должна быть бесцветной! Оказывается (как часто бывает, когда речь идет о воде, «самом необыкновенном веществе»), мы имеем дело с аномалией: высокое поглощение красного света связано с тем, что он вступает в резонанс с колебаниями О—Н-связей.

Приведем аналогию. Вот вы решили съездить на фестиваль авторской песни, пришли на вокзал с гитарой. Вдруг мимо с громким гудением пронесся поезд. В ответ на гудок некоторые струны на вашей гитаре тихонько зазвучали. Нечто подобное происходит и с поглощением водой красного света — в роли основного тона гудка выступают полосы поглощения 2,94 в инфракрасной области, связанные с симметричными и асимметричными валентными колебаниями О—Н-связей. На рис. 1а они проявляются в виде самого высокого пика посередине спектра. Есть там еще и совсем «басовитый» деформационный гудок (6,08 мкм). Гармоники этих частот — то есть, в первом приближении, результаты умножения на целое число — как раз и вызывают отклик красных «струн» видимого спектра, то есть поглощение красного света и пропускание света синего — в конечном счете это и обуславливают синий цвет воды. На рис. 1б каждая ступенька в кривой поглощения имеет свое обоснование, как гармоника основных частот ИК-спектра. (Вспомним, что чем больше длина волны, тем меньше частота колебаний, поэтому гармоники колебания соответствуют меньшей длине волны, чем у него самого.) Теми же причинами объясняется и многократно воспетая поэтами голубизна льда.

Интересно, что тяжелая вода D<sub>2</sub>O бесцветна. Валентные колебания в ней сдвинуты в область низких частот (больших длин волн), в результате и четвертые, и пятые гармоники этих колебаний не дотягивают до видимой области, а оказываются в инфракрасной части спектра.

Поглощение красных лучей характерно и для водяного пара, наличие которого в атмосфере в дополнение к светорассеянию подсинивает небо, а отсутствие — «отбеливает». Не случайно всеми любимый фильм называется «Белое солнце пустыни».

## Разноцветные воды

Вода, которую мы видим в реальной жизни, отнюдь не всегда синяя. Она бывает серой, коричневой, желтой, белой, красной, а уж зеленой — почаще, чем синей. Как объяснить этот парадокс?



Все предыдущие разделы написаны о чистой воде. Примеси обязательно придадут ей тот или иной оттенок. Например, хлор, если его используют для дезинфекции воды, делает ее желто-зеленой; при смешении с исходной синей получается зеленая окраска.

Ярко-голубой цвет могут иметь озера, питаемые как геотермальными источниками, так и ледниковыми водами. В обоих случаях окраска объясняется сильным светорассеянием на минеральных коллоидных частицах. В подземных источниках они образуются из-за того, что при высокой температуре и давлении в воде растворяется входящая в состав пород двуокись кремния. Речь идет не об образовании силикатов, а именно о простом растворении SiO<sub>2</sub>, которая первоначально находится в растворе в мономерной форме. При выходе воды на поверхность температура снижается, а двуокись кремния полимеризуется, образуя коллоидные частицы, на которых и происходит рассеяние света в полном соответствии с законом Рэлея.

В ледниковых водах коллоидные частицы образуются при механическом перетирании камней в тонкую пыль — многометровая толща ледника тащит за собой множество камней, которые под огромным давлением трутся о скальное ложе. Растаявшая вода вытекает из-под ледника и несет с собой эти частицы в озеро.

И все же наибольший вклад в цвет природной воды вносит не физика, а биология. Точнее говоря, некоторые биологические объекты и образуемые ими органические вещества. Голубые киты и голубые акулы воду не окрашивают, а вот у одноклеточных водорослей это получается гораздо лучше. На рис. 3 показан полученный из космоса типичный спектр света, отраженного от океанской воды. Хорошо заметный горб в зеленой области связан прежде всего с присутствием в воде хлорофилла.

Вообще, наблюдение за водными поверхностями из космоса в различных диапазонах спектра — исключительно интересный и эффективный метод, позволяющий узнать многое о физическом состоянии воды, ее чистоте и биологической продуктивности. Спутниковые данные помогают определить, какие вклады в окраску вносят различные присутствующие в воде соединения — белки, «желтое вещество», которое образуется при распаде растений, и все тот же хлорофилл. Кроме того, отраженный от воды свет еще и поляризован.

Возвращаясь к «синей планете», нельзя не отметить, что цветовое восприятие нами земной атмосферы и воды связано еще и с особенностями нашего зрения. Например, в результате светорассеяния небо должно быть не голубым, а фиолетовым, так как фиолетовые лучи имеют меньшую длину волны и, соответственно, рассеиваются сильнее, чем голубые. Это так и есть «с точки зрения» спектрографа, но человеческий глаз лучше всего воспринимает зеленый цвет и совсем плохо — находящиеся по краям видимого диапазона фиолетовый и красный. Поэтому видимые нами цвета — некий «компромисс восприятия». Все мы похожи на жителей Изумрудного города, носящих зеленые очки, поэтому никогда не называем свою планету фиолетовой или красной, а только зеленой и голубой.

Доктор химических наук  
**В.Ю. Введенский**

# Проверка эффекта Мпембе

В декабрьском номере за 2006 год мы опубликовали очередное сообщение об эффекте Мпембе, суть которого состоит в том, что горячая жидкость в холодильнике замерзает быстрее, нежели холодная, и предложили читателям провести опыты с разными жидкостями. Вдруг кому-то удастся наблюдать то же, что видел африканский школьник, который в 1963 году именно из горячего молока раньше всех получил мороженое во время выполнения лабораторной работы. Никто не откликнулся: видимо, эффект представлялся абсурдным. Но вот спустя восемь лет нашелся-таки в городе Кулебаки Нижегородской области человек, который провел эксперименты с чистой водой. Публикуя их описание, мы надеемся, что история получит продолжение и нам все-таки удастся узнать о результатах опытов с другими жидкостями: с чаем, кофе (системы с низкомолекулярными разветвленными полимерами — полифенолами), молоком (система с коллоидными частицами), маринадом (слабый раствор кислоты), вином (слабый раствор спирта и полифенолов) — в общем, со всем тем, что есть под рукой и не требует специального холодильного оборудования. Водка, например, замерзает лишь при охлаждении ниже  $-25^{\circ}\text{C}$ ...

Время замерзания холодной и горячей воды было изучено в четырех повторностях, при разных температурах. Первый эксперимент состоялся 25 января 2014 года, когда за окном было  $-23^{\circ}\text{C}$ . Через 30 минут после того, как две кружки, с холодной и горячей водой, были выставлены за окно, в первой появились признаки кристаллизации. Через 70 минут кристаллизация началась и в горячей воде, холодная же покрылась льдом. Через два часа в кружке с холодной водой поверхность потрескалась и стала бугристой; в кружке с горячей водой был ровный прозрачный лед. Вскрытие показало, что внутри осталась вода, при этом льда из холодной воды получилось 248 граммов, а из горячей — 94 грамма.

В следующем опыте надо было добиться полного замерзания в обоих сосудах. Его проводили 28 января 2014



ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ

года при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  в солнечный и безветренный день. В этот раз за окно выставляем одинаковые стеклянные пузырьки из-под пенициллина, купленного в аптеке в один и тот же день, закрытые полиэтиленовыми крышками. Предполагается, что из-за расширения воды при замерзании они треснут по достижении одинакового давления, при этом объемы замерзшей воды будут в общем-то одинаковы с учетом точности проводимых опытов.

Первые трещины в пузырьке с холодной водой появились через 45 минут, а в пузырьке с горячей водой — через 57 минут, то есть явно дольше. Опять парадокса нет.

29 января 2014 года. Набираем статистику и стандартизируем условия опыта. Температура  $-21^{\circ}\text{C}$ , солнечно, легкий ветерок. Пузырьки стеклянные, но открытые (то есть из них вода могла испаряться; это было одним из аргументов сторонников существования эффекта Мпембе. — *Примеч. ред.*). Из кипящего чайника наливаем воду в чашку и остужаем до  $50^{\circ}\text{C}$ , окунаем туда пузырьки (оба, чтобы прогрелись и не лопнули при наливании кипятка). Чайник продолжает кипеть.

В один пузырек наливаем воду с температурой  $+50^{\circ}\text{C}$ ; из кипящего чайника наливаем второй пузырек; ставим в чашку с водой  $+50^{\circ}\text{C}$ , выносим на балкон, вынимаем из чашки и устанавливаем пузырьки на металлический поручень. На четырнадцатой минуте в пузырьке с кипятком выпадают кристаллы льда: такое

впечатление, что пузырек замерз весь, но это скорее начало кристаллизации вдоль стенок. В пузырьке с теплой водой мутный лед намерзает от дна. На 34-й минуте появились первые трещины в пузырьке с теплой водой, на 45-й минуте первые трещины в пузырьке с бывшим кипятком.

Повторение последнего опыта 9 февраля, когда температура на улице повысилась до  $-1^{\circ}\text{C}$ , дало тот же результат. Единственное, что изменилось, — время замерзания: пузырек с теплой водой лопнул спустя 7 часов 5 минут, а с кипятком — на 25 минут позже.

Таким образом, все три опыта свидетельствуют: только теплоемкость воды и ее начальная температура определяют время замерзания! Эффекта Мпембе нет.

Для того чтобы наблюдать подобный эффект, нужно ускорить кристаллизацию в емкости с кипятком и/или замедлить в другой. Это возможно с газированной (дегазированной) или соленой водой. Схема опыта такая: в первой емкости жидкость греем до  $+35^{\circ}\text{C}$  — получаем одно содержание солей и газов; во второй емкости кипятим такую же воду, и при кипячении газ удаляется, то есть его микропузырьки кристаллизации уже не помогают, а соль выпадает в осадок или образует взвесь, создавая дополнительные центры кристаллизации. Остается подобрать правильную соль. Только в этом случае место так называемого эффекта Мпембе не в науке, а среди фокусов.

**В. В. Севостьянов**



## Общая черта

**Алексей  
Лисаченко**

**З**абирали по ночам: тихо, деликатно, не беспокоя соседей, всегда — целыми семьями. Просто утром квартиры стояли пустые, с распахнутыми настежь дверями, и кого-нибудь недосчитывались: астрофизиков и слесарей, летчиков и дошкольников, пастухов и профессоров консерватории, домохозяек и академиков. Возвращались единицы, с головной болью, провалом в памяти и справкой: взяли по ошибке, приносим извинения, память скорректирована из соображений планетарной безопасности.

Почта захлебывалась доносами. Люди не могли дышать спокойно: у одних поселился внизу живота холодный ужас, сдавил дыхание, рвотно подкатываясь к горлу; другие воодушевленно строчили — на начальника, чье место неплохо бы занять, на соседа, чьи дети слишком громко кричат, на девушку, что отказала; третьи писали

на вторых, чтобы успеть первыми. Шушукались: «Пять раз написала, а его все не берут. — А ты о чем? — Что крадет. — Дура, надо, что ругает Мировой совет...» Прислушивались к лифтам, к шагам за дверью.

Потом вдруг все кончилось — забирать перестали, а через четыре года солнце планеты вспыхнуло, превращаясь в сверхновую. Сорвало и унесло прочь атмосферу, мелкими лужицами выкипели океаны, ничего не поняв, сгнули города. Сгорели члены Мирового совета, до последнего вглядываясь в небо: к этому времени шесть космических кораблей, шесть огромных ковчегов — все, что смогли успеть, — ушли от взрыва на безопасное расстояние. Они летели к далеким звездам, а на борту спали в анабиозе миллионы людей: астрофизики и слесари, летчики и дошкольники, пастухи и профессора консерватории, домохозяйки и академики. Очень разные люди с единственной общей чертой: никто из них ни разу не написал доноса.



НАНОФАНТАСТИКА



# Яды против ионных каналов

Доктор биологических наук

**Д. Б. Тихонов,**

заведующий лабораторией биофизики

синаптических процессов,

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН

Яды природного происхождения — необыкновенно интересный объект для исследований. Только в последние десятилетия стало известно, какие удивительные молекулярные конструкции создала эволюция, чтобы сделать смертельно опасными маленьких лягушек из колумбийских лесов или рыбу фугу. Растительных, животных и бактериальных токсинов известно огромное количество — пожалуй, в этой области биохимия посрамит неорганическую химию, да и решения проблемы нейтрализации врага, представленные живой природой, гораздо изящнее. Остановимся на нескольких, объединенных общей мишенью — все они воздействуют на потенциал-управляемые натриевые каналы в мембранах нервных клеток.

## Немного о мишени

Потенциал-управляемые натриевые каналы — ключевой элемент нервной системы животных. Когда нейрон находится в состоянии покоя, на его мембране (представляющей собой конденсатор) за счет работы специальных систем поддерживается определенный электрический потенциал. В это время натриевые каналы закрыты. Когда же происходит деполяризация мембраны, они реагируют на падение мембранного потенциала и открываются (отсюда название «потенциал-управляемые»; бывают и другие каналы, например лиганд-управляемые, которые открываются или закрываются в ответ на присоединение определенной молекулы). Ионы  $\text{Na}^+$  текут внутрь клетки, перенося положительный заряд с внешней стороны на внутреннюю, — потенциал покоя сменяется потенциалом действия.

Генерация и распространение потенциала действия — основа работы всей нервной системы, и главная роль здесь принадлежит именно потенциал-управляемым натриевым каналам. Понятно, что один из самых быстрых и эффективных способов нейтрализовать врага состоит в том, чтобы нарушить деятельность его нервной системы. Поэтому натриевые каналы — прекрасная мишень для разнообразных токсинов.

Ионный канал — это белковая молекула, пронизывающая липидный бислой клеточной мембраны. Как и многие другие белки, канал «собирается» из двух больших доменов — блоков, отвечающих за основные функции. У каналов обычно бывает не меньше двух доменов: один формирует собственно

пору в мембране, а другой реагирует на внешние воздействия и управляет открытием и закрытием поры. Сборка сложных белков из таких больших блоков обеспечивает широкие возможности их молекулярной эволюции. Другой типичный прием эволюции — создавать семейства гомологичных (то есть имеющих одно происхождение и общую принципиальную структуру) белков. По-разному изменяя свойства «прототипа», природа получает сходные белки с различной специализацией. Так, потенциал-управляемые натриевые каналы гомологичны ряду других каналов — прежде всего, потенциал-управляемым калиевым и кальциевым каналам. Различаются они главным образом конструкцией «селективного фильтра» — узкого участка поры, где на основе тонких молекулярных взаимодействий происходит отбор ионов, для которых канал проницаем.

Первые детальные сведения об устройстве каналов этого семейства, — результаты рентгеноструктурного анализа для калиевых каналов бактерий — были опубликованы в 1998 году. Руководитель работы, Родерик Маккиннон из Рокфеллеровского университета в Нью-Йорке, стал нобелевским лауреатом по химии всего через пять лет, в 2003-м, — настолько очевидно было научному сообществу значение этих результатов. Без преувеличения, они открыли новую эру в понимании устройства и функций ионных каналов.

Практически все структурные элементы канала могут стать мишенями токсинов. Мы расскажем только о трех типах токсинов, которые воздействуют на пору натриевых каналов. Тетродотоксин рыбы



*Строение натриевого канала бактерии *Arcobacter butzleri* (Horn R., «Nature», 2011, 475, 305–306).*

*Каналы имеют тетрамерную структуру — четыре отдельные субъединицы или четыре повтора в одной белковой цепи формируют пору в центре (а). На периферии расположены управляющие домены; в них находятся сенсоры потенциала, которые несут положительный заряд и смещаются в мембране при изменении электрического поля. Наиболее узкую часть канала — селективный фильтр — образуют Р-петли, а в нижней части (ближней к внутренней стороне мембраны) расположены «ворота» (б). Когда внутренние спирали прямые и сложены в «плетенку», канал закрыт, а при активации они отгибаются в стороны, образуя открытый вестибюль канала, пропускающий ионы*

фугу, конотоксины моллюсков *Conus* и батрахотоксин лягушек-листолазов — три независимые «военные разработки», решающие одну и ту же задачу.

Прежде чем перейти к тому, как действуют токсины (а «механику» их работы мы будем описывать достаточно подробно, иногда с разрешением до атомарного), сделаем еще одно отступление. Откуда эти сведения берутся? Кажется, что в XXI веке можно «просто посмотреть», то есть получить рентгеновскую структуру канала в комплексе с токсином. Но не тут-то было. Проблема в том, что каналы не относятся к водорастворимым белкам: они существуют внутри мембраны, при этом наружная и внутренняя части находятся в водной среде. Получение кристаллов для таких белков — неимоверно трудная задача, а нет кристаллов — нет и

рентгеноструктурного анализа. Хотя со времен прорыва, осуществленного Маккинном, появилось довольно много рентгеновских структур каналов, в общем виде задача далека от решения. Каждая новая структура — плод многолетних методологических ухищрений и ценится буквально на вес золота. В частности, для интересующих нас (в том числе и по практическим нуждам) потенциал-управляемых каналов позвоночных таких структур не было и нет. Тем более, увы, в комплексах с токсинами...

Имеющиеся у ученых данные собраны буквально по крупицам. Прежде всего это результаты огромных усилий нейрофизиологов, которые описывают действие токсинов на клетку и организм — конечный эффект заметить нетрудно, но необходимы специальные эксперименты, чтобы понять, что именно пошло не так, когда сработал токсин. Затем это работа нейрохимиков и фармакологов, которые выясняют, как зависит действие токсинов от их структур. Дальше приходит черед молекулярных биологов — они получают мутантных подопытных животных, чтобы показать, каким образом та или иная мутация изменяет чувствительность к яду. (Конечно, устойчивые к ядам особи и даже виды могут

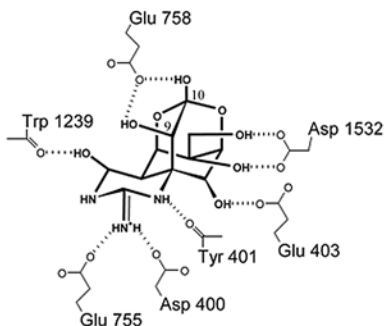
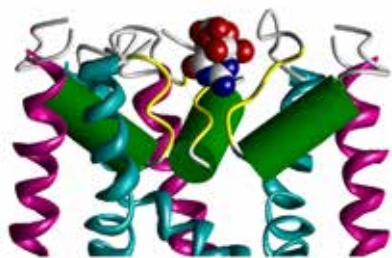
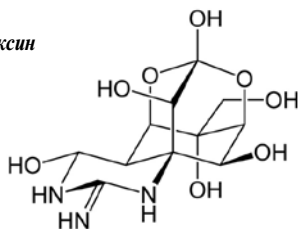


ЖИВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ



Моллюск *Conus textile* и структура конотоксина. Справа — конотоксин в канале; в отличие от тетродотоксина, он прикрывает канал сверху

Тетродотоксин



Подобно пробке, тетродотоксин входит во внешний вестибуль натриевого канала. При этом каждая его активная группа взаимодействует со своим аминокислотным остатком (см. нижний рисунок)

встречаться и в природе: в эволюции всегда есть место «гонке вооружений».) Если знать, какой аминокислотный остаток в каком участке белка заменен у животного, устойчивого к токсину, можно заключить, что с этим участком токсин и связывается. Для воссоздания структурной картины действия ядов используют данные по рентгеноструктурному анализу родственных белков, близких по строению. Занимаются этим теоретики, разрабатывающие молекулярные модели и пытающиеся уложить весь набор разнородных данных в единую концепцию. К этим последним принадлежит и автор статьи.

### Тетродотоксин как пробка

Рыба фугу — японский деликатес, популярный у любителей острых ощущений. «Хочешь есть фугу — напиши завещание», «Кто ест фугу, тот глуп, и кто не ест, тоже глуп»... Фугу делают из нескольких видов рыб семейства иглобрюхих (*Tetraodontidae*). Не все иглобрюхие ядовиты, и даже внутри опасного вида возможны вариации по этому показателю — так, менее ядовитых рыб можно получить в аквакультуре, контролируя их диету. Тем не менее готовить рыб фугу разрешено только поварам, имеющим специальные сертификаты. Малейшее нарушение

технологии, и гурман, получив порцию тетродотоксина, умирает. Это не шутки: каждый год происходит по несколько таких случаев.

Тетродотоксин — один из самых высокоактивных токсинов в природе. (Справедливости ради, в последние годы среди ученых крепнет убеждение, что тетродотоксин вырабатывают не сами рыбы, а бактерии рода *Vibrio*, обитающие в их организме.) Естественно, изучению того, как и где эта сложно устроенная молекула связывается с натриевым каналом, посвящено множество работ, выполненных на протяжении нескольких десятилетий. Однако более-менее разобраться в этом вопросе удалось сравнительно недавно. Тетродотоксин связывается во внешнем вестибуле канала, аккуратно там, где расположен селективный фильтр. Если использовать не вполне научную терминологию, то данное действие можно уподобить затыканию бутылки пробкой. Да и коническая форма молекулы тетродотоксина наталкивает на такую аналогию.

Чтобы понять причины необычайно высокой активности тетродотоксина, надо приглядеться к самой молекуле. Она сравнительно небольшая, но имеет жесткий каркас, который «декорирован» большим числом функционально активных групп. Поразительно, но, по

данным экспериментов, КАЖДАЯ из них имеет специфического «ответчика» в поре (см. рисунок). При этом сама геометрия тетродотоксина практически идеально соответствует воронкообразной структуре внешнего вестибуля канала. Малейшие изменения в структуре токсина или канала нарушают химическую комплементарность и приводят к резкой потере активности.

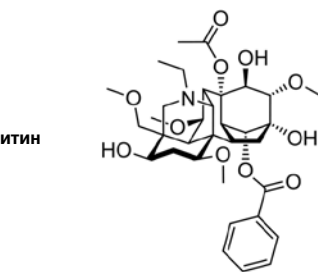
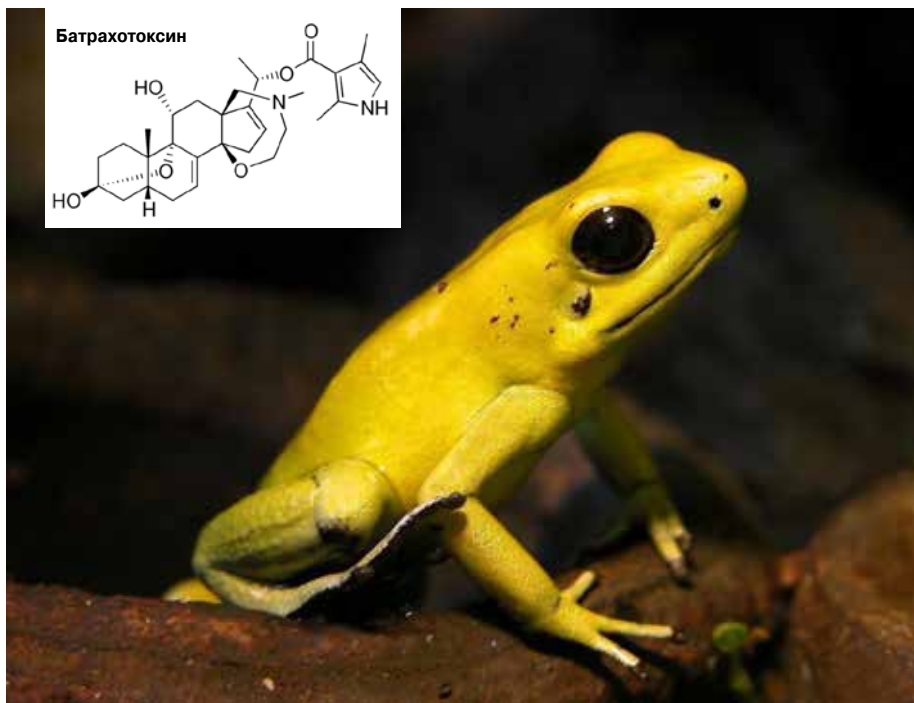
## Конотоксин как крышка

Молекулы совершенно иного типа — конотоксины, которые синтезируют хищные брюхоногие моллюски рода *Conus*. Как и многие другие ядовитые существа, конусы очень красивы, их крупные гладкие раковины покрыты замысловатыми узорами. Яд помогает им добывать пищу: конусы выбрасывают особый вырост ротового аппарата, как гарпун с отравленным наконечником, и поражают им других моллюсков или рыб. Но их яд весьма опасен и для человека.

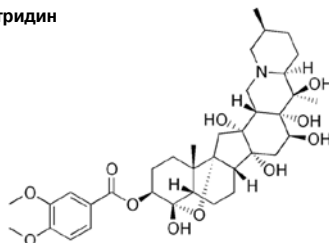
Конотоксины — пептиды, как правило, с несколькими цистеиновыми S-S-мостиками, которые обеспечивают более или менее жесткую укладку аминокислотной цепочки. При этом если тетродотоксин — это одна высокоспецифическая молекула, то конусы производят множество пептидных токсинов, принадлежащих к разным семействам и атакующих различные мишени.

Те из них, которые воздействуют на потенциалуправляемые каналы, — так называемые мю-конотоксины — также высокоспецифичны. Они связываются в том же внешнем вестибуле натриевого канала, что и тетродотоксин. Но размеры у них совершенно другие — пептидный токсин внутрь узкой части канала пройти не может, поэтому он садится на канал сверху. Продолжая нашу аналогию, это уже не пробка, а крышка.

Однако пептидные токсины (в отличие от тетродотоксина) обладают известной гибкостью. Плотнo прижать такую крышку, чтобы даже маленький ион натрия не проскочил, невозможно. Поэтому конотоксины реализуют иную стратегию для блокирования канала. Чтобы войти в его узкую часть, положительно заряженный ион натрия должен взаимодействовать там с отрицательно заряженными остатками аспартата и глутамата. Такие взаимодействия позволяют иону избавиться от «шубы» из молекул воды. Именно на аспартаты и глутаматы внешнего вестибуля охотится конотоксин. У него много положительно заряженных остатков лизина и аргинина. Эти остатки, как щупальца



**Вератридин**



осьминога, опускаются на вестибуль канала и связывают необходимые для прохождения натрия остатки аспартатов и глутаматов. В результате канал не перекрыт полностью, но все равно блокирован.

Интересно, что некоторые мю-конотоксины (в том числе искусственно созданные мутанты) не блокируют проводимость полностью, а лишь в той или иной степени ее уменьшают. Долгое время никто не понимал, как реализуется эта остаточная проводимость. Сейчас нам представляется, что если у конотоксина есть некий дефицит положительно заряженных аминокислот, то он не может иммобилизовать и нейтрализовать все необходимые для проводимости ионов натрия остатки, и там, где хотя бы один из них остается свободным, ионы



Молекула батрахотоксина сидит в канале и не дает ему закрыться, пропуская ионы натрия. Стрелкой показан ток ионов

все же могут проходить в канал.

## Батрахотоксин как распорка

Третий класс соединений, воздействующих на потенциал-зависимые натриевые каналы, представляет батрахотоксин южноамериканских лягушек листолазов (*Phylllobates*). Примечательно, что ядовитыми их делает диета: алкалоиды, необходимые для синтеза батрахотоксина, содержатся в членистоногих, которыми они питаются в природе; новорожденные листолазы и те, которые содержатся в неволе, неядовиты. Это один из сильнейших ядов: полулетальная доза, рассчитанная для употребления внутрь, — 2–7 мкг/кг (у стрихнина, например, миллиграммы на килограмм, у тетродотоксина — сотни

микрограммов на килограмм). Известны также аналоги батрахотоксина другого происхождения. Самые знаменитые из них — растительные токсины вератридин и аконитин. Как видно на рисунке, это достаточно сложно организованные органические соединения, и феноменология их действия на натриевые каналы также сложна.

Главное их отличие от рассмотренных выше тетродотоксина и конотоксинов состоит в том, что они канал не блокируют. Наоборот, связывание этих токсинов приводит к тому, что канал удерживается в открытом состоянии и непрерывно пропускает ионы. Но хотя механизм действия абсолютно противоположный, биологический эффект тот же — плачевный для жертвы. И в том и в другом случае генерация и распространение потенциалов действия становятся невозможными, поскольку нарушены механизмы нормальной, управляемой потенциалом мембраны, активации канала.

Долгое время считалось, что батрахотоксин и его аналоги действуют на канал через липидную фазу (так как они способны проникать в мембрану) и загадочным образом меняют его характеристики. Концепция эта держалась до тех пор, пока не стали доступны данные точечных мутаций. Они однозначно показали, что эти токсины должны связываться в поре ионного канала и нигде более. Что же они там делают, за счет чего свойства канала так радикально изменяются? Достаточно долго это оставалось загадкой, и ее решение впервые предложил мой коллега Б.С.Жоров.

Если мы посмотрим на пространственную структуру батрахотоксина, вератридина и аконитина, то увидим, что для них характерно наличие кислородной триады: в каждой молекуле присутствуют три атома О, расположенные определенным образом. Предполагалось, что они нужны для специфического связывания. Борис Соломонович Жоров заметил, что эти

три кислорода в молекуле токсина по геометрии точно соответствует кислородам молекул воды из первой гидратной оболочки иона  $\text{Na}^+$ .

Отсюда возникла модель, которую мы разрабатывали в дальнейшем. Суть ее в том, что молекула токсина связывается в поре канала и при этом обращает внутрь поры эти самые три кислорода. И несмотря на то что такая относительно большая молекула находится в канале, она его не перекрывает, проницаемость для ионов натрия сохраняется — можно сказать, что молекула батрахотоксина скользкая для ионов, именно за счет кислородной триады. Это предположение позволило объяснить все основные эффекты. Если снова использовать ненаучную аналогию, батрахотоксин — своего рода распорка, подобие стента, который хирург вставляет в сосуд кровеносной системы, чтобы не дать ему схлопнуться. Батрахотоксин, вератридин и аконитин садятся в канал, распирают его и не позволяют закрываться, тем самым обеспечивая непрерывный ток ионов.

На основании этой концепции было сделано несколько работ, предсказаны новые мутации, причем все наши предположения достаточно хорошо подтвердились. На сегодня это наиболее современное представление о том, как действует данный класс активаторов потенциал-зависимых натриевых каналов.

Итак, на нескольких примерах мы увидели, какими разнообразными и изощренными могут быть молекулярные механизмы действия токсинов на натриевые каналы. А это лишь несколько кусочков огромной мозаики действия токсинов на специфические белки. Многие проблемы пока еще остаются нерешенными.

## Зачем все это нужно?

Практическая польза от подобных фундаментальных исследований очевидна. Из всего объема медицинской



### ЖИВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

фармакологии порядка 10% соединений имеют мишенями именно ионные каналы. Это анестетики, анальгетики, антиаритмики и множество других классов фармакологических агентов. С блокаторами потенциал-управляемых каналов на практике сталкивался каждый, кому доводилось бывать у стоматолога. Ведь используемые для обезболивания местные анестетики — тоже блокаторы именно этих каналов. Все их отличие от тетродотоксина в том, что они действуют только в высоких концентрациях — иначе говоря, только вблизи места укола. Местные анестетики препятствуют возникновению потенциалов действия, а значит, и передаче в мозг болевых сигналов.

Современная медицина постоянно нуждается в новых активных и избирательных фармакологических агентах, чтобы по возможности минимизировать побочные эффекты применения лекарств. На разработку новых препаратов тратятся огромные деньги. Но как же искать новые вещества, если мы не знаем, каковы механизмы действия уже известных соединений? Случайный перебор слишком дорого обходится. Рациональный поиск может основываться только на глубоком научном понимании механизмов действия препаратов — во всем диапазоне от молекулы до целых организмов.



### НАУЧНЫЙ КОММЕНТАТОР

# Яду мне, яду!

На вопрос, что появилось раньше, змеи или яд, наука уверенно отвечает: змеи. У самых примитивных змей не было ни ядовитых желез, ни специального аппарата для его введения. Все это возникло позже вследствие острой жизненной необходимости. Хищнику нелегко удерживать добычу, не имея конечностей. Некоторые змеи душат ее своим телом, ужи заглатывают целиком, а многие убивают или обе-

здвиживают жертву ядом, без которого они буквально как без рук.

Змеиный яд представляет собой многокомпонентную смесь токсичных белков, которую вырабатывает ядовитая железа. И вопрос заключается в том, откуда появился этот коктейль.

В конце 1970-х годов израильский исследователь Элазар Кочва предположил, что токсины змей возникли в результате эволюционных изменений



пищеварительных ферментов поджелудочной железы («American Zoology», 1983, 23, 2, 427—430). Он отметил, что некоторые ферменты, расщепляющие сложные молекулы, встречаются не только в ядовитых железах змей, но и в поджелудочной железе и слюнных железах млекопитающих. Например, судя по анализу аминокислотных последовательностей, фосфолипазы А из ядов гадюк и аспидов родственны фосфолипазам поджелудочной железы млекопитающих. Однако, несмотря на сходство, эти ферменты не взаимозаменяемы. Если заместить фосфолипазу яда палестинской гадюки *Vipera palaestinae* аналогичным ферментом другой змеи, яд сохраняет свою летальность, но теряет ее при замене на фосфолипазу поджелудочной железы свиньи. Поскольку пищеварительные ферменты поджелудочной железы млекопитающих имеют сходство и с белками слюны, Элазар Кочва и его коллеги из университета Тель-Авива предположили, что продукция предшественников ядовитых желез предназначалась для переваривания тканей жертвы и предотвращения ее гниения, а убийную силу приобрела позже.

Для подтверждения гипотезы израильских исследователей необходимо было проанализировать геном хотя бы одной ядовитой змеи. Такую работу провел интернациональный коллектив под руководством Майкла Ричардсона, профессора Института биологии Лейденского университета в Нидерландах («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2013, 10, 20651—20656, doi: 10.1073/pnas.1314702110). Исследователи прочитали геном самца индонезийской королевской кобры *Ophiophagus hannah*, самой длинной ядовитой змеи в мире. Ученые проанализировали состав и копийность генов, работающих в ядовитых железах, белковый состав их секрета и последовательности тканеспецифичных РНК, в том числе микроРНК (миРНК). И, естественно, сравнили геном королевской кобры с известными последовательностями других позвоночных.

Оказалось, что гены, активно работающие в ядовитых железах, действительно изначально функционировали в тканях поджелудочной железы. Этот факт подтвердило и сравнение миРНК обеих желез. Крошечные одноцепочечные молекулы, миРНК, регулируют синтез белков, взаимодействуя с информационной РНК. В ядовитой железе чаще всего встречается миР-375 — каноническая миРНК поджелудочной железы позвоночных, в том числе человека. У мышей, цыплят и рыбки данио экспрессия миР-375 ограничена поджелудочной железой и гипофизом, а у кобры она регулирует и работу генов ядовитой железы, причем независимо от других тканей.

Путь от пищеварительного фермента к токсину начинается с дубликации гена, то есть увеличения числа его копий. После дубликации одна копия продолжает выполнять исходную функцию, а другая эволюционирует и приобретает новые свойства. Такое явление хорошо известно. Отбор поддерживает сохранение нескольких копий гена и возникновение нескольких форм токсина, поскольку ядовитые змеи постоянно ведут гонку вооружений со своими жертвами, вырабатывающими устойчивость к ядам.

Ядовитая железа королевской кобры синтезирует около двадцати семейств токсинов, каждое из которых представлено множеством изоформ. Чем «убийственнее» токсин, тем большее количество копий обеспечивает его синтез. Так, основное семейство летальных токсинов королевской кобры, так называемые трехпетельные токсины, которые представлены наибольшим количеством изоформ и составляют почти 67% продукции ядовитой железы, кодирует 21 копия гена. Другие важные токсины, фосфолипазу А2, металлопротеиназу змеиного яда и семейство калликреинов обеспечивают по две копии гена.

Ученые сравнили гены девяти семейств токсинов кобры с аналогичными последовательностями из геномов других ядовитых змей, бирманского питона и ящерицы каролинский анолис *Anolis carolinensis*, оценили уровень экспрессии этих генов в разных тканях

и пришли к выводу, что дубликация генов ядовитой железы и эволюция их последовательностей проходила в условиях направленного отбора, который увеличивал разнообразие токсинов, их ядовитость и уровень синтеза белка.

Дубликация генов в сочетании с положительным отбором — распространенный механизм появления белков с новыми свойствами, в данном случае пищеварительные ферменты превратились в сильнодействующие токсины. Однако не всегда яды возникают именно так.

Недавно австралийские исследователи проанализировали геном и РНК ядовитых желез одного из самых загадочных позвоночных — утконоса («Molecular Biology and Evolution», 2012, 29, 1, 167—177, doi:10.1093/molbev/msr180). У самцов-утконосов на задних лапах находятся роговые шпоры длиной около полутора сантиметров, связанные протоками с бедренной железой. В брачный сезон эта железа вырабатывает смесь токсинов, которую самцы используют в сражениях с соперниками. Если под горячую ногу попадет мелкое животное, яд утконоса его убьет. У людей укол вызывает длительные изнуряющие боли, с которыми не справляется морфин, отеки, падение артериального давления.

В геноме утконоса тоже нашлись дублицированные гены, но большинство их участвует в обмене веществ, и белки, которые они кодируют, не токсичны. А двенадцать секреторных генов ядовитой железы, кодирующих сериновые протеазы, металлопротеиназы и другие ферменты, которые вызывают признаки отравления, не дублицированы. По мнению исследователей, в образовании токсинов утконоса сыграли роль другие механизмы, возможно мутации или альтернативный сплайсинг.

Майкл Ричардсон и его коллеги предположили, что разницу в механизмах образования ядов утконоса и королевской кобры объясняет тот факт, что яд в жизни этих видов играет разную роль. Утконос использует свои шпоры для того, чтобы сделать больно сопернику и прогнать его, яд сформировался под давлением полового отбора. А змеи, которым нужно было быстро и эффективно обездвигнуть добычу, сопротивляющуюся действию яда, решали совсем другие эволюционные задачи. Более детального объяснения исследователи пока дать не могут, но мы подождем.

**Н. Л.Резник**

# Как победить аллергию за четыре инъекции

Л.П.Вязьмина

*Все знают, что в основе аллергии лежит избыточно «агрессивный» иммунный ответ. Методы лечения могут применяться к последствиям (устранять симптомы) и к причинам — воздействовать на базовые процессы аллергического иммунного ответа. Из этой статьи вы узнаете о новаторском подходе в этой области и о новой вакцине против аллергии на кошек.*

## Чем плохи IgE

Напомним основные положения. Аллерген — это антиген, вызывающий аллергическую реакцию. Антиген (сокращение от antibody-generating, «порождающий антитела») — любая молекула, которая при попадании в организм стимулирует иммунокомпетентные клетки и вызывает иммунный ответ. Как правило, антигенами бывают вещества с большой молекулярной массой, чаще всего белки.

Попавшую в организм молекулу аллергена «разрезает» на части антиген-презентирующая клетка (АПК). Получаются короткие пептидные фрагменты — эпитопы, которые размещаются на поверхности АПК в комплексе с молекулами главного комплекса гистосовместимости. В таком виде их легко распознают Т-лимфоциты, а именно Т-хелперы 2-го класса (Th2). Они секретируют сигнальные вещества — цитокины — и тем самым запускают реакции, в результате которых В-лимфоциты начинают синтезировать особые



фото: Юрий Вихулин, фотобанк Лори



БОЛЕЗНИ И ЛЕКАРСТВА

антитела — иммуноглобулины класса E (IgE). Это обозначение прекрасно знакомо аллергикам: высокий титр IgE, иными словами, повышенное содержание этих антител, — это плохо, удалось его понизить — хорошо. Что не так с этими иммуноглобулинами?

Антитела IgE связываются с рецепторами на поверхности тучных клеток слизистых и соединительных

тканей. После этого клетки готовы реагировать на аллерген, если он повторно проникнет во внутреннюю среду организма (рис. 1). Когда это происходит и аллерген связывается с антителом IgE, тучные клетки немедленно дегранулируются (разрываются) и выбрасывают медиаторы — гистамин, простагландин D2 и другие, которые при связывании с тканевыми

рецепторами запускают развитие аллергической реакции. Начинаются отеки, зуд, кашель, насморк и прочие неприятности вплоть до астмы.

## «Прививка» от аллергии

Радикальным и наиболее эффективным методом лечения аллергии в наше время считается аллерген-специфичная иммунотерапия (АСИТ). Она облегчает проявления аллергии, вызванные образованием IgE. Пациенту последовательно вводят возрастающие дозы того аллергена, к которому показана повышенная чувствительность. Принцип действия АСИТ во многом схож с вакцинацией против инфекционных болезней: он также формирует у «вакцинированного» аллергеном человека приобретенный иммунитет. Только тут он проявится в быстрой, эффективной и адекватной реакции иммунной системы при повторном контакте с аллергеном. Как и вакцинацию, АСИТ необходимо пройти заранее — до очередной встречи с аллергеном.

Механизм действия аллерген-специфической иммунотерапии до конца не ясен, но ее эффективность доказана. Известно, что она снижает уровень специфических IgE в плазме крови, предположительно за счет синтеза IgG, выполняющих роль блокаторов IgE. При этом достигнутое понижение уровня IgE сохраняется достаточно долго. Кроме того, АСИТ понижает реактивность клеток, участвующих в аллергической реакции, но при этом

вызывает иммунный ответ, что позволяет поддерживать иммунологическую память в течение долгого времени.

АСИТ хорошо проявила себя прежде всего против разнообразных респираторных аллергий, которые вызываются «летучими» аллергенами — пылью и клещами домашней пыли, пылью растений, шерстью животных. Она предотвращает развитие ринита, конъюнктивита, бронхиальной астмы или, по крайней мере, заметно облегчает их течение. Основное преимущество АСИТ в том, что она «учит» иммунную систему реагировать адекватно, не причиняя вреда хозяину. Важно и то, что, как правило, эффект АСИТ сохраняется в течение всей жизни.

## Немного о грустном

Однако у этой действенной терапии есть и недостатки. Главный из них связан с происхождением препаратов для АСИТ. В большинстве случаев они представляют собой экстракты природного аллергена. Эти препараты помогают многим, но и побочные эффекты остаются значительными. Причина в том, что аллерген, содержащийся в препарате, точно так же связывается с иммуноглобулиновыми «антеннами» тучных клеток, как и природный аллерген. И точно так же запускается каскад аллергических реакций, формируется иммунный ответ, аналогичный самой болезни, хотя и в облегченной форме, соразмерной дозе аллергена.

Кроме того, качество и происхождение аллерговакцин, предлагаемых медицинскими учреждениями, подчас

вызывает вопросы. Это неудивительно, ведь даже для аллергенов, из которых готовят «фабричные» препараты, не существует общепринятых стандартов и критериев. Мерой их эффективности считается титр антител IgE, вырабатываемых организмом. Но этот показатель характеризует скорее больного, чем лекарство! Конечно, статистика может сгладить амплитуду выраженности реакции у разных людей, однако такие лекарства остаются эмпирически эффективными.

Существенный недостаток АСИТ — ее продолжительность и неудобство. Пациенту приходится проводить курс инъекций, от трех раз в неделю до раза в месяц, либо ежедневно принимать таблетку — и это на протяжении трех — пяти лет! У каждого ли больного хватит пунктуальности и терпения? Наконец, высокая стоимость терапии делает ее попросту недоступной для многих.

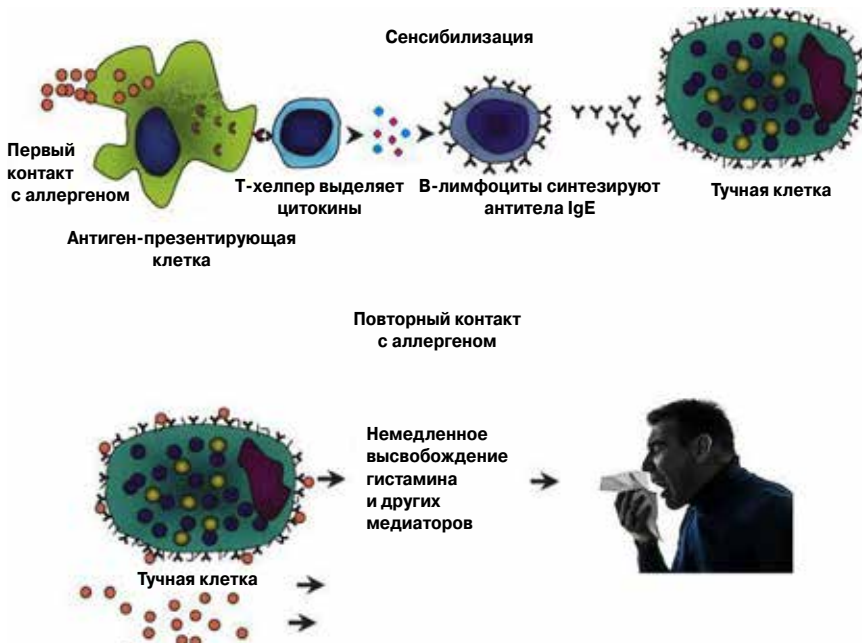
## История успеха

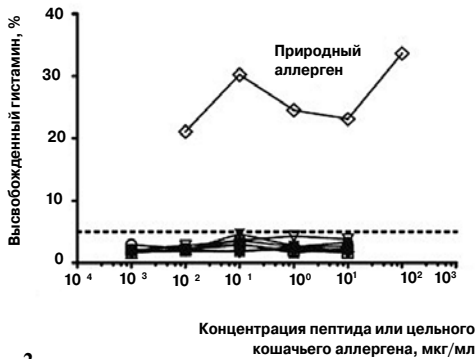
«Отдаем коша в добрые руки, у ребенка аллергия!» — такие объявления постоянно появляются на форумах и в соцсетях. И котов жалко, и людей, вынужденных расставаться с любимцами, тоже. Неужели нет другого выхода?

Аллергию вызывает не шерсть сама по себе, а белки, содержащиеся в секрете слюнных желез, слюне и других выделениях организма животного. Основными среди них считаются Fel d 1 (строго говоря, он гликопротеин, то есть белок с углеводным «довеском») и Fel d 4. Это не мешало бы запомнить создателям популярного сериала «Нюхач», которые наградили главного героя аллергией на кошек, но заставили сказать, что у него «аллергия на фелинин», видимо, для научного колорита. (Фелинин — низкомолекулярное вещество, производное аминокислоты цистеина, содержится в кошачьей моче и при разложении образует ее неповторимый запах, к аллергенам отношения не имеет.)

Аллергены кошек известны достаточно давно, а значит, есть возможность бороться с аллергией. Разработаны методы иммунотерапии, есть и более экзотические предложения — например, некоторые компании продают специально выведенных гипоаллергенных кошек, в организмах которых, по заявлению продавцов, не синтезируются вредные белки. Понятно, что стоит такое животное недорого, и все это не решает проблемы ребенка, который не хочет никому отдавать своего хоть и аллергенного, но любимого кота.

1  
Тучная клетка с антителами IgE на поверхности и гранулами гистамина внутри





2

**Зависимость высвобождения гистамина (в процентах от его общего содержания в объеме крови) от природы эпитопов. У синтезированных пептидов способность вызывать высвобождение гистамина значительно ниже, чем у «цельного» экстракта аллергена (верхний график), а значит, и клинические проявления аллергии от вакцины будут сильно снижены**

И вот совсем недавно компания «Circassia Ltd.», созданная на базе Оксфордского университета, представила ошеломительные результаты второй фазы клинических исследований синтетической полипептидной вакцины к аллергии на кошек. С моделью, методами и результатами исследования можно ознакомиться в статье, подготовленной международной командой ученых (Margitta Worm et al., «The Journal of Allergy and Clinical Immunology», 2011, 127, 1, 89—97, 97.e1-14. doi: 10.1016/j.jaci.2010.11.029).

Способность этой вакцины устранять клинические проявления в три раза выше, чем у всех ныне известных лекарств, включая антигистаминные и стероидные препараты. Первые значительные результаты были отмечены в ходе годового исследования эффекта курса лечения. При этом курс состоял всего из четырех инъекций, сделанных в течение 12 недель, по одному уколу каждые три недели (Randy Osborne, «Nature Biotechnology», 2013, 31, 371—372, doi:10.1038/nbt0513-371a).

Вакцина привлекла к себе еще больше внимания, когда стали известны результаты двухгодичного исследования — удалось вдвое (на 50 %) снизить назальные и окулярные проявления аллергии (насморк и раздражение глаз). В то же время применение плацебо дало всего лишь 14,9%. Даже «на малой дистанции» — в четырехдневном исследовании лекарство не подвело, облегчив симптомы на 38,3% (13,4 % для плацебо). По словам руководителя компании Стива Харриса, это небывалые результаты не только для аллергологии, но и для иммунологии в целом.

## Когда части лучше целого

Что значит «синтетическая полипептидная вакцина»? Обычные синтетические вакцины, как понятно из названия, не выделяют из природных источников, а синтезируют химически *in vitro*. Они полностью копируют аминокислотную последовательность белка-аллергена, но отличаются низкой эффективностью и требуют добавки дополнительного компонента — иммуномодулятора. Неудивительно: ведь то, насколько «крепко подружатся» антиген и антитело, во многом зависит от пространственной структуры белка. Синтетические белки линейны, их аминокислотные цепочки не уложены в активную третичную структуру, и это снижает их шансы стать хорошей вакциной.

В составе новой вакцины иммуномодулятора нет. Замысел кажется полностью провальным, но как же тогда создатели вакцины добились выдающихся результатов?

Идея была рискованной: что, если взять не полную последовательность белка, а его короткие фрагменты-эпитопы, вроде тех, на которые разрезают натуральный белок антигенпрезентирующие клетки? Такие фрагменты распознаются незрелыми АПК. Формируется постоянный «аллергенный фон», Т-хелперы снижают секреторную активность, следовательно, синтез антител IgE идет на спад, каскад реакций с участием тучных клеток (а также их размножение) постепенно теряет былую интенсивность, симптомы аллергии не развиваются. Происходит не «перехват» уже синтезированных антител IgE, как в случае с АСИТ, а сокращение их количества в принципе. Bravo!

Вкратце технология создания вакцины против аллергии на кошек выглядела так.

1. Изначально были выявлены те эпитопы кошачьего аллергена Fel d 1, которые связывались с молекулами главного комплекса гистосовместимости II на поверхности АПК и вызывали реакцию Т-лимфоцитов.

2. Эпитопы — фрагменты белка получили *in vitro* методом твердофазного пептидного синтеза. Далее с помощью теста *in vivo* отобрали эпитопы, которые привлекают определенную разновидность Т-хелперов 2 (Th2). Секреторные продукты именно этих Т-хелперов запускают реакции, приводящие к синтезу IgE. Кроме того, для каждого из эпитопов проверили, насколько сильно они влияют на высвобождение гистамина. Все синтетические пептиды давали очень слабую реакцию по сравнению с природным аллергеном (рис.2), так что из них выбирали наиболее сильно сенсibiliзирующие.

3. Отобрав «элиту», сформировали вакцину — набор из семи пептидов, каждый из которых содержит один или два Th2-активирующих эпитопа.

Итак, новая вакцина разом устранила основные недостатки АСИТ:

- она не дает побочной реакции, аналогичной самой болезни, как в случае с применением цельного аллергена;

- время лечения и число инъекций сильно сокращаются;

- синтетический путь получения вакцины позволяет снизить ее стоимость, сделать доступной для большего числа больных.

В перспективе это огромная помощь людям, которые страдают от аллергии во время цветения деревьев и трав, при встрече с кошкой или пылью... Сейчас на основе описанного метода компания разрабатывает вакцины к аллергиям на травянистые растения, клеща домашней пыли и пыльцу сорняка амброзии, а также создает альтернативные схемы терапии и лекарственные формы. Пожелаем оксфордским ученым успешных исследований, а затем — благополучного внедрения новых препаратов в медицинскую практику.





# Винная ХИМИЯ

А.А.Бондарев

Классический ритуал дегустации выглядит так. Сначала нужно взболтать вино, повращав бокал, чтобы высвободить ароматы, и понюхать его. Затем сделать глоток и подержать его во рту, а лучше втянуть немного воздуха сквозь зубы и выдохнуть через нос, чтобы поработало ретроназальное обоняние. Этот глоток можно проглотить или выплюнуть, при этом повторно ощутить ароматы с еще одним ретроназальным потоком. И наконец, чуть-чуть подождать, оценивая послевкусие. Повторить.

Во всех этих действиях есть определенный смысл — они должны оптимизировать взаимодействие наших органов вкуса и обоняния с субстанцией, от которой мы хотим получить нечто большее, чем просто чувство опьянения. Финал дегустации — это длинное, иногда абсурдно подробное описание текстуры, вкуса, а главное — ароматических нот. В описании встречаются эпитеты: «спелые фрукты», «красные ягоды», а в послевкусии «лакрица» или «гнилые яблоки». Надо признаться, что

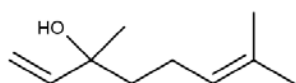


такая дегустация вина — это искусство, а не наука. Есть и другие, в которых доля объективного научного знания существенно выше, например дегустации, цель которых — установить качество товара (оливкового масла, чая). В случае благородного алкоголя мы имеем дело с так называемой гедонистической дегустацией, то есть не с оценкой качества, а с характером конкретного вина, терруаром (местом, где был выращен виноград), ожидаемыми региональными особенностями и выдержкой.

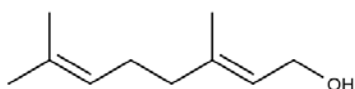
Однако и здесь химия — непосредственный участник дегустации, и она позволяет взглянуть на весь этот ритуал с другой стороны. Ведь дескрипторы (так называют термины, которыми описывают и характеризуют вино), используемые дегустаторами, взяты не произвольно, а имеют под собой химический базис.

## Ароматные вина

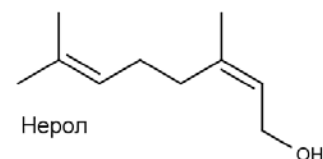
Начнем с ярко выраженных ароматных вин. Вина из различных сортов муската (белый, александрийский, оттонель и т. д.) часто не удостаиваются внимания дегустаторов как раз по причине своего немного прямолинейного характера. Аромат у них характерно-сортовой, то есть вполне узнаваемый, и стабильный. Мускаты обязаны своим ароматам терпеноидам, в основном линалоолу (встречается также в апельсине, манго, базилике, лаванде), гераниолу (гераневое и розовое масла) и его цис-изомеру неролу (розовое и бергамотное масла). Эти вещества относят к так называемым первичным ароматам — они содержатся в самом винограде и переходят в вино при его производстве. Все эти терпеноиды также часто присутствуют в специях и ароматах цветов, соответственно и вина из муската имеют эти же ароматные ноты. С другой стороны, аромат муската настолько характерен, что можно сказать: мускат пахнет мускатом.



Линалоол



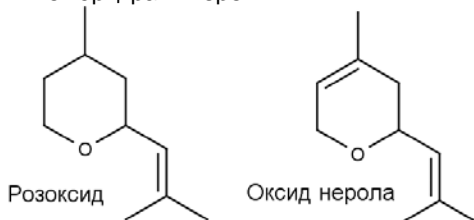
Гераниол



Нерол

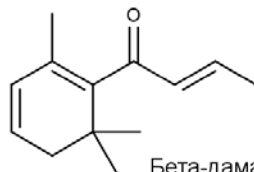
Не столь однообразным, но все же вполне узнаваемым ароматом и характером обладают вина из сортов гевюрцтраминер (белый виноград, растущий на востоке Франции, в Эльзасе, и Германии) и торронтес (белый виноград с уникальным вкусом, распространенный в Аргентине). Их описание практически всегда сопровождается такими дескрипторами, как личи, роза и тропические фрукты. Оказывается, не случайно — на молекулярном уровне есть несколько соединений, определяющих аромат и вина, и продукта, с которым мы его сравнивают. Среди них выделяются два характерных: розоксид и оксид нерола, а также более распространенные в вине, но не менее важные для запаха этих сортов — линалоол и бета-дамасценон.

Розоксид (в основном изомер (4R,2S)-(-)-цис розоксид) — главный характерный компонент аромата плодов личи (*Litchi chinensis*). Сравнить аромат вина с розой сложнее, хотя бы потому, что вариантов аромата розы огромное количество (см. «Химия и жизнь», 1985, № 8). Но если говорить о привычном нам запахе роз, используемом в парфюмерии и, например, в розовой воде (это групповой аромат видов *Rosa centifolia* и *Rosa damascena*), то в них присутствуют три вещества из нашей четверки — розоксид, линалоол, бета-дамасценон. Последний и доминирует в аромате розы. А торронтес — чемпион по содержанию оксида нерола с цветочно-зеленым ароматом, которого в нем в 20—40 раз больше, чем в гевюрцтраминере.



Розоксид

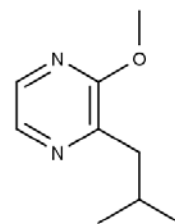
Оксид нерола



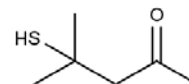
Бета-дамасценон

Другие сорта белого винограда уже не так прямолинейны. Возьмем французский сорт совиньон блан, распространившийся в Новом Свете. В винах из этого винограда доминируют две группы химических веществ, которые подавляют друг друга. Это группа пиразинов с преобладающим 2-метокси-3-изобутилпиразином и группа серосодержащих молекул во главе с 4-метил-4-меркаптопентан-2-оном. Первый из них придает вину характерную ноту болгарского перца, в

котором он также присутствует. Кстати, такой аромат свойствен и красному сорту каберне совиньон, эта сенсорная характеристика очень чувствительна к концентрации — если данного пиразина много, то аромат получается слишком травянистым. Концентрация меркаптанов также сильно влияет на аромат вина, причем ноты, которыми их описывают, варьируют от приятных ароматов крыжовника, смородины, маракуйи и гуавы до запаха кошачьей мочи. Правда, сам 4-метил-4-меркаптопентан-2-он, несмотря на характерный аромат смородины и крыжовника, в этих продуктах не найден. В то время как другой меркаптан, отвечающий за запах кошачьей мочи в совиньоне (3-меркапто-3-метилбутан-1-ол), действительно обнаружен в кошачьей моче.

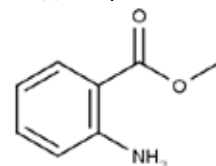


2-Метокси-3-изобутилпиразин



4-Метил-4-меркаптопентан-2-он

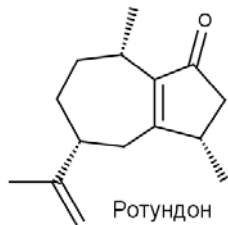
Среди красных вин таких прямолинейных сортов нет. Исключением можно считать известный у нас сорт изабеллу и его американских родственников из менее распространенного вида винограда *Vitis labrusca* (и его гибрида с культурным виноградом *Vitis vinifera*). Помимо странного «кислого запаха» (foxiness на английском), который сложно объяснить, в аромате изабеллы преобладает метилантранилат — одна из ключевых молекул, ответственных за различие запахов лесной и садовой земляники. Приятный аромат, но для вина слишком однообразный.



Метилантранилат

У великих красных сортов винограда есть какие-то ожидаемые ноты. В учебниках для начинающих любителей вина написано: каберне совиньон — это черная смородина и зеленый перец, мерло — это красные фрукты (слива, вишня), сира, или шираз — черный перец и другие специи, и так далее. Имеют ли эти описания какой-то химический базис? Несомненно, однако не всегда очевидно, что в вине и в продукте, с которым мы его сравниваем, присутствует одно и то же химическое соединение.

Аромат перца в ширазах — характерный и поразительный пример. Подмечено, что австралийским винам из сорта шираз (сира — его французское название) свойствен запах черного перца. Конечно, виноделы были заинтересованы в идентификации молекулы, ответственной за этот аромат. Только сначала все думали, что одно соединение искать бесполезно, поскольку это смесь нескольких веществ. Но виноделам повезло: они обнаружили тяжелый сесквитерпен ротундон с запахом черного перца, а потом его нашли и в самом растении *Piper nigrum*. Это важно, поскольку, определив характерную молекулу, ученые могут подсказать условия культивации лозы, при которых в винограде увеличится концентрация ротундона.



А вот с ароматом черной смородины в каберне совиньон уже гораздо сложнее. Предполагают, что в смородине и в вине разные молекулы ответственны за черносмородинный аромат. В вине это 4-метил-4-меркаптопентан-2-он и родственные меркаптаны — те самые, что придают ноту крыжовника белому совиньону. В смородине другой состав меркаптанов, но помимо этого в ней важную роль играют терпены и нитрилы.

Во всех других великих красных сортах винограда, таких, как пино нуар, темпранийо, неббиолло, характерных молекул, по-видимому, нет, и все определяется удельной концентрацией множества сложных эфиров, терпенов, серосодержащих молекул, лактонов и других соединений.

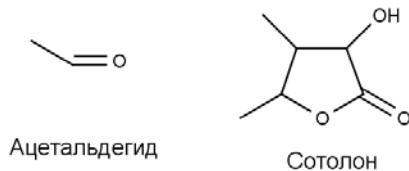
## Технологические ароматы

Особняком стоят вина, аромат которых определяется в первую очередь технологией, а не сортом винограда. Для них часто можно определить молекулы,

которые ответственны за их ароматы, и они же присутствуют в продуктах, с которыми их сравнивают.

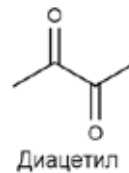
Например, хересы. Упрощая, можно сказать, что хересы имеют две характерные разновидности — фино и оlorосо, и одну промежуточную — амонтийядо. Фино — это вина, прошедшие дополнительный этап созревания под дрожжевой пленкой, образованной особыми видами *Saccharomyces cerevisiae*, способными питаться компонентами крепленого вина. Исследования показывают, что на разных стадиях в процессе могут участвовать разные популяции и виды дрожжей. Помимо того что дрожжи образуют плотную пленку на поверхности вина и препятствуют окислению вина кислородом, они сильно изменяют его ароматический профиль продуктами своей жизнедеятельности и распада. Схожую технологию используют (и соответственно получают схожие ароматы) во французских желтых винах. Для фино характерен запах ацетальдегида, который накапливается по мере выдержки вина. Запах зависит от его концентрации: в небольших количествах он характеризуется или как зеленые яблоки, или как гнилые яблоки с тонами сена. В зеленых яблоках ацетальдегид также служит ароматическим компонентом. Еще он содержится в йогурте, хлебе и кофе. Помимо всего, ацетальдегид — это исходное вещество для образования других важных для аромата хересов компонентов, таких, как сотолон и 1,1-диэтоксизтан (имеет эфирный, слабофруктовый, хересный запах).

Другая разновидность хереса, оlorосо, созревает с доступом к кислороду, поскольку бочку в процессе выдержки заполняют не до конца. Поэтому немного различается и химия продукта — в оlorосо много диацетила и хересных лактонов, в особенности сотолона. Концентрация сотолона в оlorосо в разы выше, чем в фино. По запаху он напоминает грецкий орех, жареные семена фенугрека и кленовый сироп. Сотолон имеет довольно низкий порог обнаружения, поэтому он всегда вносит существенный вклад в те продукты, в которых содержится.



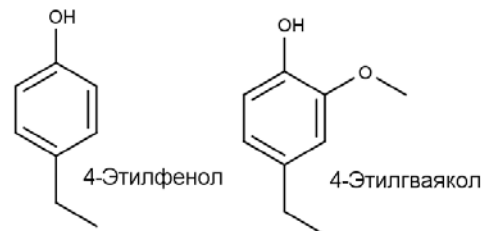
Другой запах хереса оlorосо, диацетил (бутан 2,3 дион), — это характерный аромат продукта ферментации лактобактерий, а именно сливочного масла и других кисломолочных продуктов (сметана, сыворожка). В них этот запах также преобладает. В хересах нет

молочно-кислой ферментации, и диацетил образуется через кислородное окисление. Тем не менее для хереса характерен тот же сливочно-ореховый аромат. Кстати, диацетил — продукт еще одного технологического процесса, обычного для красных вин и иногда применяемого для белых, — яблочно-молочной ферментации. Американские вина из сорта шардоне известны своей текстурой и сливочным ароматом, за которую ответствен именно диацетил.



К технологическим ароматам можно отнести и ароматы, образующиеся после бочковой выдержки. В первую очередь это ванилин, который определяет и запах ванили. В вино ванилин попадает, экстрагируясь из обожженной бочки (ванилин и родственные ему соединения образуются из лигнина при обжиге дуба), и этот запах очень характерен для многих красных вин.

Некоторые красные вина — особенно этим славятся вина из долины Роны во Франции — проявляют ноты копченого бекона, гвоздики, потного конского седла и скотного двора, то есть необычные для вина животные ароматы. И как бы ни хотелось виноделам приписывать эти ноты особому терруару, это, по сути,

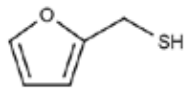


технологические ароматы, а точнее недостатки технологии, при которой развиваются бактерии *Brettanomyces bruxellensis*. Результат их жизнедеятельности — запахи 4-этилфенола и 4-этилгваякола.

## Не все так просто с описанием

Пока мы говорили о базовых ароматах, типичных для того или иного сорта или уникальной технологии производства. Но вино особенно ценится за его способность к выдержке и развитию новых ароматов. Некоторые вина приобретают с годами такую сложность, что десятка дескрипторов недостаточно, чтобы точно описать глубину аромата. Здесь даже могут появиться такие термины, как коробка из-под сигар,

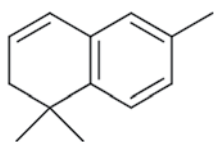
кожа, пепел, лакрица, кедр, кофе и другие. В этом случае по-настоящему сложно найти химическую основу. Например «кофе» — это несколько сотен компонентов, десятка два из которых обязательны для создания характерного аромата. Трудно ожидать, что в описываемом нами вине будет именно этот список в той же концентрации. С другой стороны, в вине обнаружен 2-фуранметантиол, имеющий запах жареного кофе. Может быть, и одного этого соединения достаточно, и все не так сложно.



2-Фуранметантиол

Нет сомнений, что за любым ароматическим описанием стоит определенный химический базис, однако не всегда очевидно, какой именно. Например, что стоит за запахом кремня, обнаруживаемом в шардоне, и, кстати, когда вы в последний раз нюхали мокрые камни (у дегустаторов это стандартный дескриптор)? В 80-х годах XX века профессор калифорнийского университета в Дэвисе (США) Энн Нобл создала «колеса ароматов вина», и это стало большим прорывом, поскольку появилась объективность в описании вина. Фактически она предложила простую схему идентификации ароматов вина. Но даже в ней присутствуют странные запахи «мокрой собаки» и «медицинский». Потом и другие отрасли дегустации сделали подобные колеса ароматов.

Но бывает и наоборот: соединение в вине установлено, а его аромат описать сложно. В выдержанных винах из сорта рислинг дегустаторы часто находят тона нефти или керосина. Почему они так его называют, не совсем понятно, хотя уже и выявлено вещество, ответственное за этот аромат, — 1,1,6-триметил-1,2-дигидронафтаден. Этот аромат — желательный сортовой признак, проявляющийся только при выдержке, но придумать, как его назвать, чтобы было понятно всем, совсем непросто.



1,1,6-триметил-1,2-дигидронафтаден

Взглянув на хроматограмму вина с расшифрованными и подписанными названиями под каждым пиком, мы не сразу обнаружим те вещества, о которых говорили до этого. Самые высокие пики принадлежат совсем другим молекулам. Это сложные эфиры, такие, как

изоамилацетат и этилкаприлат, летучие кислоты (каприловая и каприновая), и высшие спирты (фенилэтиловый спирт). С одной стороны, эти ароматические вещества формируют базу запаха вина. С другой стороны, так получилось, что молекулы, имеющие характерные ароматы, имеют более низкие пороги распознавания. Поэтому, хотя в вине их на несколько порядков меньше, чем базовых соединений, вклад в аромат они вносят существенный.

С ростом популярности вина в Китае и Юго-Восточной Азии возникла еще одна проблема. Многие ароматические дескрипторы непонятны китайским потребителям — например, аромат крыжовника или малины им ни о чем не говорит. Увлечение вином в Азии началось уже достаточно давно, и азиатский мир стал создавать свой винный язык. Каберне совиньон описывают ароматами китайских фиников, слив и чайных листьев. Сира — запахами соленой свинины, пасты из красной фасоли и чая с жасмином.

Дорогостоящий алкоголь — это огромный бизнес. Разница в аромате, вызываемая одним-единственным соединением, может означать десятикратную разницу в цене, что в итоге складывается во много миллионов долларов. Поэтому исследования будут продолжаться, количество объективных дескрипторов увеличиваться, а лежащую в основе всего этого биохимию



ЕДА ПО-НАУЧНОМУ

процессов в будущем объяснят подробнее. Но волшебство аромата от этого, к счастью, никуда не пропадет.

## Что еще почитать о химии вина

Для тех, кто не боится детального химического описания, есть научные работы по химии, например: Jokie Bakker, Ronald J. Clarke, Wiley-Blackwell «Wine: Flavour Chemistry»; 2011. Для тех, кто предпочитает химию в более прикладном варианте, есть замечательная книга, к тому же изданная на русском: Рональд С. Джексон. Дегустация вин. Руководство профессионального дегустатора. Профессия, 2006. Наконец, скорее художественный взгляд на химию в вине, местами неточный, химически некорректный и слишком поэтичный, зато вдохновляющий на собственные поиски: Francois Chartier, «Taste Buds and Molecules: The Art and Science of Food, Wine, and Flavor», Houghton Mifflin Harcourt, 2012.



## Турнир Трех Наук



С 24 по 28 апреля 2014 года на площадке Воронежского государственного университета пройдет Всероссийский Студенческий Турнир Трех Наук. Его главная цель — трудоустройство талантливых студентов естественнонаучного профиля.

Турнир — это командное состязание между студентами вузов РФ и ближнего зарубежья по решению заранее известных научных задач. Участники представляют решения

в виде презентаций и затем будут защищать их во время Научных боев. Задачи особенно интересны физикам, химикам, медикам, биологам и фармацевтам. Часть задач предлагают партнеры и спонсоры Турнира, которые примут участие в работе жюри.

Турнир — это возможность для наиболее активных студентов получить стажировку или постоянное место работы в крупных инновационных компаниях России.

Все участники получат памятные сувениры, а победители и призеры в командном и личном первенствах — ценные подарки от спонсоров и партнеров.

Для участия в Турнире необходимо собрать команду из 3—6 человек и зарегистрировать ее на странице <http://lomonosov-msu.ru/rus/event/2312/>.

Также в рамках Турнира Трех Наук для учащихся 7—11 классов школ областей Центрально-Черноземного региона проводятся конкурсы «Научный эксперимент» и «Научное фото».

Более подробная информация о Турнире размещена на официальном сайте (<http://iturnir.ru/>) и в группе ВКонтакте (<http://vk.com/iturnir>).

# Занятия спящего мозга

Кандидат биологических наук  
**Н.Л.Резник**

*А в этот самый день у Кенги было ужасно хозяйственное настроение. Она решила везде навести порядок и сосчитать все белье и выяснить, сколько осталось у нее кусков мыла, и сколько у Тигры осталось чистых салфеток, и сколько у Ру осталось чистых передников, так что она выставила их обоих из дому...*

*А.А.Милн. Винни-Пух и все-все-все.*

Сон — состояние, присущее большинству животных, в том числе и беспозвоночным. Даже морские млекопитающие, для которых уснуть — значит захлебнуться, спят каждым полушарием по очереди. Сон жизненно необходим, бессонница убивает и животных, и людей. Веками ученые пытаются понять, почему это происходит, и в гипотезах не было и нет недостатка. В этой статье мы расскажем о трех.

## Глимфатическое половодье

Представления специалистов о назначении сна изменяются по мере развития методов прижизненного исследования мозга. К ним относятся в том числе магнитно-резонансная томография и двухфотонная лазерная микроскопия, которые позволяют наблюдать за перемещением жидкостей и веществ в живых тканях в реальном времени. О магнитно-резонансной томографии в изучении мозга «Химия и жизнь» уже писала (2012, № 12). Суть двухфотонной лазерной микроскопии заключается в том, что в мозг вводят краситель, флуоресценцию которого периодически возбуждают двумя фотонами, энергия каждого из которых меньше энергии, необходимой для возбуждения флуоресценции. Молекула засветится лишь в том случае, если в нее попадут оба фотона, а произойти это может только в фокусной плоскости микроскопа. Метод позволяет получить четкое изображение тканей на глубину до нескольких сотен микрон, и можно без помех наблюдать за распространением светящейся жидкости.

Правда, чтобы исследовать таким образом мозг лабораторного животного, приходится проделывать в черепе окошечко для освещения флуоресцентных молекул. Но ничего, делают, потом закрывают его специальным стеклом, вживляют электроды и канюли для введения красителя, и грызуны живут со всем этим оборудованием в голове, а время от времени их помещают на часок на столик микроскопа и наблюдают.

В результате подобных экспериментов специалисты Университета Медицинского центра Рочестера (США) под руководством Мейкен Нейдегаард обнаружили «глимфатическую» систему — специфические каналы для течения спинномозговой жидкости («Science Translational Medicine», 2012, 4, 147ra111, doi: 10.1126/scitranslmed.3003748). Исследователи предположили, что система служит для очистки мозга от вредных веществ, которые накапливаются в межклеточном пространстве в результате обменных процессов.

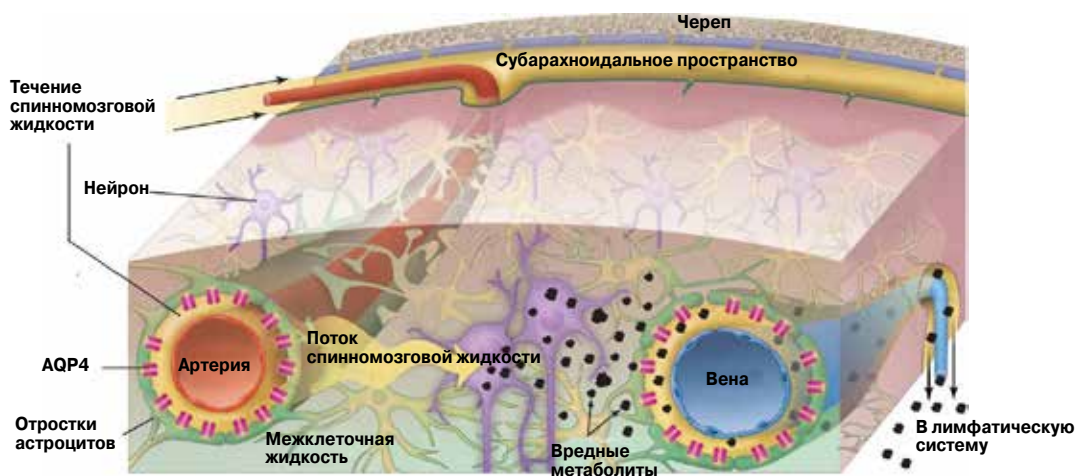
Что такое лимфатическая система, знают все. Лимфа вбирает в себя вредные продукты метаболизма тканей из межклеточной жидкости; ее сосуды открываются в вены, по которым

все собранные «отходы» попадают в печень и почки и выводятся из организма. Чем активнее происходит в ткани обмен веществ, тем лучше в ней развита лимфатическая сеть. Но в мозге лимфатических сосудов нет, меж тем его метаболическая активность очень высока, а нейроны и глия чувствительны к внешним воздействиям. Именно с накоплением продуктов клеточной жизнедеятельности связывают развитие нейродегенеративных заболеваний, таких, как болезнь Альцгеймера. По мнению специалистов, основная часть патогенных белков разрушается внутри клеток мозга, однако много вредных молекул оказывается в межклеточном пространстве, и от них тоже надо избавляться. Роль очищающего раствора могла бы играть спинномозговая жидкость (СМЖ). Она высачивается из сосудистого сплетения, протекает через желудочки мозга, омывает его поверхность и снова возвращается в кровотоки. Но сквозь толщу мозговой ткани ей пройти трудно, поскольку специальных сосудов для нее там нет, а диффузия идет очень медленно. Оказалось, однако, что специальный скоростной путь для СМЖ все-таки существует (рис. 1).

Спинномозговая жидкость поступает в мозг из субарахноидального пространства — полости между двумя мозговыми оболочками — и движется вдоль артерий. Сосуды окружены отростками глиальных клеток астроцитов, образующими вокруг артерий сеть, подобно тому как ветви тенистой аллеи смыкаются над дорогой. На мембранах этих выростов расположены белки аквапорины (AQP4), которые быстро пропускают в клетки молекулы воды. Через эти поры СМЖ попадает в клетку и движется от астроцита к астроциту, обмениваясь по дороге молекулами с межклеточной жидкостью. В конце концов этот «мусорный» поток достигает сосудов венозной системы и, двигаясь вдоль них, попадает в лимфатические сосуды шеи, а оттуда в печень, где отходы мозговой деятельности постигает общая участь. Поскольку отсутствие гена *AQP4* у генетически модифицированных мышей на 65% ухудшает вымывание бета-амилоидов из межклеточной жидкости, исследователи предположили, что именно течение СМЖ обеспечивает очистку мозга от лишних продуктов клеточной активности. С помощью магнитно-резонансной томографии они показали, что таким путем покидают мозг от 40 до 80% крупных белков.

Эту систему исследователи назвали глимфатической за ее зависимость от аквапоринов глиальных клеток и за очищающую функцию, которая роднит ток СМЖ с лимфатической системой периферических тканей. Благодаря глимфатической системе нет необходимости организовывать в мозге отдельную мусоросжигающую фабрику, отходы его жизнедеятельности поступают в общий центр утилизации.

Специалисты нередко связывают очистку мозга со сном. Некоторые белки, присутствующие в межклеточном пространстве ЦНС и подлежащие удалению, в частности, бета-амилоиды, тау-белки и синуклеины, вызывают нейродегенеративные расстройства, которые возникают в том числе и при нарушениях сна. Известно, что эти вредные вещества накапливаются во время бодрствования, у спящих людей и животных их межклеточная концентрация меньше, а при бессоннице особенно высока. Возможно, бессонница связана с



**1**  
*Спинномозговая жидкость быстро течет по отросткам астроцитов  
сквозь толщу нервной ткани, собирая по дороге шлаки*

повышенным уровнем бета-амилоидов. Мейкен Нейдегаард и ее сотрудники проверили альтернативную гипотезу, согласно которой очистка от бета-амилоидов более эффективно происходит во время сна и глимфатические процессы находятся под контролем цикла «сон-бодрствование» («Science», 2013, 342, 373—377, doi: 10.1126/science.1241224).

Исследования глимфатической системы проводили на анестезированных мышах. Удобно, когда животное на столике микроскопа мирно спит. Но теперь ученые наблюдали мышей в трех состояниях: бодрствующих, спящих естественным сном и усыпленных смесью кетамина и ксилазина. Эксперимент организовали так, чтобы наблюдать течение СМЖ в двух разных состояниях активности мозга у одной и той же мыши. Поскольку предстояло работать с бодрствующими животными, их заранее приучили к лежанию на столике микроскопа, а объем и скорость введения красителей подобрали такие, чтобы не повлиять на поведение грызунов. Состояние сна или бодрствования мыши во время эксперимента постоянно контролировали с помощью ЭЭГ и электромиографии, которая определяла тонус шейной мышцы (во сне она расслаблена). Далее, когда мы будем говорить о сне, имеется в виду его медленная фаза.

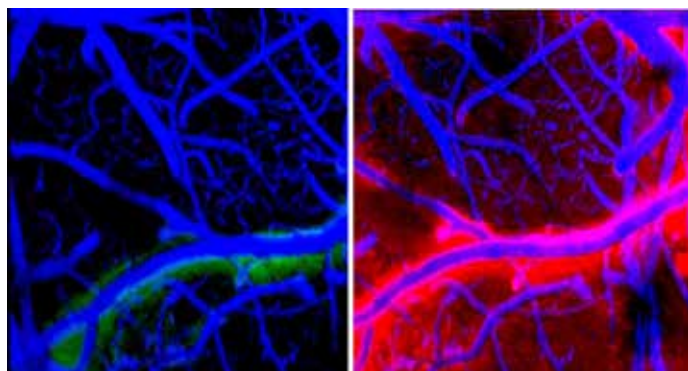
Значительную часть дня мыши спят. Около полудня спящему грызуну вводили в большую цистерну мозга краситель флуоресцеин-изотиоцианат, ФИТЦ, обладающий сильной желто-зеленой флуоресценцией, и в течение получаса наблюдали за его прохождением по мозгу с помощью двухфотонного лазерного микроскопа. Затем мышь будили, бережно кос-

нувшись рукой хвоста, и повторно вводили другой краситель такого же молекулярного веса — тexasский красный (рис. 2). Оказалось, что при бодрствовании поток спинномозговой жидкости сокращается примерно на 95%. Ученые повторили эксперименты с другой группой мышей. На сей раз они начали вечером, когда мыши бодрствовали, и во все время наблюдения трогали зверя за хвостик, чтобы он не заснул в неподвижности. Судя по распределению ФИТЦ, спинномозговая жидкость медленно омывала поверхность коры, практически не проникая вглубь. Спустя полчаса животных усыпили, ввели другой краситель, и он устремился в глубь мозга с такой же скоростью, что и при естественном сне.

Почему у мышей, спящих не важно по какой причине, резко возрастает ток СМЖ? В бодрствующем мозге давление крови и пульсация артерий сильнее, чем в спящем, поэтому разница в скоростях не может быть связана с пульсацией сосудов. Другое объяснение заключается в том, что во сне расширяется межклеточное пространство и жидкость по нему циркулирует свободнее. Активность нейронов сопровождается увеличением концентрации внеклеточных ионов калия, клетки из-за этого набухают, а пространство между ними сокращается. Эксперименты подтвердили, что у бодрствующих мышей объем межклеточного пространства составляет 3—15%, а у спящих 22—24%, то есть разница превышает 60%. Когда животные не спят, ткань мозга сопротивляется потоку жидкости и затрудняет ее движения, а следовательно, и удаление вредных молекул. И действительно, меченые бета-амилоиды, введенные в кору мозга, во время сна покидают ее почти в два раза быстрее, чем при бодрствовании.

Поскольку на величину глимфатического потока влияет не только естественный сон, но и анестезия, она должна быть связана не с циркадными ритмами, а скорее с состоянием «сон-бодрствование». Возможно, изменение объема межклеточного пространства регулируют нейромедиаторы, вызывающие возбуждение. Первым кандидатом на эту роль стал норадреналин, который ответствен за пробуждение коры, а также регулирует активность мембранного транспорта и работу каналов, отвечающих за объем клеток, в периферийных тканях, таких, как почки и сердце.

Исследователи ввели бодрствующим мышам смесь антагонистов к норадреналиновым рецепторам. Антагонисты связываются с рецепторами, и норадреналину деть уже некуда, поэтому клетки его сигналы не воспринимают. В этих условиях поток СМЖ возрос до уровня, сравнимого с таковым у спящих животных, а объем межклеточного пространства увеличился с 14,3 до 22,6%. Ученые полагают, что норадреналин стимулирует нейронную активность, которая, в свою очередь, влияет на объем межклеточного пространства. Чтобы выяснить в деталях механизм расширения межклеточного пространства во сне, при анестезии или блокаде норадреналиновых рецепторов, еще нужны эксперименты.



**2**  
*В бодрствующем мозге (слева) окрашенная спинномозговая жидкость движется вдоль кровеносных сосудов. В спящем (справа) она просачивается на значительную глубину*

Как эта гипотеза объясняет засыпание? Поскольку очистка мозга происходит в режиме «сон», логично предположить, что в это состояние он переходит, когда в нем накапливаются вредные метаболиты. Еще в конце 1990-х годов финская исследовательница Тарья Поркка-Хейсканен, с недавнего времени Стенберг, и ее коллеги из Гарвардской медицинской школы предположили, что переключателем служит аденозин — метаболит нейральной и глиальной активности. Его концентрация в бодрствующем мозге выше, чем в спящем, а при искусственном нарушении сна еще выше. Но стоит заснуть, и она быстро падает. Работа исследователей из Медицинского центра Рочестера объясняет, почему возможно быстрое восстановление: из-за мощного потока СМЖ.

Итак, в период бодрствования в мозге накапливаются вещества, которые необходимо своевременно удалять. Понятно, что уборкой удобнее заниматься, когда никого нет дома. И вот мозг минимизирует активность нейронов и включает прочную систему очистки на полную мощность. Даже кратковременного сна бывает достаточно, чтобы «промыть мозги».

Однако есть и другая теория, согласно которой во сне активность мозга не уменьшается, а переключается на другие объекты.

### Висцеральное бессознательное

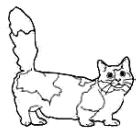
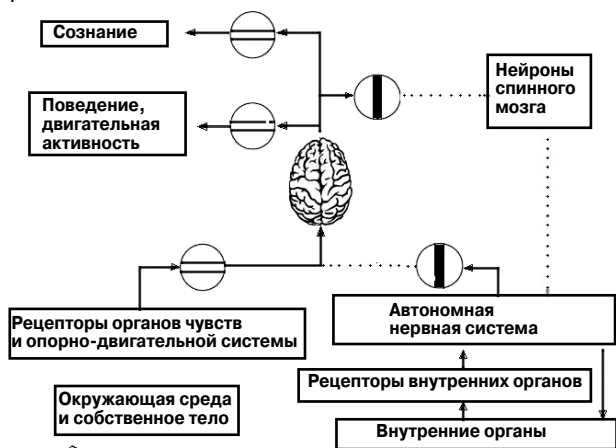
Во время бодрствования наш мозг занят анализом сигналов, поступающих из внешней среды, и реакцией на эти сигналы. Но есть еще и внутренние органы. Днем они действуют в автоматическом режиме: животное дышит, его сердце бьется, кишечник и желудок сокращаются, пищеварительные железы выделяют ферменты. Однако и эти функции нуждаются в периодическом контроле мозга. Доктор биологических наук И.Н.Пигарёв, ведущий научный сотрудник Института проблем передачи информации им. А.А.Харкевича РАН, предлагает висцеральную гипотезу сна, согласно которой нейроны спящего мозга перестают реагировать на внешние сигналы, чтобы переключиться на анализ информации от внутренних (висцеральных) органов («Журнал высшей нервной деятельности», 2013, 63, 1, 86—104, doi: 10.7868/S0044467713010115).

Не случайно животные и люди выбирают для сна мягкие, темные и тихие места, где их не беспокоят шум, свет и горошина под перинкой. Во время висцерального обследования мозг не должен отвлекаться на сигналы от внешних рецепторов в кору, он на них не реагирует. Мышцы во время сна расслаблены, спящий вял и неконтактен, однако нейроны его коры при этом активны.

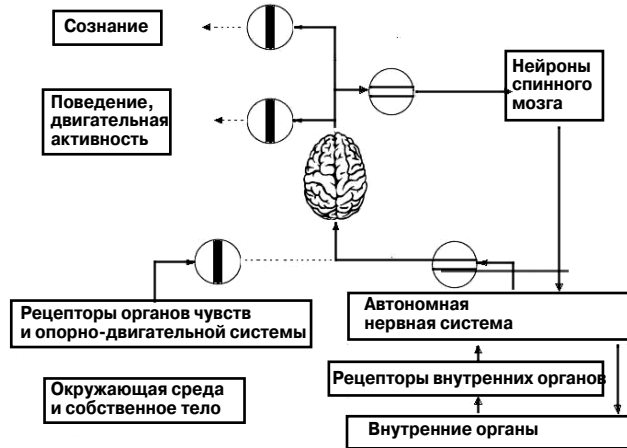
Согласно классическим представлениям, кора разделена на специализированные зоны: зрительные, слуховые, двигательные. И трудно представить, чтобы нейроны, ответственные за обработку зрительных сигналов, анализировали также информацию, поступающую из кишечника. Чтобы проверить это предположение, автор гипотезы сравнил реакцию одних и тех же отделов коры на разные стимулы во время сна и бодрствования. Оказалось, что нейроны коры кошки, которые при бодрствовании отвечали на зрительные сигналы или контролировали движения передних лап, в период медленного сна реагируют на электрическую стимуляцию желудочно-кишечного тракта, причем эта стимуляция не будит кошку, а делает ее сон более глубоким. Сразу после пробуждения и зрительные, и соматосенсорные нейроны возвращались к своим первоначальным функциям, не отвечая больше на висцеральные сигналы. Аналогичным образом вели себя нейроны зрительной коры обезьяны, а также зрительной и соматосенсорной коры кроликов.

Значительная доля знаний о функциональной организации нервной системы была получена именно с помощью метода электрической стимуляции, поэтому сведения, добытые таким способом, можно считать вполне достоверными. Однако современные технологии позволяют исследовать активность нейронов, не прибегая к искусственным стимулам. К исследованию подключились специалисты лаборатории кортиковисцеральной физиологии Института физиологии им. И.П.Павлова и вживили кошкам в гладкомышечные стенки желудка и двенадцатиперстной кишки регистрирующие электроды, позволяющие записывать естественную миоэлектрическую активность этих органов. Полученные данные сопоставили с активностью нейронов коры. Оказалось, что в состоянии бодрствования исследованные нейроны на сокращения желудочно-кишечного тракта не откликаются. Зато в периоды медленного сна электрические импульсы значительной части нервных клеток коры совпадают по времени с миоэлектрической активностью, вызванной сокращениями желудка и двенадцатиперстной кишки. При этом они реагируют на заполнение кишечника. Когда кошкам через фистулы непосредственно в желудок вводили воду, сон животных был более глубоким и длительным, и активность нейронов коры отличалась от той, которую регистрировали у спящих кошек на пустой желудок.

Все доказательства того, что корковые нейроны анализируют сигналы от внутренних органов, были получены в период медленного сна. Однако он чередуется с быстрым, более глубоким, чем медленный. По мнению Ивана Николаевича Пига-



Бодрствование



Сон

рёва, мозг занимается обработкой висцеральной информации и в медленном, и в быстром сне. Во время медленной фазы он анализирует деятельность ритмично работающих органов пищеварения, дыхания и сердца. Их ритмическая активность в результате интерференции определяет медленные волны корковой ЭЭГ. Затем сканирование переходит к органам, не имеющим очевидной ритмики: печени, почкам, сосудистой системе, мышцам и сухожилиям. Наконец мозг должен и сам себя обследовать. Так что сон можно рассматривать как единый процесс анализа всех висцеральных систем организма.

Упрощенная схема работы мозга в режиме «сон-бодрствование» представлена на рис. 3. В период бодрствования нейроны коры заняты анализом внешних сигналов, пути, по которым поступает информация от внутренних органов, заблокированы, а внутренние органы работают под контролем автономной нервной системы. Но со временем эта система перестает справляться с ситуацией, и появляется необходимость в контроле со стороны коры. Висцеральные органы постоянно сравнивают свое состояние с эталонным и посылают сигналы о несоответствии на специальные нейроны, откуда они поступают в мозг. Мозг воспринимает их как чувство усталости, и организм старается заснуть. Во сне у коры появляется возможность перераспределить информационные потоки: отключить внешние каналы и сосредоточиться на связи с внутренними органами. Когда все висцеральные параметры приведены в норму, мозг переключается в режим бодрствования, и спящий пробуждается.

На рисунке эта схема выглядит достаточно просто, но ее реализация не всегда идеальна, потому что в роли переключателей выступают химические синапсы, работа которых зависит от многих условий, в том числе от предыдущей активности нейронов. В результате в переключении информационных потоков возникают сбои, которые могут привести к неприятным последствиям. Например, если на двигательные отделы коры, которые еще не отключились от мотонейронов спинного мозга, начнут поступать сигналы от внутренних органов, они вызовут сокращения мышц, например движения конечностей, которые будят засыпающего человека. Такое нарушение хорошо известно как синдром беспокойных ног, но от него есть лекарства. Они позволяют углубить сон в период засыпания, и этого достаточно, чтобы предотвратить возникновение бесконтрольных движений. Когда человек заснет, сигналы от внутренних органов перестанут поступать в спинной мозг и вызывать беспокойство.

Возможно, что сигналы висцеральной системы попадают из коры в еще не полностью отключенный или преждевременно пробуждающийся блок сознания. Сознание — это функция бодрствования, во сне и под наркозом оно отключается. Какие именно нейроны за него отвечают, пока можно лишь предполагать, но ясно, что внутренние органы в сознании не представлены. Их активность сознание воспринимает как шум, а шум прежде всего возбуждает нейроны, имеющие самые низкие пороги ответа, то есть те, которые недавно работали. Вероятно, именно благодаря внеурочной активности этих нейронов мы видим сны, предметом которых становятся события, занимавшие нас в состоянии бодрствования. Смотреть сны интересно, но, если блокировка сознания во время сна нарушена серьезно, человек страдает от ночных кошмаров.

В случае несинхронного включения разных систем, когда сознание уже проснулось, а моторная зона еще спит, человек, пробудившись, некоторое время не может пошевелиться (паралич сна). Обратная ситуация, при которой зона поведения и двигательной активности проснулись, а сознание еще заблокировано, порождает сомнамбулизм. Человек ходит с открытыми глазами, его движения осмысленны и хорошо скоординированы, потом он засыпает, а проснувшись, совершенно не помнит, что перепрыгнул Лунный камень.



*Как эта гипотеза объясняет засыпание?* В бодрствующем организме внутренние органы работают под местным контролем автономной нервной системы. Однако эта система не может самостоятельно решать все возникающие проблемы, и постепенно текущие параметры работы внутренних органов отклоняются от генетически заданных норм. Это рассогласование будет вызывать ощущение усталости или давление сна. Если окружающая обстановка допускает переход ко сну, животное или человек отдастся Морфею при первых признаках усталости, а корковые зоны будут анализировать причины возникших проблем и искать пути их устранения. Если же условия неблагоприятные — шумно, тревожно, неотложные дела, — организм борется со сном. В такой ситуации велика вероятность, что отдельные зоны коры все-таки заснут при сохранении внешне бодрого состояния организма («Neuroreport». 1997, 8, 11, 2557-2560). При этом ни сам человек, ни окружающие его люди не замечают, что часть мозга отключилась от обслуживания поведения. Если выполняемая при этом работа несложна, возникновение локального сна может пройти безболезненно. Но в тех случаях, когда человек занят важным делом, связанным с принятием сложных и быстрых решений, локальный сон приведет к драматическим последствиям. Видимо, именно локальный сон становится причиной техногенных катастроф, дорожных происшествий и медицинских ошибок, вероятность которых возрастает в ночное время.

Положения висцеральной гипотезы сна подтверждают многочисленные эксперименты, проведенные за последние двадцать лет на кошках, обезьянах и кроликах.

Но есть и другие предположения о том, зачем нужен сон, не менее убедительные.

## Холодная голова

Доктор физико-математических наук Д.П. Харакоз, много лет проработавший в Институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН, предложил фазово-переходную концепцию, согласно которой во сне происходит очистка пресинаптической мембраны путем ее перекристаллизации — перехода из жидкого состояния в твердое и обратно («Журнал высшей нервной деятельности», 2013, 63, 1, 113—124, doi:10.7868/S0044467713010061). К сожалению, из-за безвременной кончины автор гипотезы не успел ее проверить.

Итак, синапс. В данном случае мы говорим о контактах между нейронами, через которые передается возбуждение. Нейрон синтезирует нейромедиатор, который в мембранных пузырьках везикулах движется к клеточной пресинаптической мембране. Когда нейрон возбужден, в него входят ионы кальция, под их влиянием происходит конформационная перестройка расположенного на пресинаптической мембране особого белкового SNARE-комплекса (см. статью о Нобелевской премии по медицине в «Химии и жизни», 2013, № 11). Она завершается слиянием везикулярной и цитоплазматической мембран и образованием поры, через которую нейромедиатор выходит в синаптическую щель. Весь процесс занимает



## ГИПОТЕЗЫ

менее 0,1 мс. По расчетам автора гипотезы, такая скорость высвобождения нейромедиатора возможна лишь в том случае, если фосфолипидная пресинаптическая мембрана в зоне поры отвердеет: составляющие ее липидные молекулы замирают «по стойке смирно», тесно прижавшись друг к другу, и мембрана становится практически несжимаемой. При этом площадь ее поверхности сокращается на 20—25%, что и служит причиной разрыва и слияния мембран и высвобождения нейромедиатора. Переход жидкой мембраны в твердую фазу вызывают ионы кальция, а благодаря SNARE-комплексу разрыв пресинаптической мембраны происходит не в произвольном месте, а в точке ее контакта с везикулой.

В теплокровном организме узкий диапазон температур. В таких условиях переход жидкой мембраны в твердую фазу и обратно возможен лишь при определенном липидном составе, но в ходе работы мембрана по разным причинам загрязняется посторонними липидами. Следовательно, должен существовать механизм ее очистки в активной зоне синапса.

По мнению Дмитрия Петровича Харакоза, организм использует для восстановления состава мембраны перекристаллизацию: простой, эффективный и неспецифический метод очистки, при котором чистое вещество уходит в твердую фазу, а примеси концентрируются в жидком состоянии и удаляются. Механизм удаления примесей автор не описывает. Но для перекристаллизации нужно понизить температуру ниже точки отвердевания мембраны.

Возможности для перекристаллизации мембран в организме есть. Они весьма чувствительны к внешним воздействиям и отвердевают при небольшом охлаждении. Организм теплокровных очень эффективно регулирует температуру. Нагревание происходит в результате метаболических процессов в разных тканях, а охлаждение — через дыхательные пути и кожные покровы, особенно уши, конечности и хвост, у кого он есть. Отвечает за терморегуляцию гипоталамус. Мозг питают каротидные артерии и вертебральные, температура крови в которых выше, чем в каротидных. Изменяя просветы этих двух видов артерий, организм может переключать температуру мозга при смене фаз сна. Многочисленные эксперименты свидетельствуют, что изменения температуры мозга не случайны. У крыс она всегда возрастает в ответ на внешние раздражители: боль, социальный контакт с другой особью, сексуальное возбуждение. Причем температура каждого отдела мозга в ответ на разные стимулы повышается до одного определенного значения, как будто стремится именно к нему. Например, для прилежащего ядра мозга крыс эта температура составляет 38,5°C. А в фазе медленного сна происходит охлаждение на величину от нескольких десятых долей градуса до нескольких градусов в разных отделах мозга у разных животных. Очевидно, температура мозга меняется не пассивно, а регулирует активность нервной ткани. Не зря о человеке, трезво мыслящем, говорят, что у него холодная голова.

Если перекристаллизация мембран происходит в фазе медленного сна, очевидно, что синапс в это время работать не может: передача сигнала происходит, когда ионы кальция индуцируют отвердевание жидкой мембраны, а если она и так

уже находится в твердом состоянии, нейрон не среагирует на полученный сигнал и не сможет передать его дальше. Но, как отмечает исследователь, не все функции мозга нуждаются в предельно высокой скорости передачи сигнала, поэтому не все синапсы должны работать по фазово-переходному механизму и отключаться на профилактическую перекристаллизацию.

Для эффективной перекристаллизации мембраны очень важно чередование медленного и быстрого сна, сопряженного с чередованием пониженной и повышенной температуры. В прохладном медленном сне запускается «перекристаллизация» и удаляется часть материала, оставшегося в жидком состоянии и содержащего примеси. Потерянный материал необходимо восполнить, и сделать это можно в фазе быстрого сна, когда мембрана снова становится жидкой и способной «впитать» недостающие компоненты. Однако исследователь не исключает, что медленный сон для восстановления обязателен, а более теплый быстрый играет вспомогательную роль, в которой его может заменить бодрствование. Этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

*Как эта гипотеза объясняет засыпание?* Температура тела (и мозга) подчиняется циркадному ритму, и, когда она понижается, хочется спать. Охлаждение мозга не просто связано с засыпанием, а стимулирует его. Вероятно, на этом основан известный многим бытовой способ борьбы с бессонницей: надо хорошенько замерзнуть. Народный метод подтверждают научные данные. На 23-й ежегодной конференции сомнологических обществ в 2009 году американский психиатр Эрик Нюфзингер рассказал о том, что охлаждение черепа в области фронтальной коры с помощью специальной шапочки заметно ускоряет засыпание и улучшает качество сна.

Однако многие люди крепко засыпают после теплой ванны, и медикам этот эффект хорошо известен. Возможно, дело в том, что нагревание приводит к расширению сосудов рук и ног, представляющих собой эффективные теплообменники. Когда человек выходит из ванны, расширенные сосуды его конечностей усиленно отдают тепло и охлаждают тело.

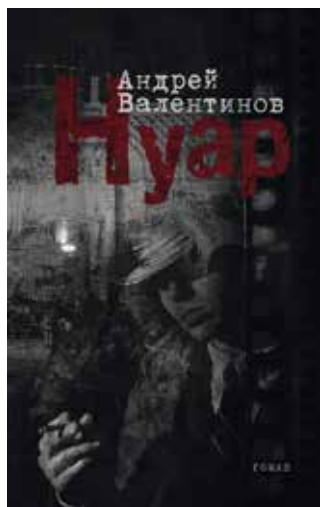
Есть и другое объяснение. У кенгуровых крыс локальное нагревание области гипоталамуса увеличивает продолжительность медленной фазы сна. Возможно, дело в том, что перегретый гипоталамус включает дополнительную систему охлаждения мозга. Если этот механизм справедлив и для человека и кровь, проходящая через вертебральные артерии из нагретого тела в мозг, преимущественно поступает в область гипоталамуса, с ним происходит то же, что и сумчатой крысой: гипоталамус включает систему охлаждения, что вызывает сон, точнее, его медленноволновую фазу.

Дмитрий Петрович Харакоз полагал, что любая гипотеза, объясняющая назначение сна, должна отвечать на вопрос, почему эта функция несовместима с состоянием бодрствования. Почему мозг не выделил особый участок для постоянного контроля за висцеральной системой и только отрешившись от мира может анализировать работу кишечника, почему глимфатическая система не в состоянии интенсивно орошать мозг круглые сутки? Не исключено, что у мозга столько функций, что он одновременно их не вмещает и вынужден разделять на дневные и ночные. Или у сна не одна причина, а несколько. Со временем мы все узнаем. Может быть, ответ придет кому-то во сне.

Редакция благодарит доктора биологических наук И.Н. Пигарёва за помощь в подготовке материала



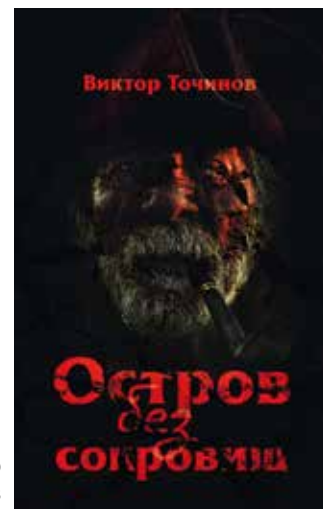
## Нуар

Андрей  
Валентинов

## Земля — Паладос

Михаил  
Костин,  
Алексей  
Гравицкий

## Остров без сокровищ

Виктор  
Тчинов

**В**торая мировая война держит мир в железном кулаке. Даже в тихой гавани Эль-Джадиры не укрыться от огня, смыкающего кольцо. Родион Гравицкий, в прошлом — белогвардейский штабс-капитан, слишком хорошо помнит Первую мировую, чтобы ждать милосердия от Второй. Предательство, интриги разведок, безумие снов, любовь, переплавленная в ненависть, — и наконец известие, способное превратить войну в настоящий ад.

Первая мировая, Вторая мировая — в каком мире идут эти войны? И откуда прибыл загадочный корабль, который доставил Гравицкого в Эль-Джадиру? Существует ли возможность вырваться из круговорота теней прошлого, или «Нуар» — это навсегда?

**В**от уже сотни тысяч лет корабли землян бороздят просторы космоса. Человечество выросло, вышло за пределы Солнечной системы, вступило в контакт с вземными цивилизациями, выиграло кровопролитную войну с призраками — представителями загадочной негуманой расы.

Однако борьба не окончена: время от времени призраки снова напоминают о своем существовании, тогда на помощь приходит Церковь Света — в это верит каждый. А вот кто поможет потерявшему веру священнику-следователю Церкви Света? Быть может, коллега по несчастью?

Брат Габриель усомнился в догматах святой обители, брат Исаак никогда в них не верил, да и священником-следователем быть не хотел. Но какая разница, кто ты и во что веришь, когда нужно спасти мир?

**И**стория о закопанных на далеком острове сокровищах пирата Флинта знакома всем: кто не читал знаменитый роман Роберта Льюиса Стивенсона, тот хотя бы видел одну из многочисленных экранизаций... Все сопереживали героям в их приключениях и с замиранием сердца следили за отчаянными схватками, и радовались, когда честь и мужество одержали верх над низостью и предательством, и...

И ошибались.

Потому что все приключения на Острове Сокровищ происходили совсем не так, как в истории, рассказанной Джимом Хокинсом, сыном трактирщика. Новое и неожиданное прочтение классической книги — в романе-расследовании Виктора Тчинова «Остров без сокровищ».

Подробности на сайте <http://skomm.ru/>

## О подписке

Напоминаем, что на наш журнал с любого номера можно подписаться в редакции. Стоимость подписки на первое полугодие 2014 года с доставкой по РФ — 810 рублей, при получении в редакции — 540 рублей. Об электронных платежах см. [www.hij.ru](http://www.hij.ru). Справки по телефону (495)722-09-46.

### Реквизиты:

Получатель платежа: АНО Центр «НаукаПресс», ИНН/КПП 7701325151/770101001  
Банк: АКБ «РосЕвроБанк» (ОАО) г.Москва, Номер счета: № 40703810801000070802, к/с 30101810800000000777, БИК 044585777  
Назначение платежа: подписка на журнал «Химия и жизнь—XXI век»

## Об архиве

Архив «Химии и жизни» за 45 лет — это более 50 000 страниц, рассказывающих о науке, о том, как ее делают, кто ее делает и зачем, а также антология фантастики и собрание великолепных рисунков. Стоимость — 1350 рублей с учетом доставки.



# Главный кошачий секрет

Н.Анина

## Кормление без взаимности

Человек одомашнил животных не по доброте душевной, а для сугубо практических целей. В каменном веке было не до сантиментов: животных кормили за то, что ими пользовались. Но, оказывается, даже в то рациональное время из этого правила делали исключение.

Отношения, при которых один вид предоставляет пищу или убежище другому без вреда, но и без особой пользы для себя, называются комменсализмом. Современные домашние питомцы городских жителей — типичные комменсалы. Но как вышло, что кот, изначально привечаемого у очага за мышеловство, теперь кормят, чтобы он лежал в любимом кресле хозяина? Ответ на этот вопрос искали и нашли специалисты Китайской академии наук под руководством профессора Яоу Ху при участии американской исследовательницы Фионы Маршалл («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2014, 111, 1, 116—120, doi: 10.1073/pnas.1311439110). По их данным, переход котов к нахлебничеству произошел еще в эпоху неолита.

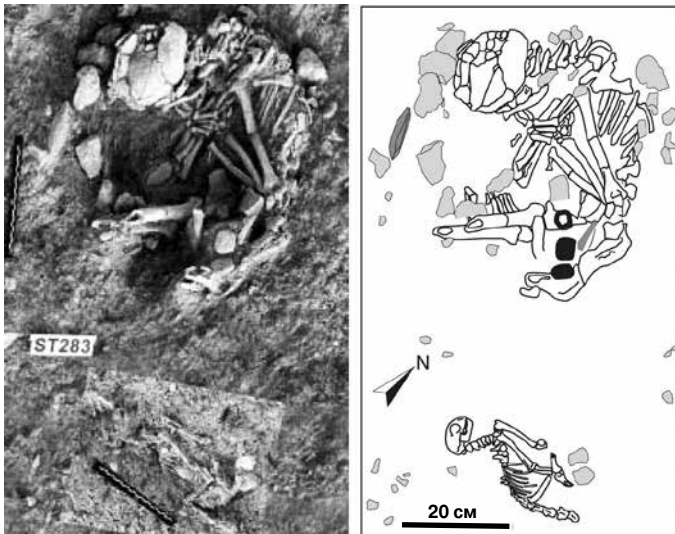
Домашние кошки — одни из самых популярных домашних животных. Однако несмотря на долгую историю взаимоотношений с человеком, высокую численность, составляющую, по разным данным, от 500 миллионов до миллиарда, и всеобщую к ним любовь, процесс сближения людей и котов так до конца и не познан, потому что археологических данных по этой теме поразительно мало.

В первое десятилетие XXI века специалисты лаборатории геномного разнообразия Национальной лаборатории исследования рака (США), возглавляемой Стефаном О'Брайеном, и Оксфордского университета под руководством Дэвида Макдональда посвятили несколько работ проблеме одомашнивания вообще и котов в частности и провели сравнительные исследования митохондриальной ДНК современных диких и домашних кошек. (О заслугах Стефана О'Брайена и его коллег в расшифровке генетики кошачьего окраса тэбби «Химия и жизнь» писала в 2013, № 3.)

Оказалось, что предками домашних кошек были степные коты *Felis silvestris lybica*, обитавшие на Ближнем Востоке. При раскопках на Кипре археологи нашли фаланги пятнистого кота. Поскольку изначально эти животные на острове не водились, их, очевидно, завез туда человек, и произошло это 11—10,5 тысяч лет назад, то есть уже в то время предки домашней кошки как-то контактировали с людьми. На Кипре же нашли самое раннее археологическое доказательство более тесной связи человека и кошки — это индивидуальная могилка восьмимесячного животного, похороненного рядом с человеком 9500 лет назад. Следов насильственной смерти на кошачьем скелете нет. В древнем городе Иераконполь в Верхнем Египте обнаружили погребение камышового кота *F. chaus* с вылеченными переломами передних лап. Находке 5500 лет, следовательно, древние египтяне уже тогда заботились о кошках. Однако первое несомненное доказательство их одомашнивания основано на египетских изображениях времен Среднего царства, около 4000 лет назад. Таким образом, 5000 лет истории взаимоотношений



Черный кот и нарциссы. Китайский рисунок XIX века



Первое свидетельство тесных отношений.  
Человек и кошка похоронены бок о бок 9500 лет назад (Кипр)

котов и людей, от погребения на Кипре до настенных росписей Среднего царства, были покрыты мраком, который несколько рассеялся благодаря усилиям китайских ученых.

## Коты деревни Цюаньхуцунь

Исследователи обнаружили прямые доказательства жизни кошек в сельскохозяйственном поселении Цюаньхуцунь в провинции Шанси, относящемся к культуре Яншао, которая существовала 7000—5000 лет назад. Это одна из самых известных культур китайского неолита. В деревнях Яншао есть дома, кладбища и зернохранилища, жители выращивали просо *Panicum miliaceum* и чумизу *Setaria italica* — злак, родственник просу, рис тоже ели, но в небольшом количестве, разводили домашних свиней и держали собак. Судя по анализу керамики, поселение Цюаньхуцунь существовало 6000—5000 лет назад. Разбирая мусорные ямы, неизменный источник археологических находок, ученые нашли восемь костей, принадлежащих представителям семейства кошачьих, которых не удалось определить до вида. Они лежали вперемешку с костями других животных, каменными и костяными инструментами. Найденные остатки принадлежали по крайней мере двум животным, поскольку среди них были две левые большеберцовые кости, но, судя по расположению костей в ямах, кошек было больше. Согласно радиоуглеродной датировке, бедренные кости попали в яму 5560—5470 и 5320—5280 лет назад, то есть кошки жили в этом селении не менее двухсот лет. Судя по состоянию костей и зубов, они доживали до старости, следовательно, обстановка в Цюаньхуцунь была спокойная, для котов благоприятная. По размерам эти животные были ближе к современным домашним кошкам, чем к более крупным диким. Однако данных недостаточно, чтобы утверждать это наверняка.

Считалось, что домашних кошек завезли в Китай всего два тысячелетия назад. В Древнем Египте, родине котодовства, экспорт кошек был строжайше запрещен, и вывозили их контрабандой в Грецию, оттуда они проникли в Европу и окольными путями в Китай. Находка в Цюаньхуцунь позволила исследователям отодвинуть дату появления домашних кошек в стране на 3500 лет. Но главное свое достижение ученые видят в том, что они смогли установить, чем занимались эти животные в сельской местности времен неолита и в каких отношениях с человеком состояли.

Что делать кошке в деревне? Мышей ловить, конечно. Но чтобы утверждать это, нужно доказать, что 5500 лет назад в Цюаньхуцунь водились грызуны, причем в таком количестве, что могли привлечь хищников. Среди костей, извлеченных из деревенских мусорных ям, были и остатки грызунов семейства

хомяковых, в том числе кости китайского цокора *Myospalax sp.* Цокор — достаточно крупная для кошек добыча, длина его тела составляет около 20 см. Они живут под землей и роют ходы мощными когтистыми лапами. Питаются цокоры подземными частями растений, делают запасы, и собранное людьми просо пришлось для них очень кстати. Ученые обнаружили древние ходы грызунов, ведущие в зернохранилища. Керамические сосуды для хранения зерна имеют специальную форму, чтобы грызунам было трудно залезть по стенке внутрь. Помимо ходов и керамики, есть еще одно свидетельство вредоносного присутствия грызунов — данные изотопного анализа.

## Просяные изотопы

Значительная часть растений использует  $C_3$ -путь фотосинтеза, то есть при фиксации углекислого газа он присоединяется к рибулозодифосфату с образованием трехуглеродной ( $C_3$ ) фосфоглицериновой кислоты. Однако некоторые виды используют тип фотосинтеза  $C_4$ , более продуктивный при низкой концентрации  $CO_2$ . Углекислый газ у них присоединяется к фосфоенолпирувату с образованием четырехуглеродной щавелевоуксусной кислоты. Углерод в растениях присутствует в виде двух стабильных изотопов  $^{13}C$  и  $^{12}C$  и радиоактивного  $^{14}C$ . Содержание радиоактивного углерода используют для датировки образцов, а соотношение стабильных изотопов характеризует показатель  $\delta^{13}C$ . У растений с типом фотосинтеза  $C_3$  он ниже, чем у  $C_4$ . Поскольку изотопы углерода попадают из растений в организм травоядного, по величине  $\delta^{13}C$  в коллагене ископаемых костей можно понять, какими растениями эти животные питались. Или какими растениями питались травоядные, которых ел изучаемый древний хищник.



В Древнем Египте кошку, несомненно, уже одомашнили, судя по этой настенной росписи XV века до н.э.



## РАССЛЕДОВАНИЕ

Вокруг деревни Цюаньхуцунь росли деревья и травы  $C_3$ . К  $C_4$ -типу относилось только культивируемое местными жителями просо. Ученые обнаружили в деревенских отбросах кости многих животных, в том числе зайцев, пятнистого оленя и косули. Все травоядные, судя по  $\delta^{13}C$ , поедали окружающую растительность, и только грызуны трескали просо и продукты из него. Эти данные подтверждают, что цокоры наносили реальный ущерб запасам людей, которые должны были приветствовать появление кошек. Но чтобы до конца понять, какие отношения сложились между ними и человеком 5500 лет назад, важно знать, что ели кошки, другие деревенские животные и сами люди. Для этого, кроме  $\delta^{13}C$ , используют еще один показатель,  $\delta^{15}N$ , — соотношение стабильных изотопов азота  $^{15}N$  и  $^{14}N$ . Чем выше  $\delta^{15}N$ , тем больше белка, то есть мяса, потребляла ископаемая особь.

Судя по данным изотопного анализа, люди ели продукты из проса и мяса. У собак и свиней содержание  $\delta^{13}C$  и  $\delta^{15}N$  практически одинаково, вероятно, они ели одно и то же, причем не мясо, а кухонные отбросы и, возможно, экскременты. На просо в разных видах налегали и грызуны. Что же касается кошек, то они были мясоедами. Знаем мы, чье это мясо.

Но одна из кошек ела меньше белков и больше просяных продуктов, чем другие. Исследователи полагают, что она по какой-то причине не могла охотиться, однако местные жители позволяли ей рыться в отбросах или даже сами подкармливали по доброте душевной.

## Плоды толерантности

Итак, уже 5500 лет назад кошки играли в человеческом поселении разные роли, от охотников до привечаемых животных и даже домашних любимцев. Это самый ранний доказанный случай взаимовыгодных отношений между кошками и людьми, причем их становление не потребовало активного участия человека. Это козлят надо было отыскать, приволочь в деревню, держать в загоне и кормить, отбирать на племя тех, кто не боялся людей и давал много молока. А кошки по собственной инициативе заглянули в амбар и решили остаться. Стефан О'Брайен и его коллеги полагают, что одомашнивание кошек

началось как самоотбор среди животных, оказавшихся в антропогенной среде и хорошо переносивших соседство с людьми («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2009, 106, 9971–9978, doi:10.1073/pnas.0901586106). Они скрещивались друг с другом и давали все более человекоустойчивое потомство.

По мнению исследователей, одомашнивание кошек еще не завершено. Истинная domestикация, говорят они, подразумевает полную зависимость от человека, который дает животным кров и пищу и контролирует размножение. Среди несомненных признаков одомашнивания привязанность к людям или отсутствие страха перед ними, изменение репродуктивного цикла, адаптация к другому рациону, часто более бедному, чем у диких предков. Для домашних животных характерны большое разнообразие окрасов и размеров тела (сравните ротвейлера с йорк-терьером), волнистая шерсть или полное ее отсутствие, укороченные хвосты и вислые уши. Меняется поведение животных, в том числе социальное. Все эти изменения представляют собой прямой или косвенный результат целенаправленного отбора, закрепленный на генетическом уровне. Тигр, родившийся в зоопарке и привыкший к людям, — не домашняя киска. Азиатских слонов тоже нельзя считать домашними животными, потому что человек не контролирует их размножение.

Оценим с этой точки зрения домашнюю кошку. Нельзя сказать, что ее размножение находится под контролем человека, поскольку 97% животных, в число которых входят и уличные коты, либо сами выбирают себе партнеров, либо хозяин предлагает им первого попавшегося (наша кошка орет целыми днями, не одолжите ли вашего кота?). Только породистым животным с родословной пару действительно подбирают. Что касается рациона, то, оставшись без попечения хозяина, большинство кошек могут прокормиться самостоятельно, хотя, как отмечал еще Чарльз Дарвин, кишечник у них длиннее, вероятно, из-за веков поедания перепадающей им от людей растительной пищи. Но в целом домашние кошки по строению тела подобны диким.

Есть у них и несомненные признаки domestикации: кошки размножаются несколько раз в год, а не один, как их дикие сородичи. Кроме того, одомашнивание их социализовало. Это единственные животные, одиночные в дикой природе, но социальные в домашних условиях. Отличаются домашние кошки и разнообразием окрасов, сменившим дикую полосатость. К этому признаку человек приложил руку и создал множество удивительных пород, однако направленной селекционной деятельности не более двухсот лет.

Исследователи подразделяют искусственный отбор на «слабый» и «сильный». При слабом человек проводит отбор среди родившихся потомков. При сильном он не только потомков оценивает, но и тщательно подбирает родительские пары, благодаря чему результаты сильного отбора сказываются очень быстро. Искусственный отбор среди животных, тысячелетиями контактирующих с человеком, неизбежен. Люди особо отличали ласковых кошек и искусных охотников, взаимовыгодные отношения между человеком и кошками способствовали росту численности животных и их расселению по планете. Но этот отбор был слабым и усилился лишь в последнее время, причем в отношении небольшой части кошачьей популяции, именно той, которая мышей не ловит и зачастую даже не представляет, как они выглядят. Если рассматривать такие отношения с хозяйственной точки зрения, ни о какой взаимной выгоде речи уже нет. Но дело в том, что за 12000 лет естественного и искусственного отбора в антропогенной среде кошки приобрели удивительную толерантность к человеку. Это их самая значительная адаптация и главный секрет нынешнего головокружительного успеха.



*Игрушечная кошка  
египетского ребенка  
времен Среднего царства*

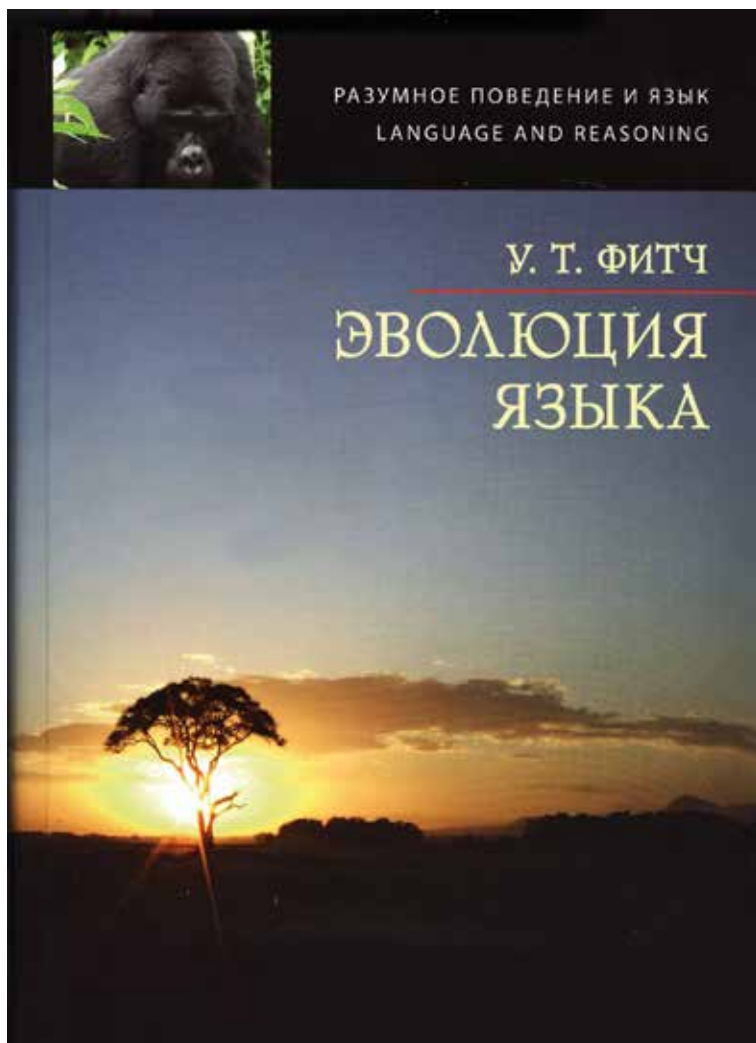


# Эволюция языка:

## прогресс и кризис

Кандидат  
биологических наук  
**Г.Ю.Любарский**

Уильям Т. Фитч.  
Эволюция языка.  
Москва:  
Языки славян-  
ской культуры.  
2013.



КНИГИ

**И**здана новая большая книга о происхождении языка, сознания, человека. Совсем недавно не было никаких вопросов — ну конечно, вышла на английском в 2010 году, переведена на русский в 2013-м, отлично. А теперь сразу следует спросить: а зачем она нужна? Все ведь, в общем, в курсе — в Интернете множество новостей, специальные сайты, интересно — читай.

Ответ очень прост: это нельзя прочитать в Сети. То есть там всё есть, и про недавние находки, и про методы, и научные статьи, и тексты энциклопедий. Текстов, относящихся к теме исследования, многие тысячи килограммов и тысячи гигабайт pdf-файлов. Их только читать надо многие годы, а еще сопоставлять, проверять, выяснять...

Автор сделал эту работу, и потому книгу стоит прочесть, ее не заменит общее знакомство с темой. Любой сторонний человек ни за месяц, ни за год не прочтет нужных текстов и запутается, обязательно ухватив какую-нибудь фальшивку, если будет двигаться по сетевым источникам. Надо быть хорошим профессионалом, чтобы отличать фантазии от фактов.

Круг привлекаемых областей знания в самом деле очень широк. Современное сравнительное языкознание чисто лингвистическими методами может проследить эволюцию языка примерно на 10 000 лет. Почему не глубже? Примерно на этой глубине все известные нам языки произошли от общего предка. Если и были другие языки (считается, что они могли быть даже у других видов человекообразных, на-

пример у неандертальцев), они пропали без следа. А если нет базы сравнения — нечем проверять гипотезы. Так что гипотез о состоянии древнее 10 000 лет можно понастроить уйму, а проверять их нечем. Доказательное языкознание завершается, сведя, говоря упрощенно, алтайские языки с индейскими. Глубже дороги нет.

Так было еще в середине XX века. А потом появились новые возможности. Базу сравнения могут предоставить сравнительная этология и нейронауки. Это совсем другие характерные времена. Около 6 миллионов лет назад наши предки разошлись с предками шимпанзе. Для этого даже сценарий придумали: в Африке есть область древнего землетрясения, там растут густые леса, и вдруг область была разделена глубоким озером — с одной стороны остались тропические леса, с другой — образовалась довольно засушливая саванна. Мол, шимпанзе остались на деревьях с одной стороны озера, а древние пралюди слезли с деревьев в саванне на другом берегу. Эта живописная картина, к счастью, опровергнута — нашли останки, не совпадающие по местоположению с постулатами гипотезы.

Сравнительная этология изучила сигнальные системы множества видов. Мы можем сопоставить звуковое поведение самых разных групп, сравнить песни людей и китов, птиц и кузнечиков, обезьян и лягушек. С другой стороны, комплекс дисциплин, изучающих язык (сложившийся во круг лингвистики и нейронаук), выдвинул много гипотез о составных элементах поведения, необходимых для развития языка. Так что можно заполнять таблицы — какие элементы

протоязыкового поведения у кого представлены, когда появилось то или иное звено в эволюции языка. Это огромный материал, полностью представить который очень трудно, это данные по сотням видов, полевые исследования, с трудом ложающиеся в любые схемы, чреватые ошибками наблюдения и интерпретации данных. И в этом лабиринте продвигается автор, опровергая недавно еще модные и широко распространенные взгляды, приводя новые аргументы.

Корней у проблемы эволюции языка множество, многие науки переплетаются в поисках ответа на вопрос. Более десятка «когнитивных» дисциплин со стороны гуманитариев, несколько наук со стороны биологии, а еще ведь и современная эволюционная теория, и палеонтология, и антропология, и много других наук и подходов.

Дело не просто в том, что материала много и его трудно собрать. Материал противоречив, науки несовместимы, внутри каждой идет непримиримая война крайне различных точек зрения. Вот автор касается эволюционной теории, она должна предоставить некоторые общие сценарии, некоторые способы мыслить эволюционирующее качество (напомним, нас интересует язык). Но в биологии, в эволюционной теории не одна концепция, их очень много, они воюют друг с другом. Описывая эту ситуацию, автор указывает на полярность Докинз — Гулд.

Позиции сторон можно изложить так: Ричарда Докинза неизменно поражают те хитрости, благодаря которым виды умудряются оптимизироваться в той или иной среде. По мысли Докинза, выделяется цепочка событий: возникает новый ген, он порождает признак, идет отбор, признак распространяется или исчезает. Главное — появление нового гена и приспособление к среде.

А Стивен Гулд исходит из совсем других предпосылок «генетического эгалитаризма». Он считает, что гены являются не «кирпичами», а скорее регуляторами развития. В развитии организма задействовано множество связей, это система огромной сложности. И критично для нее преодоление внутренних противоречий, это — самое важное. Для развития «окно» в этих внутренних ограничениях важнее приспособления к внешней среде — роль этого приспособления не отвергается, но не преувеличивается, вместо адапционизма речь идет об устойчивости и балансе внутренней структуры. Главное — этот внутренний баланс организма, а гены — одно из средств достижения баланса.

В этих общих словах трудно передать напряженное противостояние: яростные сторонники каждой из точек зрения полагают противную сторону лжеучеными, полужайками, находящимися вне науки, не знающими основ. Так что за просто «синтезировать» что-то для решения конкретной проблемы крайне затруднительно. И потому важнейшее достоинство книги Фитча — критичность и плюрализм, автор одинаково ровно и с симпатией рассказывает о противниках своей точки зрения и, даже обнаружив симпатии к определенной группе теорий, старается, как может, изложить и противоположные взгляды.

Может быть, эта симпатия к разным точкам зрения происходит из научной биографии автора. Он формировался как ученый, занимаясь коралловыми рыбками, в очень несклочной среде полевых ихтиологов. Потом увлекся поведением, сигнальными системами, эволюцией языка и занялся областью, пограничной между лингвистами, антропологами, эволюционистами, покинув коралловых рыбок ради общих вопросов происхождения человека и языка. Эта авторская эволюция дала ему мягкую, спокойную критическую позицию, готовность удерживать сразу несколько противоречащих точек зрения, отыскивать ценные повороты мысли в самых разных концепциях.

Дело в том, что антропогенез и особенно эволюция языка — область очень склочная, тут масса язвительных людей, которых достали непрофессиональные бредни окружающих, каждый всем готов тут же объяснить, почему именно все точки зрения — полная чушь, кроме той, которую вот сейчас надо слушать. Автор счастливо избежал такого настроения, и потому так приятно выглядит эта книга, спокойно и мягко пытающаяся разобрататься в множестве сложных вопросов. Именно эта толерантность автора, уважительное отношение к исследователям самых разных взглядов позволяют рассматривать книгу как изложение истории нескольких областей знания. Тут и бихевиоризм, и этология Лоренца — Тинбегена, и антропология, лингвистика, эволюционная теория, зоология позвоночных, сравнительная анатомия, нейронауки, компьютерное моделирование.

И потому так поучительны лакуны — когда удается различить в этом ровном, подробном изложении важные «дырки» — неупомянутые имена, книги, открытия. И тогда становится понятно: это на деле вовсе не «парадная лошадь», не благостно-благополучное описание пути к победе. Это огромная, малоупорядоченная и полузабывшая свою историю область знания, и Фитч собирает из кусочков «свою» историю — а можно собрать и несколько другую, и из примечаний научного редактора видно, какой бы она могла быть — эта другая история проблемы эволюции языка, а могла бы быть и третья, четвертая.

Излагая такое множество разнородного материала, автор умудряется не забыть хотя бы упомянуть множество интересных историй. По-хорошему, узнав о них, надо искать и подробно смотреть — в этой обзорной книге они не изложены во всех многокрасочных подробностях. Но хотя бы узнать об их существовании можно. Например, об экспериментах типа «Каспар Хаузер», опытах весьма жестоких и поучительных, и о первой истории, которая дала имя таким экспериментам. Или о генетике речи, о знаменитой семье К и «языковом» гене FOXP2.

Или, например, история о строении гортани разных млекопитающих, чем автор специально занимался. Долгое время считали, что человека характеризует низкое положение гортани, большая ротовая полость нужна для произнесения звуков. Значит, такая гортань — свидетельство речи, а эти особенности строения можно уловить на палеонтологическом материале. Отлично, значит, по останкам палеоантропов мы сможем изучать эволюцию такой воздушной вещи, как язык, делать заключения о степени и стадии развития речи по скелету. И тут выясняется: забыли морфологию конца XIX — начала XX века. Это теперь совсем уже забытые области знания — и вдруг они сыграли. Стало ясно, что многие млекопитающие имеют низкое положение гортани, например олень. Кроме того, это признак функциональный, строение гортани может очень сильно изменяться с помощью мускулатуры, короче, на основании изучения мунифицированных останков судить о стадиях развития речи нельзя. Признак строения гортани не жестко связан с речью и не прочитывается на останках. Это отрицательный результат, он закрывает целые направления, в которых строились гипотезы и делались далеко идущие выводы.

Кроме изложения теории эволюции, данных по палеонтологии, поведению животных, биоакустике, в книге также имеется введение в лингвистические и фонологические проблемы. Можно отыскать тут рассказ об одной из революций в науке о языке, произошедшей в конце XX века. Долгое время пиджины и креольские языки считались простыми, искаженными, «плохими» языками, и их изучали мало и поверхностно. И вдруг стало ясно, что это — языки в стадии возникновения! Как раз то, что считалось недоступным прямому наблюдению.



нию, — возникновение нового языка — вдруг оказалось весьма распространенным, в мире многие сотни креольских языков и пиджинов на самых разных стадиях развития. Чему могут научить возникающие на наших глазах новые языки?

Среди прочих замечательных примеров — история про никарагуанский язык жестов. В Никарагуа до 1977 года не было общего языка глухих, потом создали особую школу и, собрав там глухих детей, стали учить их читать по губам. Но дети сами, для своего общения, придумали язык жестов, и он распространялся в поколениях школьников, развивался и дифференцировался. Эта история запечатлена на видео-записях — совершенно уникальный материал, позволяющий видеть возникновение языка, на глазах происходит «грамматикализация», обретение языком собственного синтаксиса. И таких историй в книге великое множество.

После биологии, лингвистики идут нейронауки, со своими методами исследования. В книге разбираются интересные гипотезы возникновения сознания и языка. Например, очень модная начиная с 1970-х годов теория асимметрии мозга. То, что у людей мозг асимметричный и речь якобы кодируется лишь в одном полушарии, считалось чрезвычайно важным показателем, и придумывалось множество гипотез, как это уникальное свойство возникло в эволюции человека. По праворукости можно судить об асимметрии, по скелету — о психике, сейчас все будет ясно. Но обнаружили факты широчайшего распространения этого явления, асимметрию нашли от лягушек и птиц до обезьян, у всех найдена латерализация в той или иной форме. Энтузиазм по поводу асимметрии утих, теперь меньше говорят о связи «речевого полушария», праворукости и асимметрии когнитивных механизмов. Сейчас в моде зеркальные нейроны, но и с ними, как постепенно выясняется, та же беда. Кажется, зеркальные нейроны есть у всех, но вот только они не зеркалят — распространение имитационного поведения намного уже, чем распространение зеркальных нейронов. Простым указанием на наличие зеркальных нейронов почти ничего объяснить не удается, надо двигаться дальше.

Разговор начался с того, что эта книга толерантно излагает множество точек зрения. Теперь надо добавить, что книга еще в одном отношении представляет удивительное зрелище: научный редактор придерживается иных взглядов, нежели автор, и во многих примечаниях существенно поправляет автора, поднимая целый пласт литературы и точек зрения. В своем послесловии Е.Н.Панов, известный специалист по поведению животных, объясняет, почему эта книга — «неправильная». Очень поверхностная, несмотря на значительный объем, фактических ошибок не так много, но теоретическая позиция, по мнению Е.Н.Панова, — весьма убогая. При этом автор — очень известный исследователь, специалист по данной теме. Говоря коротко, в биологии автор придерживается широко распространенных концепций в стиле Докинза, обращающих внимание прежде всего на адаптивность отдельных признаков, что для Е.Н.Панова — просто неграмотная чушь, ему ближе позиция С. Гулда о

первенствующей роли устойчивости и сбалансированности целостной организации. С моей точки зрения, позиция, которую высказывает в послесловии Е.Н. Панов, намного глубже и серьезнее, чем та, которой придерживается Уильям Фитч, так что ситуация странная — огромный том написан поверхностно, хотя и находится на переднем крае науки, а послесловие написано много серьезней, но... К какой науке и какому ее краю относится послесловие? К уходящей — или к будущей, потому что в будущем, ну конечно, правильные взгляды всегда выигрывают. По крайней мере, так принято говорить.

Другое послесловие принадлежит А.Д. Кошелеву, составителю серии изданий, в которую входит книга Фитча. В этом послесловии дана критика позиции автора со стороны когнитивистики, широкой области наук о человеке от психологии и лингвистики до генетики и нейронаук. Обрисована картина развития этих областей знания с 70-х годов. В целом в этой области, по мнению А.Д. Кошелева, наблюдается кризис. Рост фактического материала, разнородных теоретических взглядов, отсутствие вменяемых общих концепций. Согласованности в теориях нет, связи между науками установить не удается.

Получился удивительный тип издания. Многие сейчас говорят о новом стандарте учебников: плюралистических, где бы высказывались альтернативные гипотезы. Пожелать легко, однако на деле такие учебники очень трудно составить, это только кажется, что соперничающие теории можно написать в соседних параграфах — и дело в шляпе. Теории воюют, они опираются на взаимно непризнанные факты, они используют методы доказательства, которые другие теории признают ненаучными. Воюющие взгляды нелегко примирить даже тепелювливой бумагой.

В этой книге сделана попытка создать плюралистическую монографию. Автор и сам очень терпимо излагает разные точки зрения и дает широкую панораму теорий. Однако научный редактор и составитель придерживаются иных, нежели автор, позиций, и по всей книге сделаны пометки, автора поправляющие, дополняющие и опровергающие, а в конце книги — послесловия научного редактора и составителя, которые объясняют, как всё «на самом деле». При этом к мейнстриму ближе точка зрения автора, но и научный редактор не согласен считать себя маргиналом, он опирается на очень давние традиции теоретического осмысления материала. Так что на страницах книги идет научная полемика, спор между разными концепциями, и можно видеть, как критикуются, фильтруются, подбираются факты, как внешне блестящие теории вдруг, после десятков лет бесспорного доминирования, оказываются фактически необоснованными и напрочь забываются, как всплывают взгляды столетней давности и как новейшие факты встраиваются в различные теоретические рамки.



# Весна, праздник, цветы

**Р**анневесенняя погода угрюма и неустойчива. Не хватает витаминов, хочется праздника. И он наступает. Далеко не все помнят про Клару Цеткин и Розу Люксембург, но Восьмое марта, Международный женский день — старательно отмечают. И конечно, Восьмое марта невозможно без цветов. Розы, гвоздики, тюльпаны, лилии, да мало ли продуктов культурного цветоводства разводят в парниках и теплицах, от далекой Голландии до совхоза «Ульяновский» и комбината «Белая дача» в ближнем Подмосковье! Цветы комнатных растений дарить у нас как-то не принято, разве что цикламены в горшках. А дикие цветы — те и вовсе попали под запрет. Еще лет тридцать назад нетрудно было купить «подснежники» (так в народе называют самые разные ранневесенние цветы) у бабушки на углу; теперь это практически невозможно. Дикую природу надо охранять.

Но есть фанаты, которые не срывают дикие цветы на опушке леса или горном лугу, а разводят их на своих дачных участках. Дело это трудное, штучное, а в промышленных масштабах и вовсе невыполнимое. Требуется усердие и забота. К немногочисленному пока отряду специалистов по «дикоросам» принадлежит и Михаил Диев, который вот уже более 20 лет разводит самые разные формы диких цветочных многолетников в Подмосковье. Его объемистая, почти двухкилограммовая «Большая энциклопедия цветочных многолетников», выпущенная в 2009 году, пользуется большим спросом.

И вот новая книга, размером поменьше, — всё о галлянтусах, или настоящих подснежниках, из семейства амариллисовых. Здесь и описания видов, и ключ для их определения, и карты распространения, и агротехника в условиях Подмосковья, и борьба с вредителями, и советы по фотографированию, и даже роль в ландшафтном дизайне. И многое-многое другое. Но главное, на мой взгляд, — это любовно подобранные фотографии, которые говорят сами за себя.



Диев М.М.  
Галлянтусы.  
Москва:  
Товарищество  
научных изданий  
КМК, 2014.



КНИГИ

Исходно галлянтусы — обитатели гор Южной Европы, Кавказа, Передней и Малой Азии. Произрастают на север вплоть до Польши, а на восток — до Ирана. Цветут, как правило, весной, в Подмосковье — с середины марта и до начала мая. Удивительно, но цветущие растения выдерживают морозы до -10—15°C. Второе цветение случается у галлянтусов в родных краях в ноябре, хотя в условиях нашей средней полосы это маловероятно — выпадает снег. Семена имеют вкусовые придатки-ариллусы, привлекающие муравьев. И, похоже, галлянтусы расселяются в основном именно муравьями.

Несмотря на некоторое удивление редактора, М. Диев снабдил свою книгу необычными приложениями. Это и портретная галерея ботаников, описавших новые виды и формы галлянтусов (очень нестандартно — портреты анфас в силуэтной технике, оригинальная разработка автора), и сводная таблица по морфологии, и данные по подмосковной фенологии галлянтусов аж с 1992 года.

Книга прекрасно и со вкусом оформлена, придаться практически не к чему.

И все же хочется поспорить с автором о названии книги. Почему он так упорно переводит латинское родовое название *Galanthus* как «галлянтус»? Ведь так говорят немцы по правилам своего языка, у них «l» всегда мягкое. И латынь они произносят по-своему. (Впрочем, у англо-американцев произношение латыни еще хуже, не хочу даже приводить примеры.) А по-латински правильнее «галлантус». Иначе придется говорить «гьядиолус». Для окончательного разрешения нашего спора лучше всего обратиться к специалистам по исторической фонетике — говорят, есть такая наука.

Разведение в нашей средней полосе разновидностей цветов, произрастающих в диком виде в Крыму, на Кавказе, в горах Средней Азии и Южной Сибири, — пока что удел немногих. Но эти цветы прекрасны, посмотрите «Большую энциклопедию». А красота, как известно, — страшная сила. Пусть армия упорных, трудолюбивых «диевцев» и в дальнейшем растет и ширится!

**К.Г. Михайлов**

# Психические заболевания садоводов

Главный недуг садоводов — *хронофобия*, страх не успеть сделать все запланированное. Он мучает садоводов ежедневно, еженощно, отчего сон их становится кратким и тревожным, каким бывает у алкоголиков. На последней фазе заболевания садоводы совершенно не способны поддержать разговор и на любые слова собеседника реагируют одинаково: «Господи, ничего не успеваю, ничего не успеваю!», причем считают, что эта информация необычайно собеседникам интересна. Домашним не стоит разочаровывать больного, в противном случае это может привести к *агромании* — желанию жить среди природы в одиночестве и, как следствие, лишению родственников наследования дачи. Кончается это все для агроманов плачевно: они могут довести себя до *эргофилии* — желания работать постоянно и, в конце концов, до нередко сопутствующей ей *мизантропии* — ненависти к людям.

От зоркого взгляда опытного психиатра не ускользает тот факт, что ненависть может быть также вызвана сопротивлением родных *скандермании* (в просторечии шопингу) и *ониомании* — позывам совершать покупки, не соотносясь с необходимостью и последствиями. К примеру, больные приобретают для сада малоустойчивые кипарисовики, ливанские кедры, персидские рябчики и всякие зефирантесы с альстрёмериями.

Садоводам присущ ряд заболеваний второго порядка, которые сопутствуют основным: *цисвестизм* — переодевание в одежду, не соответствующую их полу, возрасту, социальному положению; *аутомисофилия* — желание быть грязным; *копрофилия* — любовь к фекалиям.

Закоренелые копрофилы постоянно рыщут по окрестностям в поисках коровьячка. Впрочем, у большинства садоводов рецидивы копрофилии происходят не чаще раза в две-три недели. Встречая человека с ведром и совочком, не бойтесь его! Копрофилы очень ранимы. Им достаточно громко сказать: «Мое!», как они тут же убегают. Кстати, они не любят испражнения как таковые, они любят испражнениями манипулировать, замачивая их в бочках и ведрах и ежедневно поливая жижой растения.

Более редкое заболевание у садоводов — *сколецифилия*, любовь к червя-

Михаил Диев — давний и любимый автор «Химии и жизни» (см., например, 1998, № 2, 1999, № 2, 2000, № 9, 2001, № 7). Поздравляем его с выходом книги и предоставляем слово ему самому. Садоводов среди наших читателей много, и эти заметки наверняка найдут отклик в их сердцах. А кто сомневается, вправду ли существуют все перечисленные ниже заболевания, может проверить.



УЧЕНЫЕ ДОСУГИ

кам. Сколецифилы, прикидываясь рыбаками, роются в навозных кучах и старых выгребных ямах — собирают дождевых червей, которых выпускают в своих садах. Страстно ненавидят птиц, питающихся червями, подсознательно видя в них конкурентов. Впрочем, это свойственно преимущественно огородникам, страстным поклонникам вермикюльтуры.

Огородников от собственно садоводов отличает также *анаблефобия*, страх смотреть вверх. Именно поэтому они большую часть сезона проводят головой вниз, с трудом адаптируясь к городской жизни осенью. У них порой встречается *библиофобия* вкупе с *типоманией*, то есть боязнь серьезной садоводческой литературы при постоянном желании публиковать симптоматику своих недугов.

Садовые психические заболевания третьего порядка бесчисленны и чаще всего служат предметом зависти людей здоровых, как, например, *геленомания* — склонность к употреблению латинских и греческих слов, или *флоросадизм* — глумление над растениями, склонность всё косить и обрезать. Если разобраться, то корень в слове «садизм» несомненно «сад». По сути, сад — это лес, над которым поглумились садоводы-садисты! Флорофилы, ибо флорофилия, сиречь цветолюбство, лежит в основе садоводства.

## Ореховая рапсодия

Кто первый догадался промывать семена в бачке унитаза — неведомо. Низкий поклон этому садоводу. Подобным способом можно не только повышать всхожесть свежих семян, но и оживлять старые. Не надо мастерить сложные устройства в раковине и неделю не выключать воду, что в эпоху водяных счетчиков весьма накладно. Семена упаковывают в марлевые мешочки, мешочки кладут в мешок, который на проволоке опускают в воду бачка. Вода проточная, семена в ней, понятно, промываются. Все просто и удобно.

Есть растения, семена которых без промывки вообще не всходят. Например, орехи. И вот решили мы таким образом промыть черные орехи, которые, как известно, в полтора раза крупнее грец-

ких. Куда такие из бачка денутся! Через неделю собрались достать их, посеять и убрать посевы под снег... Приоткрыли крышку бачка — нет орехов! Отвинтили, сняли. Где они?!

На участке орехи обычно белочки воруют. Но откуда бы в квартире взяли белочки и как проникли в унитазный бачок?... И тут я обратил внимание, что в дырке под клапаном нет сеточки. Может, конечно, ее там быть и не должно, а может быть, унитаза у нас какой-то продвинутый. Фонарика не было, пришлось проводить исследования, зажигая спички.

Из бачка в унитаз уходил таинственный ход. Неужели орехи сквозь него уплыли? Но тогда бы был грохот при смыве... Объектом исследования стал сам унитаз. Вода из бачка в него поступала сквозь узкое отверстие. Я начал просовывать из унитаза в бачок всякие предметы. Палочки для суши, телефонный кабель и ручка половника орехов не нашупали. Лишь при засовывании большой расчески донесся некий обнадеживающий звук: как оказалось позже, это у нее ломались зубья. Но — чу! Пучок трубочек для коктейля наконец-то встретил долгожданное сопротивление.

Я попытался засунуть голову в унитаз и резко дунуть в трубочки, но голова в него поместилась лишь частично. И тут меня осенило. Я попросил жену принести пылесос. Диаметр его шланга был меньше диаметра отверстия — пришлось обмотать шланг слегка надутой резиновой перчаткой. Вначале пылесос отсосал из таинственной ниши всю воду, пока не заискрился и не запахло жженым пластиком. А потом к шлангу вдруг стал прилепляться самый большой орех, но после прекращения отсоса скатывался обратно.

Наконец решение нашлось. Когда орех появлялся, я его фиксировал палочкой для суши и пытался достать. Идеальной оказалась большая десертная ложка. Ура! Я был счастлив снова держать на ладони этот округлый плод.

К сожалению, другие, более мелкие орехи достать не удалось, хоть мы и потратили на это полдня. Зато теперь, когда смываешь унитаз, они там внутри звучат: «Бл-бл-бл-бл!» — и так на душе хорошо. Дело к весне!

Михаил Диев

# Еще раз про кристаллы

М.С. Мартынов

О выращивании кристаллов «Химия и жизнь» писала не раз (например, 1995, № 5, 1997, № 6, 1989, № 11 и др.), но это такая интересная и красивая тема, что можно к ней и вернуться. Экспериментировать могут не только химики и физики, но и ребенок под контролем разумного взрослого, лучше всего — учителя химии. Как всегда — после окончания работы обязательно мыть руки, а посуда, которой пользуетесь для опытов, не должна быть пищевой.

Что нужно для выращивания кристаллов?

1. Вещества, которые вы будете использовать. Их можно приобрести в магазинах химреактивов, иногда в магазинах для садоводов (минеральные удобрения, гербициды и др.), аптеках, попросить у учителя химии или знакомых химиков, заказать через Интернет.

2. Для выращивания кристаллов сыпать вещество в раствор и перемешивать, пока не перестанет растворяться. У большей части веществ, упомянутых в статье, растворимость около 20—30 граммов на 100 граммов воды. Меньше у алюмокалиевых квасцов (5—7 граммов), тетрабората натрия (4—5), фосфата калия (5—6) и серы (точно не известна, но мала, около 1 грамма).

3. Два небольших кусочка свободное место. Один для работы, другой — для роста кристаллов, подальше от средств отопления, чтобы температура была стабильнее по времени и однороднее по пространству.

4. Желание и терпение — кристаллы не вырастут за один день.

А теперь смело, но внимательно и осторожно — вперед!

## Хлорид калия KCl

Купить его можно как и в магазине реактивов, так и в садоводческом магазине — это одно из калийных удобрений, наряду с сульфатом и нитратом калия. Хлорид калия хорошо растворим в горячей воде, раствор надо готовить горячим. А еще он замечателен тем, что практически всегда образует монокристаллы, заправку можно вытаскивать из раствора, трогать руками — и кристалл все равно будет расти более-менее правильным. Для него опасны только скачки температуры. Если на улице осень или начало весны, а также если у вас проблемы с отоплением, постарайтесь защитить раствор от температурных перепадов.

Кристаллы хлорида калия — кубы, но их форма зачастую искажается, кри-

сталл вытягивается и может вырасти параллелепипед. Кристаллы крупные, так что для начинающих этот вариант подходит лучше всего (фото 1).

## Сульфат железа (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (железный купорос)

Сульфат железа — интересная соль, но интересна она не свойствами — это типичный сульфат переходного элемента, — а кристаллами. Железный купорос можно купить в магазине реактивов либо попытаться найти в садоводческом магазине, но проще его получить. Берем низколегированную сталь (гвозди, проволоку). С легированной реакция может не пойти, а если и пойдет — примесей будет слишком много.

Для получения используем реакцию  
 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$  (газ)

Серную кислоту легко достать — зайдите в любой автомагазин и купите электролит для аккумуляторов, это и есть чистая 33%-ная серная кислота. При работе с ней обязательно иметь рядом соду, чтобы засыпать, если прольете. Кроме того, пазырьки водорода лопаются, и брызги раствора могут оказаться на одежде и мебели. Поэтому проводить реакцию лучше на улице или защитить место проведения опытов полиэтиленовой пленкой.

Смотри цветные фотографии на 4 полосе обложки



2

В итоге мы получаем прозрачный зеленоватый раствор железного купороса. Из него вырастают кристаллы очень интересной формы и красивого светло-зеленого цвета.

У сульфата железа есть несколько кристаллогидратов, то есть при разных условиях из одного и того же раствора могут вырасти кристаллы с разным количеством заключенной в них воды. Светло-зеленые монокристаллы на фото 2а выросли в растворе 45%-ной серной кислоты, это четырехводный кристаллогидрат. Выращивая очередную порцию кристаллов, я уменьшил концентрацию кислоты примерно до 10—15%. Получились салатовые поликристаллы — семиводный кристаллогидрат (фото 2б). Первые без лака сохраняются более двух лет, вторые не выдержали и двух недель без лака, с лаком же — два месяца. Бесцветный лак для ногтей можно купить в любом магазине косметики или ларьке; чтобы выбрать самое прочное покрытие, спросите совета у знакомых девушек.

Если растить кристаллы совсем без кислоты, то сульфат железа быстро окисляется и гидролизуется, выпадает нерастворимый осадок. То же самое происходит, если попытаться вырастить кристаллы из горячего раствора при любой концентрации кислоты.

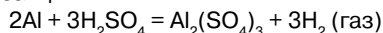
1



## Сульфат алюминия-аммония $\text{Al}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (алюмоаммонийные квасцы)

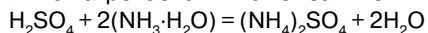
Квасцы — мои любимые кристаллы. Это группа соединений, сходных по строению и свойствам, одно из них — алюмоаммонийные квасцы. Сульфат алюминия-аммония можно купить в магазине реактивов или на рынке как средство от порезов. А можно и приготовить самому.

Нам понадобятся серная кислота, алюминий (в виде стружки) и гидроксид аммония ( $\text{NH}_4\text{OH}$ , нашатырный спирт — купить в аптеке). Для начала готовим раствор сульфата алюминия. Наливаем серную кислоту в емкость, нагреваем и добавляем туда алюминий. Происходит реакция:



Советую запастись терпением — алюминий может растворяться и несколько дней. Далее раствор фильтруем.

Затем берем серную кислоту и нашатырный спирт. Для полулитра раствора алюмоаммонийных квасцов понадобятся две баночки на 100 мл. Реакцию следует проводить на улице — аммиак сильно раздражает органы дыхания и глаза! Наливаем нашатырный спирт в емкость и медленно добавляем серную кислоту. Действуем осторожно, раствор сильно нагревается и может закипеть.



Заканчиваем приливать кислоту, когда почувствуем, что раствор перестал нагреваться и запах исчез.



3

Затем берем оба раствора — сульфата алюминия и сульфата аммония, нагреваем и сливаем растворы в одну емкость. После остывания фильтруем и ставим в прохладное место.

В итоге вырастают крупные прозрачные и бесцветные кристаллы интересной формы (октаэдр, но если растить на дне, то форма немного искажается). Происходит это довольно быстро, на выращивание самого большого из этих кристаллов понадобилось всего три недели (фото 3).

## Сульфат калия-алюминия $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (алюмокалиевые квасцы)

Алюмокалиевые квасцы — прозрачные кристаллы со слабым розоватым оттенком. Чистые алюмокалиевые квасцы бесцветны, но в них часто есть примесь хромокалиевых квасцов — они придают кристаллу розовый цвет.

Их также можно купить (в аптеке, под названием «жженные квасцы», но растворимость у них плохая), а можно и получить. Для этого нам понадобятся сульфат алюминия и сульфат калия.

а



б



4

Сульфат калия — распространенное калийное удобрение, продается в садоводческом магазине. Его чистота оставляет ожидать лучшего, но нам сгодится. Нагрейте до кипения растворы сульфата алюминия и сульфата калия, слейте их в одну емкость, остудите и профильтруйте.

При добавлении буры — тетрабората натрия  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  — форма меняется на кубооктаэдр или куб, и чем больше концентрация буры, тем ближе к кубу. При этом сама бура в кристаллы не входит, а только меняет структуру. Со временем ее концентрация повышается, и форма все сильнее меняется (фото 4а, 4б). Хранятся кристаллы неплохо, но покрывать лаком надо, иначе могут начать мутнеть или выветриваться. У меня без лака стали выветриваться примерно через два-три месяца, с лаком держатся больше полугода.

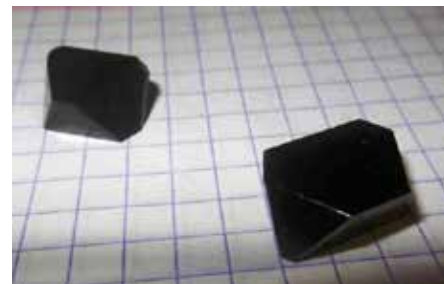


ФОТОИНФОРМАЦИЯ

## Сульфат хрома (III)-калия, $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , хромокалиевые квасцы

Хромокалиевые квасцы — темно-фиолетовые, почти черные октаэдры, самые красивые из всех квасцов. Их можно купить в магазине реактивов и больше нигде — у них почти нет применения, кроме разве что дубления кож.

Нам понадобятся сульфат калия и сульфат хрома. К сожалению, и сульфат хрома можно купить только в магазине реактивов, в быту он не используется. Нагреем растворы этих сульфатов до кипения и сольем в один сосуд, затем остудим и профильтруем. У нас готов раствор хромокалиевых квасцов. Также их можно получить реакцией дихромата калия, серной кислоты и любого восстановителя (сероводорода, иодида, бромида, сульфита или сульфида калия и других).



5

А теперь любимемся кристаллами (фото 5). К сожалению, сохраняются они плохо, выветриваются даже под слоем лака. Поэтому хранить их надо в масле или растворителе (можно использовать вазелиновое масло из аптеки, оно прозрачное).

Есть экзотический вариант: так как квасцы изоморфны, то есть имеют одинаковую кристаллическую решетку, можно опустить кристалл хромокалиевых квасцов в раствор алюмокалиевых, причем кристалл не растворится, а продолжит расти, но слой будет уже прозрачный. Фактически мы покрываем их слоем алюмокалиевых квасцов, которые сохраняются намного лучше. Так можно делать с любыми квасцами, получая кристалл в кристалле, однако иногда этот опыт не удается — исходный кристалл, наоборот, начинает растворяться.

## Сульфат аммония-железа (II) $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (соль Мора)

Соль Мора — почти тот же сульфат железа, но со значительным количеством сульфата аммония. Получить его очень просто: смешайте горячие растворы сульфата аммония и сульфата железа (II).



6

Монокристаллы похожи на сульфат железа, однако, срастаясь, они образуют красивые поликристаллы (фото 6а). Заметим, что загрязненная соль Мора, с избытком одного из сульфатов либо другими примесями, растет исключительно поликристаллами, а чистая — исключительно монокристаллами (фото 6б).

Растут кристаллы примерно с той же скоростью, что сульфат железа, но не так окисляются. Желательно покрыть их лаком, поскольку со временем они могут пожелтеть.

## Иодид натрия NaI

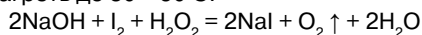
Бесцветные прозрачные кристаллы. Как и сульфат натрия, иодид полиморфен, — может расти кубами, параллелепипедами (комнатная температура) и призмами (резкое охлаждение раствора до 0—5°C). Получение довольно необычное — реакция гидроксида натрия, иода и перекиси водорода.

Нам понадобятся аптечный раствор иода, кислота, перекись и средство «Крот» из хозяйственного магазина. Вместо перекиси можно просто кинуть пару таблеток гидроперита, иначе раствор получается сильно разбавленный.

Сначала выделим иод из настойки. Аптечная настойка представляет собой раствор иода в водном растворе иодида калия. Чтобы выделить из нее иод, иодид калия окисляют перекисью в присутствии кислоты (лучше — разбавленной серной, но можно добавить

хотя бы уксусную), затем раствор в несколько раз разбавляют водой. Осадок иода фильтруют. Можно использовать и просто настойку, однако тогда иодид натрия будет с примесью иодида калия.

Берем иод, средство «Крот» (едкий натр), перекись и просто смешиваем все компоненты. На 100 мл перекиси 25 граммов «Крота» и 25 граммов иода. Его добавлять последним, пока не перестанет выделяться кислород, а «Крот» нагреть до 50—60°C.



7

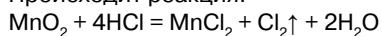
Получили иодид натрия, правда, загрязненный, но его можно очистить перекристаллизацией. Кристаллы на фото 7 выращены резким охлаждением до 0°C. Выветриваются, хотя и слабее, чем сульфат. На свету иногда могут темнеть из-за выделения йода на поверхности, поэтому не стоит растить их на солнце.

## Сульфат марганца $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (марганцевый купорос)

Розовые или светло-розовые кристаллы, по форме могут быть как плоскими параллелограммами с острыми углами, так и ромбоэдрами (призмами с основанием в виде ромба).

Методика получения довольно проста. Покупаем в магазине одну-две большие щелочные батарейки, расковыриваем, достаем оттуда черную массу, хорошенько промываем кипятком несколько раз (она сильно мажется, фильтровальной бумагой уйдет много), лучше дополнительно ее прокалить. Это оксид марганца (IV)  $\text{MnO}_2$ . Затем добавляем в него горячую соляную кислоту (можно обойтись смесью серной кислоты и поваренной соли).

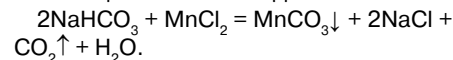
Происходит реакция:



Внимание: проводите эту реакцию только на улице! Выделяется так много газообразного хлора, что ни одна вытяжка не успевает справиться. А делать

такое дома даже и не думайте, это крайне опасно!

Даем отстояться день-два, чтобы осел непрореагировавший оксид марганца. Отфильтровываем осадок и переводим хлорид марганца в карбонат (строго говоря, образуются гидросокарбонаты сложного состава, но это не так важно) с помощью обычной соды:



И затем в сульфат с помощью серной кислоты:



Можно поступить проще: залить оксид марганца (II) серной кислотой и перекисью водорода. Этот способ экономичнее — нет излишней траты кисло-



8



ты, и безопаснее — не выделяется хлор.

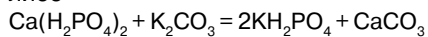
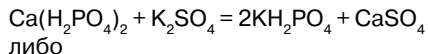
В итоге у нас есть раствор сульфата марганца, правда, сильно загрязненного. Можно очистить его двойной или тройной перекристаллизацией. Кристаллы вы видите на фото 8а. Хранятся они плохо, даже под слоем лака быстро выветриваются. Кристалл покрывается белым налетом за пару дней, за неделю-две рассыпается в порошок.

Если добавить в раствор сульфат калия, то кристаллы не будут выветриваться, но посветлеют и резко изменят форму — станут наклонными призмами с основанием в виде сплющенного шестиугольника (фото 8б).

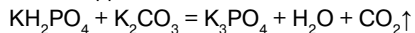
## Фосфат калия $\text{K}_3\text{PO}_4$

Бесцветные, прозрачные кристаллы интересной формы — гексагональная бипирамида: две пирамиды с общим шестиугольным основанием, немного похоже на бриллиант круглой огранки.

Получение — реакция между удобрением «Суперфосфат» (дигидрофосфат кальция) и сульфатом/карбонатом калия:



Вторая реакция предпочтительнее: карбонат кальция совсем не растворим в воде, а сульфат — мало, но растворим. Вдобавок сульфат в воде разбухает и застывает, так что фильтровать его — то еще удовольствие. В обоих случаях выпадает осадок. Отфильтровываем его и выкидываем. Затем добавляем карбонат калия до прекращения выделения осадка.



Еще раз фильтруем, оставляем в емкости и ждем. Конечно, можно получить его и реакцией между фосфорной кислотой и карбонатом/гидроксидом калия, но очень сложно избежать избытка одного из веществ.



9

Растворимость у фосфата калия небольшая, так что воды лучше добавлять побольше. Растут кристаллы долго, однако они очень красивые (фото 9) и хорошо сохраняются.

### Тетраборат аммония (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O (аммонийная бора)

Тетраборат аммония — почти полный аналог тетрабората натрия (обычной бору) по форме, цвету и растворимости кристаллов. Получают его реакцией между борной кислотой и аптечным нашатырным спиртом. Но здесь получение немного легче, так как легко избежать избытка одного из компонентов:



10

$\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 2\text{NH}_4\text{OH} = (\text{NH}_4)_2\text{B}_4\text{O}_7 + 2\text{H}_2\text{O}$   
Аммиак нужно брать с избытком — у аптечного концентрация всего 3%, да и он легко испаряется, и его избыток быстро пропадет сам собой. Кристаллы показаны на фото 10.

### Лимонная кислота C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>·H<sub>2</sub>O

Кристаллы из кислоты — что-то необычное, не правда ли? Бесцветные, прозрачные монокристаллы, форма — многогранник со всеми гранями в форме ромбов. Купить лимонную кислоту



11

можно в любом продуктовом магазине. Растворимость большая, причем если растворять в горячей воде, то получится что-то вроде сиропа, кристаллы растут плохо и получаются в виде снежинок. Так что лучше брать холодную воду. Кристаллы — на фото 11.

К сожалению, сохраняются они не очень хорошо: если не покрыть сразу же лаком, то через недели две-три образуются белые точки, а если покрыть — через полгода.

И напоследок нечто маленькое, но экзотичное.

### Сера S

Кристаллы — желтые ромбические, иногда вытянутые октаэдры, размер — 2—3 мм. Покупаем серу в зоомагазине: кормовая — самая чистая, чего нельзя сказать о сере в магазинах для садоводов. Затем ищем растворители. Лучше всего растворяется сера в сероуглероде и толуоле, чуть хуже — в ксилоле, но их нигде не достать. Так что ищем раство-

рители 646 или 650, первый наполовину толуол, а второй — ксилол. Выделять отдельные вещества из растворителей мы не будем, это довольно сложное занятие, да и отравиться можно. Просто сыплем в емкость (желательно стеклянную) серу в избытке, заливаем растворителем, обязательно закрываем и ставим в теплое место (50°C или немного выше, учтите, что пары вредны и взрывоопасны). Через сутки-двое можно профильтровать раствор (воронку чем-нибудь накройте, растворители очень быстро испаряются) и вылить в емкость с узким горлом (по той же причине). Затем оставим его в месте с температурой около 35—40°C. В результате получаем вот такие кристаллы (фото 12), они не выветриваются и не окисляются.



12

Есть и другой методы выращивания — из расплава. Сера плавится при 113°C, ее нужно осторожно нагреть до этой температуры — но так, чтобы не загорелась! — аккуратно опустить в расплав что-нибудь острое и медленно вынуть. Образуются кристаллы другой аллотропной модификации (не ромбическая, а моноклинная), форма у них совершенно другая. Через небольшое время они переходят в ромбическую модификацию, рассыпаясь в порошок. Так что в данном случае они и недели не проживут. Но зато вы увидите своими глазами последствия фазового перехода из метастабильного состояния!



ФОТОИНФОРМАЦИЯ



# Просо



**Что за растение просо?** В нашем представлении южная часть Китая — рисовая страна. Но одновременно с рисом, а в некоторых районах и раньше, там начали выращивать другой злак, просо. Уже пять-шесть тысяч лет назад эта культура была основой существования многих сельскохозяйственных общин. Полагают, что в Европу просо явилось «за киби́ткой кочевой» азиатских народов. Наверное, произошло это в незапамятные времена. В третьем тысячелетии до нашей эры просо выращивали в Приднепровье. Позднее эту культуру в Европе забыли, а затем снова вспомнили. И есть за что.

Просо обыкновенное *Panicum miliaceum* выделяется среди других злаков высокой устойчивостью к жаре и засухе. Оно образует развесистые метелки, в каждой из которых созревает до тысячи плодов-зерновок. Плоды крошечные, всего 2—3 мм в поперечнике, покрытые плотными глянцевыми цветковыми чешуями, которые защищают зерновку от сухого воздуха. Неочищенные плоды жесткие и горькие. Непросто было догадаться, что эта твердая мелочь может быть вкусной и питательной, если ее отшлифовать. Тогда получится бледно-желтая крупа, всем известное пшено. Кстати, слово «пшено» произошло от славянского «пхати» — толочь, пихать. Очистить от шелухи, короче.

**Чем хороша пшенка.** Пшенная крупа калорийнее пшеницы и риса, жира в ней 4,2%, больше, чем в любом другом злаке, и около 80% крахмала, так что пища эта сытная. В пшенке 11—12% белка, по этому показателю она уступает только пшенице. При этом, в отличие от пшеницы и большинства других злаков, просо не содержит белка глютена (клейковины), вызывающего пищевую аллергию или тяжелую непереносимость (см. «Химию и жизнь» 2009, № 3). Но поскольку именно благодаря клейковине поднимается и становится пористым кислое тесто, дрожжевой хлеб из просяной муки не выпекают. Ее можно для вкуса добавить к пшеничной в соотношении 1:3, и тогда все получится.

Просяное зернышко богато витаминами группы В, в том числе В<sub>6</sub>, ниацином (В<sub>3</sub>, он же РР), необходимой для кроветворения фолиевой кислотой (В<sub>9</sub>). Диетологи любят подчеркнуть, что ниацин снижает уровень холестерина. В пшене есть железо, фосфор, калий и магний. Из-за того что пшенная крупа легко усваивается, содержит клетчатку и практически не содержит сахара, ее считают диетическим продуктом, который полезен при диабете и заболеваниях печени и поджелудочной железы, а также способствует похудению. Возможно, если сварить кашу без молока, сахара и масла.

Некоторые специалисты отмечают, что просо содержит мягкий ингибитор тиреоидной пероксидазы, фермента, который обеспечивает синтез гормонов щитовидной железы. Поэтому людям с тиреоидными заболеваниями не стоит поедать пшенную кашу горшками.

**О пшенной каше.** Большую часть проса перерабатывают на крупу, из которой варят гарниры, супы и каши. Каша вообще и пшенная в частности требует отдельного обсуждения.

Пшенная крупа часто горчит, потому что при хранении начинают окисляться жиры, которыми она богата. Чем дольше хранится крупа, тем горче становится. Процесс начинается в тончайшей крупяной пыли, которой покрыты шлифованные зерна, из-за нее же крупа при варке слипается, поэтому прежде всего пшенку тщательно промывают, добиваясь полной прозрачности воды. Разные кашевары практикуют разные методы: кто в семи холодных водах моет, кто несколько раз кипятком обдает. Есть экспресс-метод: крупу заливают равным объемом воды, дают вскипеть, потом отбрасывают на сито и промывают проточной водой. Иногда пшенку предварительно замачивают на несколько часов. Каша, сваренная на молоке, пригорает. Поэтому сначала пшенку варят на воде, когда она выпарится, и крупа станет мягкой, но еще не разварится, добавляют молоко, если есть желание, и доваривают уже на нем. Однако пшенная каша и на воде прекрасно получается.

Количество воды заслуживает особого внимания: чтобы каша вышла рассыпчатой, специалисты рекомендуют брать на стакан пшена 1,75 стакана воды, при соотношении 1:3,5 каша будет вязкой, а если воды более четырех с половиной стаканов — жидкой. Для других круп соотношения иные.

**С чем сочетается пшенная каша?** Пшенная каша предоставляет богатейшее поле для кулинарной фантазии. Часто варят сладкую пшенку на молоке, с сахаром, медом, сухофруктами, ягодами. Несладкие каши (крупа, соль, вода, масло) украшают специи и продукты с ярким вкусом: чеснок, перец чили, сыр пармезан, обжаренный лук, грибы, печень. Пшенку готовят со шкварками, укропом, тыквой, творогом. В Китае, на родине проса, его обычно едят без молока и сахара, часто добавляя бобы, сладкий картофель или кабачки.



Чтобы вкус блюда стал интереснее, пшено иногда смешивают с рисом. Есть еще рецепт каши «Дубинушка», которую точнее было бы назвать «По сусекам поскребу». В ее состав входят рис, гречка, ячневая крупа, пшено, тыква, репчатый лук, морковь, огурец, помидоры и сладкий перец, свекла и зелень. На дно кастрюли, смазанной маслом и посыпанной панировочными сухарями, укладывают слоями свеклу, пшено, морковь, рис, помидоры с перцем, гречку, лук и ячневую крупу. Все покрывают тыквой, заливают соленным кипятком и варят до готовности. Потом это еще полагается запечь и вывернуть на блюдо. Должен получиться слоеный пирог.

Более похожее на пирог блюдо называется крупеник. Его пекут из рассыпчатой пшенной каши, творога, яиц и масла, смешанных в одну массу. Сверху крупеник смазывают сметаной. А из вязкой пшенной каши с яйцами, обсыпанной панировочными сухарями, получается пшеничный каравай. Его подают со сметаной и вареньем, но можно испечь каравай и с наполнителями, например грибами или овощами.

Рассыпчатая пшенная каша служит гарниром к мясным блюдам, заправкой для овощных супов, начинкой для запеченного гуся. Жидкие каши добавляют к пшеничной муке, когда пекут блины и оладьи.

**Просьяная выпечка.** Из пшена, как из любой крупы, делают муку. Для дрожжевого теста она не годится, но лепешки и блинчики на кефире из нее получаются вкусные. Есть блюдо под названием пряжуха. Из обжаренной на сковороде, а затем сваренной до загустения муки вымешивают тесто, заливают его растопленным сливочным маслом, посыпают шпиком и тертым сыром, а затем запекают, пока не подрумянится.

А если к обжаренной на масле муке добавить сахарный сироп, а затем утрамбовать эту массу и выдержать 12 часов, получится халва. Дешево и сердито.

**Веселится и ликует весь народ.** Из любого зерна можно приготовить веселящий душу напиток. Из проса делают бузу. Для этого размоченное зерно варят несколько часов, пока масса не станет похожей на сметану, добавляют воду, дрожжи и сахар и оставляют бродить несколько дней. Получается напиток крепостью два-три градуса, если долго выдерживать, можно достичь и пяти градусов. Иногда бузу «расцвечивают» медом, ванилью или сухофруктами. Хранят ее в холодном месте, разлитой по бутылкам, подают в пиалах.

Бузу считают напитком более древним, чем пиво, которое готовят из соложенного, то есть проросшего и прогретого зерна. Из проса пиво тоже варят. В разных странах оно называется по-разному: пиво банту, кафрское пиво, мальва.

**Родственники.** К трибе просовых относится и так называемое итальянское, или головчатое просо, оно же чумиза, которое на самом деле принадлежит к роду щетинник (*Setaria italica* subsp. *maxima*). Чумиза тоже засухоустойчивая культура, причем очень древняя, по питательности не уступающая просу, а как кормовое растение его превосходящая. У проса листьев мало, а стебель волосистый, для травоядных невкусный, чумиза же этих недостатков лишена. Родиной чумизы считают Восточную Азию, откуда она триумфально прошествовала по Средиземноморью. О ней писали Геродот и Теофраст. В диком виде она не сохранилась. У чумизы есть близкий родственник могоар, *S. italica* subsp. *moharia*. Специалисты отличают его по более короткой метелке. Его также выращивают как кормовое растение, а в странах с тропическим и субтропическим климатом — как зерновую культуру.

Еще один родич проса — сорго зерновое *Sorghum cernuum*. Происходит оно из Эфиопии и отличается исключительной засухоустойчивостью, в поисках воды корни сорго проникают на глубину до 2,5 м. Для засушливых африканских и азиатских стран сорго просто спасение и зачастую единственный источник крупы, муки и крахмала. Местные жители сберегают часть зерна, чтобы сварить пиво. Неудивительно, что зерновое сорго попало в пятерку самых распространенных пищевых растений мира. А есть еще сорго сахарное, *S. saccharatum*, которое заменяет в засушливых странах сахарный тростник. Стебли растения накапливают сахарозу, правда, не лучшего качества, но для патоки годится. В нашей стране в 30-х годах XX века тоже пробовали получать патоку из сахарного сорго, но это оказалось нерентабельно.

И наконец, гречка. Нет, не гречица с трехгранными плодами-орешками, которые мы привыкли называть гречкой и гречневой крупой, — эта культура не имеет к злакам никакого отношения. Ботаники знают, что настоящая гречка принадлежит семейству злаковых, трибе просовых, роду *Paspalum*, который насчитывает около 400 видов. Это многолетние злаки, растущие в субтропиках и тропиках обоих полушарий. Один из видов, гречку ямчатую *P. scrobiculatum*, в Южной Азии выращивают как зерновую культуру, крупа из нее называется кодо или кодра.

Н. Ручкина





# На дне колодца. На вершине горы

Денис Тихий

*Тому, кто думает, что он познал дно человеческой подлости, стоит поискать колодец, ведущий еще глубже.*

Шао Ё

Аркадию снился дурной сон. В этом сне он погружался в колодец, протопленный невиданной силой в ледяном панцире Снега-II.

Он хотел всплыть к расплесканному небу, но отрицательная плавучесть властно тянула вниз. Из рта выпорхнули стеклянные пузырьки воздуха, и, пересилив приступ паники, Аркадий понял, что может не дышать. Он вытянул руки и сделал несколько резких гребков вниз, силясь разглядеть — что там, на дне колодца? Тьма растворила его, стенки колодца загудели, и, балансируя между сном и явью, он догадался, что гудит не колодец, а сирена тревоги планетарной станции Снег-II.

С последним гребком он вынырнул в реальность, прямо на теплый пол кубрика.

Аркадий прикоснулся к контактной пластине на переборке, и тонкий, сверхпрочный костюм мембранной защиты, скользнув по рукам, моментально обнял все его тело, захлестнувшись прозрачным капюшоном на голове.

Что это за тревоги у нас? А вдруг слетела настройка реактора? Или поврежден контур и гостеприимная природа Снега-II принялась обживать нижний ярус? Гарж зарастает сиреневой травой, гигантские улитки окружили забытую в «гардеробе» кофейную чашку и пьют на нее свои васильковые глазки?.. Он чуть не расшиб голову о причудливый извив кабельтрассы на низком потолке в коридоре. Тут сон с него и слетел окончательно. При чем тут реактор? Реактор уже месяц на трехпроцентной мощности. Реактор, граждане, тут совершенно ни при чем. Да и контур не поврежден — тревога не аварийная.

В центральном посту тускло горел дежурный свет. Аркадий уселся в кресло и дал щелбана пластмассовому клоуну, которого поставил на своем столе Борис. В воздухе перед лицом соткалось рабочее поле бортового компьютера. Цвета отливали в зеленое — надо бы откалибровать проектор, да все руки не доходят. В центре поля пульсировал сигнал экстренного вызова. Соединение. Появилось лицо напарника и командира экспедиции Бориса Кима.

— Господи, наконец-то! — прошептал Борис.

— Ты где?

— На Террасе Ветров.

— Какого черта?!

— У нас тут зонд отказал.

— Он давно отказал! Мы же завтра идти собирались...

— Долго объяснять! Смотри.

Изображение развернулось. Сначала Аркадий ничего не разобрал — ноздреватый камень, какая-то черная заиндевевшая лужа и оранжевая ткань скафандра. Потом он понял.

— Твою мать! Что у тебя с ногой?

— Зонд сорвало с подвески, сдуло вниз. Проехал по ноге.



ФАНТАСТИКА

— Защита повреждена?

— Я ногу не чувствую.

— Защита повреждена?!

— Нет. Регенерация повреждена, кажется.

— Сколько у меня времени?

— Двадцать минут. Максимум — двадцать пять.

— Конец связи!..

Аркадий влетел в «гардероб», распихнул шкаф и стал торопливо натягивать легкий скафандр, прямо поверх мембранной защиты. В центре комнаты из пола выпростался мерцающий силуэт «гардеробщика».

— Легкие скафандры рекомендуются только для работы внутри контура.

— Знаю, заткнись.

— Температура за бортом минус шестьдесят градусов Цельсия. Скорость ветра двадцать метров в секунду. Если вы собираетесь покинуть контур, настойчиво рекомендую скафандр с экзоскелетом!

Аркадий опустил на голову шлем и прошел сквозь «гардеробщика» в гараж. Экзоскелет — это прекрасно. Только для инициации потребуется десять минут. Десять бесценных минут... Включилось освещение гаража. Так, что тут у нас? Борис отправился к террасе на двухместном скутере. В углу стоит «ЖБ-88» — армейский вездеход по прозвищу Жаба. Вчера Аркадий своими руками снял с него координационный блок, так что Жаба мертв. У противоположной стены на зарядке два легких «прыгуна». Один мигает красной лампочкой, а второй заряжен на четверть — и до террасы не хватит!

Чертов идиот! А ведь любишь к месту и не к месту вклейить присказку про уставы, написанные кровью! Поставить Жабе блок на место? Сорок минут, если спешить, если без диагностики. Трижды чертов идиот!.. Аркадий стукнул кулаком по бронированной морде Жабы. Вспыхнули фары, вездеход привстал на восьми ногах.

— Ходюте и ходюте, — сказал Жаба голосом Аркадия. — Запрягаться, что ли?

Аркадий заглянул в кабину — координационный блок стоял на месте в полной готовности. Что за чертовщина? Он уселся в кресло, входной люк стянулся тремя лепестками. Как же это его Борис починил? Зачем ученому заниматься работой технаря? Что за чудеса такие у нас происходят? Всё, думать будем потом!..

Проморгавшись, засветилась приборная панель.

— Быстрый старт! Конечная точка — Терраса Ветров! На максималке!

— Понимаем-с. Потрафим, — сурово сказал Жаба.

За ночь холм, на котором угнездилась Станция, зарос сиреневой травой. Ветер свистел, ерошил макушку холма, раздвигал и схлопывал в траве коридоры. Жаба миглом пересек километровый контур и припустил в сторону ближайшего леса. Почувяв его, деревья расступались в стороны. Он несся вперед, оставляя за собой след выго-

ревшей травы. Люди со своей техникой слишком горячи для местной флоры. Вскоре лес остался позади. Жаба перемахнул через неглубокий ручей, на ходу трансформировал колеса, поднял брюхо, пропуская крупный камень, и пошел в гору. Аркадий опрозрачил крышу и нашел Террасу Ветров. Экая нехорошая туча там собирается! «Снег-II обладает непредсказуемой погодой», — говаривал на инструктаже их куратор Анастас Сабирски. Черта лысого! Метеорологический спутник им запускать дорого, вот и вся непредсказуемость...

На своем пути к пропасти зонд пропахал глубокую борозду. Вдоль нее валялись керамические обломки опоры. Скутер лежал на боку — потом надо будет его забрать. Метрах в трехстах, на самом краю пропасти, посреди выгоревшей травы лежал Борис. Аркадий выпрыгнул из Жабы, пристегнул карабин страховочного троса и побрел к нему против ветра.

— Борис, прием! — позвал Аркадий в шлемофон.

Молчание. Он покосился на индикаторы. Вроде жив.

— Так, я на месте. Вижу тебя.

— Прием... — прошептал призрачный голос.

— Держись, командир. Сейчас тебя подберу. Дует тут у нас!

— Это точно. Поддувает...

Борису повезло. Прокатись зонд левее — отхватил бы голову...

Борис лежал навзничь, поджав под себя правую ногу. С левой ногой было плохо, а точнее — левой ноги не было ниже колена.

— Привет, старичок! — Аркадий прижался шлемом к шлему Бориса. Светофильтр не давал разглядеть его лицо — блин какой-то с двумя дырами.

— Привет, — невнятно ответил Борис. — Что там с моей шагалкой?

— До свадьбы заживет. Ресурса у тебя еще на пять минут, так что тащить буду быстро. Это больно.

— Давай уже!

Под левой ногой натекла небольшая лужица крови, пока скафандр затягивал повреждение. При минус шестидесяти кровь миглом замерзла и намертво приклеила ногу к камню террасы. Аркадий прижал к лужице вибронож — поверхность тут же покрылась паутиной трещин. Потянул ногу раз, другой — освободил. Он ухватил Бориса за ворот и потащил к Жабе. В шлемофоне раздался стон.

— Терпи.

— Выдержу, — просипел Борис сквозь зубы.

Ветер крепчал, вздувал каменный горох, швырял его в забрало шлема. Над головой с какой-то невероятной скоростью начинал клочкотать фиолетовый небесный кипяток. Наконец Аркадий прижался спиной к Жабе.

— Как дела, старичок?

— Вроде жив, — провыл Борис.

— Черт, я не сообразил — надо было пару кадавров активизировать. Они бы тебя донесли. Ну, давай, последний рывок!

Он уложил Бориса во второе кресло.

— Воздух пригоден, — сказал Жаба.

— Трогай домой.

— Эт мы завсегда, — ответил вездеход, разворачиваясь на месте.

— Шлем... — прошептал Борис.

Аркадий откинул защитную скобу и стянул с него шлем. Борис был белее сметаны. Аркадий снял свой шлем и забросил его назад. Достал аптечку, вытащил контактную ампулу с обезболивающим, прижал Борису к шее. Ампула

зашипела, мутноватое лекарство пошло в кровь. Аркадий извлек ампулу со снотворным. Борис судорожно выдохнул, схватил его за руку:

— Не надо.

— Почему?

— Много информации. Едем.

— Да едем уже. Все, старичок, уже все хорошо!

— Хорошо, — прошептал Борис, прикрывая глаза. — Да...

Медицинский модуль, похожий на металлического ежа, повисел над обезображенной ногой, радостно захрюкал, зажужжал, принялся аккуратнo, по нитке срезать штанину. Аркадий оторвался от панорамной картинки операционного поля и посмотрел на Бориса, вяло поедающего протеиновый йогурт.

— Я не доктор, конечно, но месячишко придется полежать, пока новая нога не вырастет.

— Понятно.

Борис, всегда бодрый, всегда с юмором смотрящий на жизнь, был просто сам на себя не похож. Он пристально, виновато как-то, смотрел на Аркадия. Понятное дело, что виновато!

— Может, расскажешь мне: зачем ты поперся на Террасу? Вернее — зачем ты один туда поперся?

— Сейчас все расскажу. Только... Дай мне зеркало. Вон — на столе стоит.

Борис повернулся к столу и посмотрел в зеркало — стародавнее, меняющее право и лево. В зеркале отражался он сам с чернющими глазами на белом лице. Еще там отражался медицинский модуль, порхающий над ним, сшивающий тончайшие капиллярчики плоти. Там отражался даже утилизатор, переваривающий штанину скафандра. Зато там не было Аркадия. Вместо него какой-то шутник поместил в зеркало кадавра — андроида с черной надписью на лбу «КА-52». Кукольное и пустое лицо евнуха. Многофункционального, туповатого, предназначенного для работ на агрессивных планетах, средний срок активности пятьдесят два часа.

— Что это такое?! — крикнул Аркадий-кадавр в зеркало.

Это было страшно! Страшно! Страшнее недавнего сна. Страшнее всего на свете.

— Мы пошли вдвоем, как и положено по уставу. Добрались до места, осмотрели зонд. Я начал прозванивать контуры, а ты пошел посмотреть, что там с подвесками. Подвески тебя волновали.

— Дальше.

— Я нашел, в чем проблема, и пошел к скутеру. Блоки запасные взять, то-сё. И тут ударил ветер. Ты ведь знаешь, как это бывает на Снеге? Я только увидел, что у зонда лопнули подвески, он завалился, встал на ребро и покатился. Как монетка по столу. Ну, ясно. Ты был пристегнут страховкой к зонду. Кто же знал, что он упадет? А меня сбила с ног сигнальная мачта. Ты видел. Трепало до самого обрыва, каким-то чудом не утащило. А тебя утащило.

Борис аккуратно сбросил баночку из-под йогурта в пасть утилизатора. Отер лоб.

— До скутера было слишком далеко, да и не смог бы я на нем ехать с одной-то ногой. Со мной связался бортовой компьютер станции. Он предложил решение. Он сохраняет метемпсикопии. Копии нашей личности, словом...

— Я знаю.

— Да. Он активировал кадавра, стер весь его функционал, а поверх записал твою копию личности, только без сегодняшних воспоминаний.

— Не знал, что так можно.

— Оказалось, что да — можно. В случае гибели носителя он может пользоваться сознанием для решения жизненно важных задач. Ну а просто отправлять кадавра было нельзя. Он же тупой совсем, пока добрался бы...

— Понимаю.

— Прости.

Аркадий поднялся, провел рукой по совершенно лысой голове. Как же это можно было не заметить, что тело-то абсолютно чужое? Просто не было ни секунды, чтобы задуматься, а ведь чувствовал он какую-то странность! Вот и объяснилось все, вот и нашелся потерянный день, во время которого он поставил Жабе координационный блок.

— Сколько мне осталось?

— Часов сорок.

— Ладно. Ты спи. Я пойду. Тяжело как-то с этим всем...

Он сел в свое кресло. Или в кресло Аркадия? Рабочее поле компьютера привычно замерцало перед лицом. Он перешел на вкладку «Управление станцией», соскользнул в меню «Сервоустройства — Андроиды». Три кадавра устанавливали рефлектор на берегу Пиявочного озера. Один — собирал пробы грунта на границе контура. Четверо зачем-то ходили по кругу на полпути к Террасе Ветров. Кадавр номер 00435 находился на центральном посту в статусе «Носитель». Он прижал менюшку пальцем, запросил подробности:

>Номер: 00435

>Модель: КА-52

>Статус: Носитель

>Задание: ????????

>Время до окончания активности: 36 ч 43 м

>Смена задания: Запрещено

>Состояние задания: Вып.

>Прервать активность андроида?

Аркадий задумался над последним пунктом, ткнул в него пальцем.

>Внимание! Андроид 00435 задание ????????

Нет. Рано еще. Вон мужики рефлектор на Пиявочном озере ставят, а я что — особенный? Пойду, помогу...

Конечно, он не пошел ни на какое озеро. Он сел на «прыгуна», вывел его из гаража. За контуром Аркадий остановился, отстегнул шлем скафандра и положил его на покатый валун. Кадаврам доспехи без надобности. Он вызвал карту местности и проложил недалекий маршрут до безымянной точки. Они с Борисом старались каждому пеньку давать имя. Рекомендация психологов. Но именно до этой точки руки пока не дошли. «Пропасть Аркадия»? Почему бы и нет.

«Прыгун» несся по бездорожью, перемахивая через вертикальные речушки и подозрительные ямы, заросшие какими-то шевелящимися пузырями. Как же мало мы знаем про эту планету. Хапаем-хапаем, столбим все, до чего только можем добраться, даже не разбираясь толком, что же мы заполучили... Аркадий миновал широкий пляж, на котором грелись исполинские улитки, обогнул скалу и увидел обломки зонда, лежавшие под отвесной скальной стеной пятидесятиметровой высоты. Он остановил «прыгуна» и пошел пешком, широко, как человеку не суметь, перепрыгивая глубокие лужи.

Зонд не подлежал никакому восстановлению. Он переломился в трех местах, окрестные холмики были засыпаны крошевом электронной начинки. Впрочем, зонд интересовал Аркадия не сильно. Он обошел обломки, приподнял мачту в два центнера весом — силища-то! — но предмета



ФАНТАСТИКА

своих поисков так и не смог отыскать. Потом забрался на самый большой камень и осмотрелся по сторонам — унылое местечко! Сплошь камни, дыры, да каким-то лиловым мочалом все заросло. Около самой стены он увидел оранжевое пятно, спрыгнул с камня, побежал.

Труп в оранжевом скафандре лежал на камнях лицом вниз. Аркадий отогнал вездесущих любопытных улиток. Вот и встретились. И даже могилу не выроешь — разве что саркофаг сложить из камней? Будут тут собираться старперы-однокашники, оставлять цветочки и пить водку, не чокаясь, быстро, приоткрыв забрала шлемов. Спирт тут вроде не замерзает, во всяком случае днем.

Аркадий нагнулся над телом, перевернул его на спину, стянул с головы разбитый шлем и понял, что с мыслями о захоронении он поспешил. Страшно было смотреть в собственное заиндевевшее мертвое лицо. Но куда страшнее была аккуратная круглая дыра во лбу, пробитая рудосборником. Керамическим длинноносым рудосборником, который Борис всегда носил на поясе. Вдруг в какой-нибудь пробе отыщется золото?..

Аркадий усадил свой труп на пассажирское сиденье, пристегнул ремнями. Левая рука нелепо торчала в сторону. Он аккуратно прижал ее. Мертвые пальцы разжались, из них выпал плоский черный камушек. Аркадий завел «прыгуна» и поехал обратной дорогой, домой к другу и напарнику. К Борису, который катал Ньюшку на коленях и вместе с Ленкой перебирал крыжовник на даче. К Борису, который убедил Анастаса Сабирски взять на Снег-II именно Аркадия.

— ...Но у Аркадия нет опыта работы в дальнем космосе.

— Зато я его знаю сто лет! Я только на него рассчитывать могу!..

«Прыгун» несся вперед, труп стучался коленом о защитный обод. «Кто из нас кадавр-то теперь?» — недоумевал Аркадий.

— ...Станция стоит кучу денег. Результат! Результат любой ценой! — кричал Борис на Анастаса...

Теперь было понятно, о какой цене речь. Аркадий — технарь, высокооплачиваемый мускул, обеспечивающий. Борис — мозг, ядрышко, смысл нахождения Станции в этой глуши. Теперь понятен его виноватый взгляд. Интересно, а как он думал жить после всего этого? Зайдет ли он к Ленке с соболезнованиями? Погладит ли Ньюшку по голове?.. Кадавр 00435, временный носитель чужого сознания, завыл, закричал. Свело бы горло спазмом, но нет там мышц, заплакать бы, но и слез нет.

Аркадий последний раз посмотрел в свое лицо и закрыл холодильную камеру. Миссия Земли на этой планете временно приостановлена. Скоро на Станцию прибудет толпа ушлых следователей. Двойное убийство — ерунда ли?.. Он стер иней с лица и рук, поднялся в центральный пост, бросил разбитый шлем на стол. У него не осталось никаких эмоций, он словно умер во второй раз, он был просто ору-

дием возмездия — глупого, ненужного, неправильного, такого человеческого. Дверь в медицинский бокс была приоткрыта, Борис спал, изо рта свешивалась ниточка слюны. Аркадий равнодушно посмотрел на него, поднял рудосборник, прижал керамический ствол ко лбу спящего. Палец удобно лег на спусковой крючок, напрягся (замечательно чуткие пальцы у кадавров, на пианино играть можно!) и — пошел-пошел-пошел...

Из центрального поста донесся мягкий звон. Аркадий опустил ствол, сунул рудосборник в карман, вышел в центральный пост. На покрытом грязью шлеме мигала зеленая лампочка.

На рабочем поле компьютера светилась надпись:

>Обнаружено свежее обновление метемпсикопии

>Носитель: Аркадий Томин

>Статус: выб.

>Статус копии: Носитель 00435, Архив

>Копия в Архиве: Обновлена

>Копия в Носителе 00435: Запрос на обновление

Аркадий опустил в кресло, ткнул грязным пальцем: «Обновить».

>Носитель 00435 содержит более поздние личностные данные. Стереть?

— Нет.

>Добавить новые данные в соответствии с хронологией?

— Да.

>Внимание! Начато обновление данных

Аркадий пришел в себя от страшной боли в ногах — словно кипятком обварили. Он повернул голову — рядом лежал Борис, его левая нога была неестественно вывернута. Аркадий попробовал приподняться на локте, но ветер прижал, распластал.

— Борис! Борис, прием!

— Есть прием.

— Жив, старичок?

— Ноги не чувствую.

— А я вот, наоборот, чувствую. Махнемся?

Борис протянул к нему руку, похлопал по плечу:

— Мы влипли, старичок, да?

— Да. Мысли есть?

— Надо ползти к скутеру.

— Думал уже. У тебя сломаны ноги, у меня — тоже как минимум одна. Ресурса у нас на час, не больше.

— Да, я вижу индикатор.

— Мы не успеем. Максимум — доползем до скутера.

Аркадий посмотрел в бурлящее небо. Когда-то все к этому приходят.

— К черту, поползли! Давай-давай, старичок!

Унизительное, болезненное копошение заняло десять минут. Аркадий замер, переждал, пока успокоится сердце, глотнул соленой воды из патрубка.

— Ты связался со Станцией?

— Да. Нам выслали кадавров навстречу.

— Ждем?

— Уже нет. Они заблудились.

— Значит, все, старичок? Сдаваться?

Борис повернулся к нему, прижался шлем в шлем, заорал так, что голосу в шлемофоне вторило дребезжание забрала:

— А что делать?! Я все обдумал! Все! Нас тут пришпилили, как двух жуков! И нет шансов! Все! Аут! Баста!

— Не ори. У меня есть один вариант. Сегодня утром читал мануал и наткнулся, как нарочно.

— Что?

Аркадий повернулся на бок, чуть не взыв от боли.

— Компьютер пишет метемпсикопии — наши личности. Что, если...

— Так. Понял. Ты предлагаешь использовать носителя? Кого?

— Кадавра.

— Это... возможно?

— Да. Такой умный кадавр легко сюда доберется. На Жабе, скажем.

— Так что же мы ждем?

— Есть нюанс. Компьютер ничего не будет делать с метемпсикопией, пока не зарегистрирует смерть оригинала. Таков закон.

— Хреновый ты нам выход предлагаешь.

Аркадий подключился к компьютеру Станции. На внутренней стороне забрала появились мерцающие строки:

>Аркадий Томин авторизирован

— Нужен андроид.

>К срочной активации готовы 15 андроидов

— Нестандартная загрузка.

>Параметры?

— Метемпсикопия Аркадия Томина.

>Обнаружена копия, обращение запрещено

— Причина запрета?

>Закон Федерации 1507

— Если не выполнить эту загрузку, мы погибнем!

>Попытка обращения

>Обращение запрещено

>Активизировать стандартного андроида?

— Борис!

— Да?

— Ничего не выходит!

— Я тоже пробовал.

— Было бы время, может, удалось бы обойти.

— Времени нет.

— Кому-то надо... Ты понимаешь?

— Да. Я готов.

— Я тоже, старичок.

— У тебя жена и дочь.

— У тебя мать. И не в этом дело. Бросим монетку?

— В радиусе ста парсеков монеток нет.

— Значит, бросим камушек. — Аркадий подобрал плохой булыжник, черный с одной стороны, выгоревший с другой. — Поехали, я первый.

Аркадий пришел в себя в кресле. Тихо встал, бросил рудосборник в утилизатор, осторожно прикрыл дверь в медблок.

Солнце на Снеге-II огромное, красное. Оно поднималось из-за моря, заливало холмы багровым сиянием, и деревья сбивались в табунчики, лезли к свету, к жизни. Кадавр 00435 сидел на вершине горы и смотрел вниз, в долину. Он где-то слышал о необходимости искать колодец на дне человеческой подлости. Мол, этот колодец приведет еще ниже, а там, наверное, найдется еще один колодец.

Что же, верно и обратное утверждение, поэтому он сидит на горе.





# Московский Дом Книги

## СЕТЬ МАГАЗИНОВ



КНИГИ

**Сергей Медведев**  
Физиология растений  
БХВ-Петербург, 2012



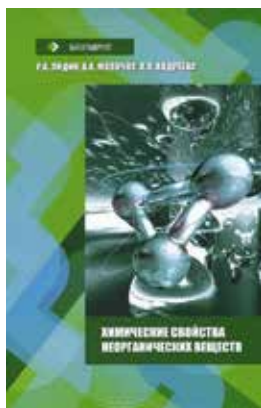
**В** учебнике отражены современные представления о физиологии растений, в том числе о фотосинтезе, дыхании, водном обмене, минеральном питании, мембранном и дальнем транспорте веществ, фитогормонах, о росте и развитии растений, размножении, устойчивости и адаптации к неблагоприятным факторам среды и патогенам, их вторичных метаболитах и системах регуляции физиологических процессов.

**Илья Леенсон**  
Превращения вещества.  
Химия  
ОЛМА Медиа Групп, 2013



**Э**та книга совсем не похожа на сухой и скучный учебник. Увлекательные рассказы об истории химии, об удивительных свойствах веществ и об ученым-химиках разных времен позволяют по-новому взглянуть на знакомый школьный предмет, узнать и полюбить химию, без достижений которой невозможно представить современный мир.

**Р.А.Лидин, В.А.Молочко,  
Л.Л.Андреева**  
Химические свойства  
неорганических веществ  
АРГАМАК-МЕДИА, 2014



**У**чебное пособие по химическим свойствам неорганических соединений 105 элементов Периодической системы Д.И. Менделеева, носит информационно-справочный характер и содержит сведения о 3500 веществах. Книга имеет четкую структуру, снабжена указателями, позволяющими легко найти нужное соединение или уравнение реакции.

**Ася Казанцева**

Кто бы мог подумать! Как мозг заставляет нас делать глупости  
АСТ, CORPUS, 2014



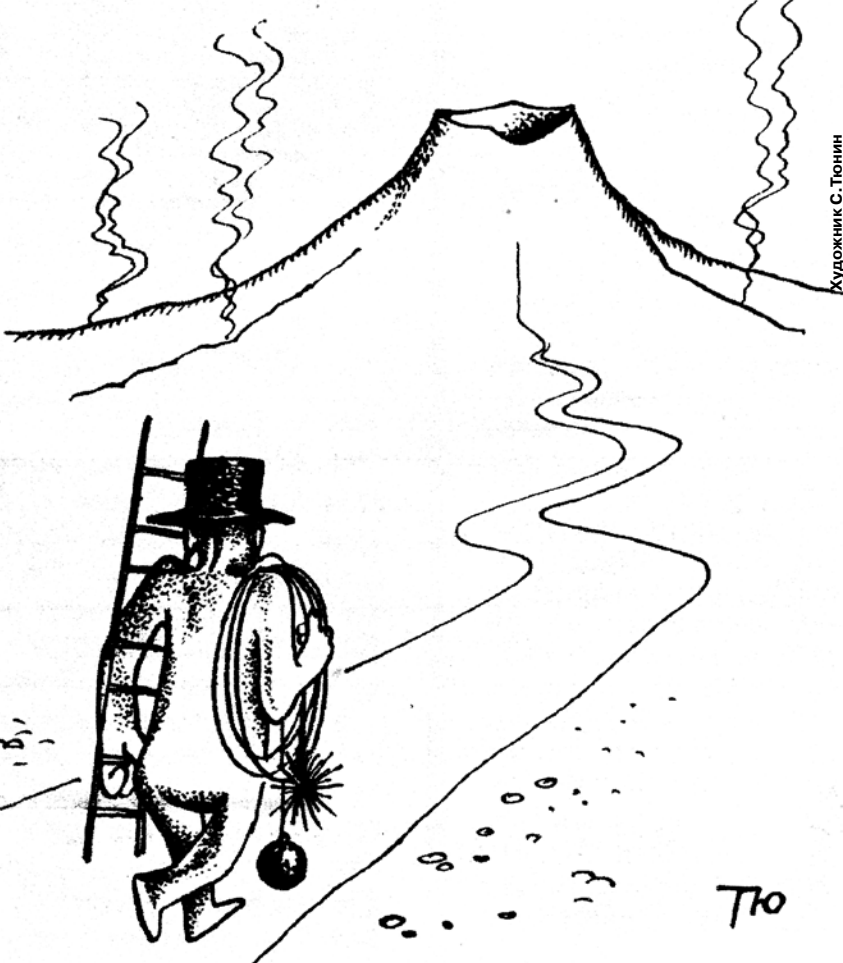
**Э**та книга — об «основных биологических ловушках, которые мешают нам жить счастливо и вести себя хорошо». Опираясь по большей части на авторитетные научные труды и лишь иногда — на личный опыт, автор увлекательно и доступно рассказывает, откуда берутся вредные привычки, почему в ноябре так трудно работать и какие вещества лежат в основе «химии любви».

**Евгений Кунин**  
Логика случая: О природе  
и происхождении  
биологической эволюции  
Центрполиграф, 2014



**О**б этой книге мы писали, когда еще она не была переведена на русский («Химия и жизнь», 2012, № 10), а также часто ссылались на работы автора в статьях из цикла «Биогенез». Евгений Кунин — ученый мирового уровня, специалист в области компьютерной и эволюционной биологии. Его монография блестяще рассказывает историю эволюционного учения, и главное, указывает пути его дальнейшего развития. Эта книга не относится к числу легких и развлекательных, но все, кто интересуется эволюционной проблематикой, должны ее прочесть.

**Эти книги можно приобрести  
в Московском доме книги.  
Адрес: Москва, Новый Арбат, 8,  
тел. (495) 789-35-91  
Интернет-магазин: [www.mdk-arbat.ru](http://www.mdk-arbat.ru)**



Художник С. Тюнин

## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

### Откуда дождик?

Вопросом «отчего порой лето в Европе бывает таким холодным и дождливым, что может наступить голод?» задались швейцарские исследователи из Бернского университета во главе со Стефаном Брэннеманном. К размышлениям на эту тему их, видимо, подтолкнули воспоминания о непогоде, установившейся летом 1816 года над Центральной Европой после извержения индонезийского вулкана Тамбора. Тогда случился такой неурожай, что от голода умерло множество народа по всему континенту, и без того ослабленному наполеоновскими войнами; бедствие не обошло и Швейцарию.

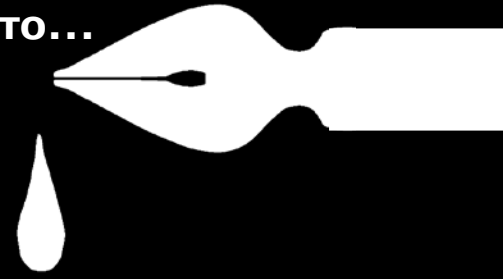
О связи извержений в тропиках и летнего холода в умеренных широтах свидетельствуют 14 событий, случившихся за 400 лет. Полный их анализ позволил построить модель явления.

При извержении вулкана в небо выбрасывается огромное количество аэрозольных частиц. Они затевают поверхность Земли, и температура падает. Вот простое, логичное объяснение феномена сверххолодного лета. Но почему оно еще и дождливое? А потому, что суша охлаждается сильнее, чем океан. В результате слабеют африканский и азиатский тропические муссоны. Казалось бы, это должно вызывать только засуху в окрестностях Сахары и на Индостане. Ан нет, такое ослабление провоцирует еще и сдвиг атлантической области низкого давления к югу. Вместе с ней к югу смещаются и пути атлантических циклонов, несущих влагу: на берегах Средиземного моря и в Альпах начинаются бесконечные дожди.

Атлантическая область низкого давления расположена в районе Исландии, за многие тысячи километров от местонахождения тропических муссонов. С учетом этого обстоятельства остается только поражаться мощи и масштабам процессов, связывающих различные явления в атмосфере планеты.

С.Анофелес

## Пишут, что...



...в Северной Америке в этом сезоне снова доминирует вирус свиного гриппа H1N1, вызвавший пандемию 2009 года, тогда как в Европе сезонный грипп был вызван как свиным вирусом, так и «обычным» H3N2 («New Scientist», 2014, 2958, 7)...

...в рамках проекта «Черное море как имитационная модель океана» проведена взаимная калибровка моделей циркуляции моря, разработанных в Морском гидрофизическом институте НАНУ и Институте высшей математики РАН («Известия РАН. Физика атмосферы и океана», 2013, 6, 49, 629—642)...

...секвенирован геном ребенка, принадлежавшего к культуре кловис, останки которого возрастом 12 500—12 700 лет были найдены в Монтане; подтверждено происхождение людей кловис от обитателей Сибири («Nature», 2014, 7487, 506, 225—229, doi:10.1038/nature13025)...

...усовершенствован искусственный реакционный центр, имитирующий компоненты фотосинтеза, который превращает воду в водород и кислород, используя энергию света («Nature Chemistry», 2014, doi:10.1038/nchem.1862)...

...метод фМРТ выявил в мозгу собак зоны, чувствительные к распознаванию голосов людей и животных, аналогичные тем, что имеются у людей («Current Biology», 20 февраля 2014 года, 10.1016/j.cub.2014.01.058)...

...можно утверждать, что в бассейне реки Мзымта, где расположены объекты Олимпийского комплекса, объемы селей и их повторяемость очень велики («Геозкология», 2013, 6, 516—529)...

...минерализованные воды, фонтанирующие из старых бесхозных геологоразведочных скважин, образуют солончаки и вызывают засоление рек («Водные ресурсы», 2014, 41, 1, 94—103)...

...среди жительниц Евпатории русские и украинки по сравнению с крымскими татарками реже бывают бездетными — 4,9 против 8,6%, и у них реже неблагоприятные исходы беременности, однако среднее число детей на одну женщину выше во второй группе («Генетика», 2013, 49, 12, 1398—1406)...

...конкурс на профессорскую позицию для постдокторантов в элитных университетах Германии составляет 50–70 человек на место («Вестник РАН», 2013, 83, 12, 1104–1107)...

...мозг в онтогенезе до формирования гематоэнцефалического барьера функционирует как эндокринный орган, причем один из его гормонов — норадrenalин мозгового происхождения («Доклады Академии наук», 2014, 454, 3, 355–358)...

...производное хинона из семейства «ионов Скулачева» SkBQ — не антиоксидант, как другие члены семейства, а, напротив, стимулирует производство перекиси водорода в митохондриях; это делает его перспективным средством для некоторых видов химиотерапии («Биохимия», 2013, 78, 12, 1724–1729)...

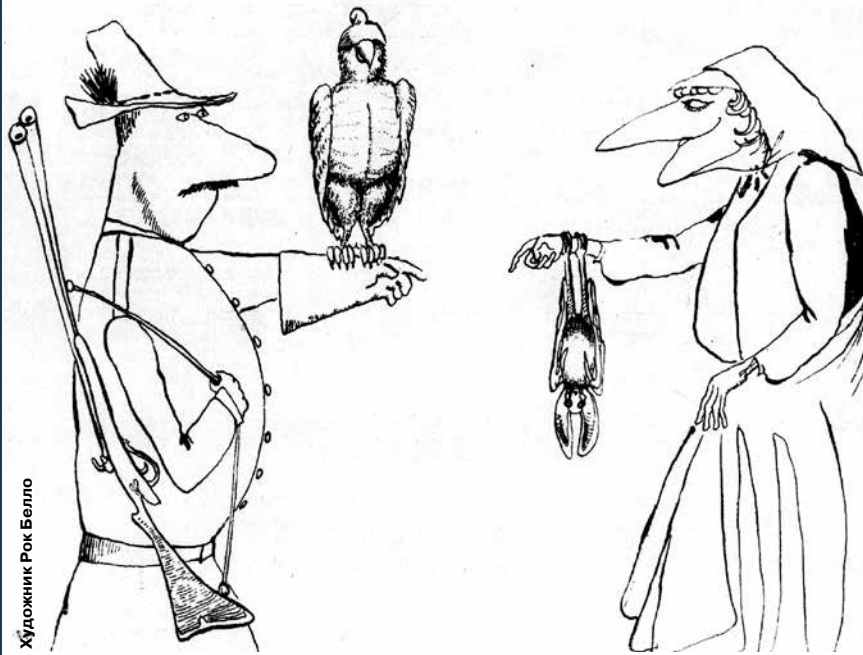
...для эффективного уничтожения раковых клеток в организме целесообразно будет создать нанороботы двух типов — выявляющие раковые клетки и уничтожающие клетки, помеченные устройствами первого типа («Биофизика», 2013, 58, 6, 1032–1037)...

...у крыс с активной стратегией поведения после хронического умеренного стресса чаще развиваются депрессивноподобные состояния; стресс моделировали вынужденным плаванием, а депрессию оценивали по снижению потребления сладкого раствора («Журнал высшей нервной деятельности», 2013, 63, 5, 589–596)...

...составлен опросник для изучения представлений о любви по трем субшкалам: «любовь — помеха», «любовь — самоотдача», «любовь — возвышающая человека сила» («Психологический журнал», 2014, 35, 1, 111–119)...

...в натянутых икрных шнурах серой жабы темпы развития эмбрионов выше, чем в ненапрянутых, а также выше их выживаемость и синхронность развития («Зоологический журнал», 2013, 92, 12, 1437–1449)...

...в России запатентован фильтр для воды, очищающий ее от бактерий и вирусов («Изобретатель и рационализатор», 2014, 1, 5)...



Художник Рок Белло

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Безработные мыши

Согласно одной из радикально-рыночных экономических теорий, не только люди производят товары и услуги. То же делает и природа, обеспечивая как возможность для предпринимательства, так и саму жизнь. Поэтому надо бы с ней вступить в товарно-денежные отношения и покупать у нее услуги, оплачивая их по полной рыночной цене. И тогда наступит полное благоденствие, никто и не подумает портить жизнь зверушкам, спасающим урожай от вредителей, рубить деревья, дающие кислород, загрязнять воду, но в то же время и научно-технический прогресс не будет сдерживаться всякими волонтеристскими природоохранными мерами. Защитники окружающей среды порой посмеиваются над такими заявлениями экономистов: мол, все дело в правильном подсчете, а кто ж его проведет? Однако экономистам теория понравилась, и они ее охотно используют. Увы, даже правильный подсчет стоимости природных услуг может подвести. Вот, например, история про североамериканских летучих мышей.

Эти рукокрылые — не менее полезные друзья человека, чем птицы, поскольку за ночь мышь съедает немало насекомых. В частности, долгие годы мыши охраняли поля хлопчатника, защищая их от злейшего вредителя — хлопковой совки. Как подсчитали исследователи из университетов Теннесси и Аризоны («PLOS One», февраль 2014; <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0087912>), стоимость их услуг в 1990 году была немалой — 24 млн. долларов. Но вот появился трансгенный хлопчатник, в клетках которого вырабатывается убийственный для гусениц совки бактериальный токсин. Площади, засеянные таким хлопчатником, стремительно росли, и в 2008 году доход от работы летучих мышей упал до 4,9 млн. долларов. Иными словами, мыши стали безработными, и теперь оказываемые им услуги по сохранению их места жительства идут уже в долг, против, так сказать, экономических законов. Согласно теории «природного рынка услуг», мыши превратились в нахлебников, сидящих на шее у властей, а лоббисты под разговоры о спасении биоразнообразия выбивают им пособия.

У мышей еще есть надежда, что природу не обманешь и совка когда-нибудь приспособится к яду. Но сама по себе идея перенести принципы рыночной экономики за пределы товарно-денежных отношений между людьми вызывает серьезное беспокойство за душевное здоровье радикальных экономистов.

А. Мотыляев



# Мария Склодовская-Кюри: триумф и трагедия

**Е**сли дать волю эмоциям, статья о ней будет пестреть восклицательными знаками. В одной семье пять Нобелевских премий; сама Мария — единственный ученый, удостоенный Нобелевской премии и по физике, и по химии, почетный член ста шести учреждений, академий и научных обществ. Ее жизнь была счастливой и трагической — радость работы, страшное горе, и травля, и предательство, и болезнь...

Мария родилась 7 ноября 1867 года в Варшаве, в небогатой семье школьного учителя физики и математики Владислава Склодовского. Отец сыграл огромную роль в жизни младшей дочери. Образованный и начитанный человек, он был в курсе последних достижений в физике, химии и математике, знал русский, латынь и греческий, говорил на французском, немецком и английском, писал стихи и переводил. В четыре года девочка сама научилась читать. Однажды, когда старшая сестра Броня стала показывать родителям, как она умеет читать по складам, Маня выхватила книжку, бегло прочитала первую строчку и тут же залилась слезами. Она испугалась, что ее будут ругать — научилась без спроса! Родители опасались слишком быстрого развития и не давали ей книг. Но куклы интересовали ее меньше, чем барометр, весы, коллекция минералов и электроскоп в кабинете отца. Будучи на два года моложе одноклассниц, Мария училась лучше всех.

В июне 1883 года Мария окончила гимназию с золотой медалью, но женщины в Варшавский университет не допускались. Она посещает занятия нелегального «Вольного университета». Сестра мечтает стать врачом, получив образование во Франции, но где взять деньги? Мария предлагает сестре план: Броня едет в Париж, а Мария работает гувернанткой и посылает Броне деньги для продолжения учебы, та получает диплом и работу и приглашает сестру. В 1885 году Мария получает место в семье богатого адвоката. Условия оказались ужасными, заработка недостаточно, чтобы покрывать свои расходы и откладывать для Брони. Она соглашается на другую, хорошо оплачиваемую работу, но далеко от дома, в сельской местности. Спустя год Мария видит, сколь наивным был ее план. Нужно не только несколько лет поддерживать Броню, отдавая ей половину жалованья, но и помогать стареющему отцу. Тем не менее она упорно занимается самообразованием, встает в шесть утра и читает книги по физике и математике.

Тут судьба дает ей шанс, который мог бы лишит мир будущей знаменитости. В нее влюбляется приехавший на каникулы старший сын хозяев, Мария соглашается связать с ним свою жизнь, но родители жениха считают это недопустимым мезальянсом. Мария остается в этом доме еще на год и по-прежнему упорно учится. Наконец, отец находит неприятную, но доходную работу, он может полностью оплачивать учебу Брони, а Мария начинает откладывать деньги.

Новый поворот: Броня выходит замуж за польского эмигранта и приглашает сестру приехать через год и поселиться в квартире, которую снимают они с мужем. Но за это время нужно скопить деньги на лекции в Сорбонне. Мария пишет: «У меня разрывается сердце, когда подумаю о своих загубленных способностях, а ведь они чего-нибудь да стоят». И тут появилась счастливая возможность поработать в химической лаборатории, тоже тайной. Ее организовал Иосиф Богуский, ее кузен, в прошлом ассистент Менделеева. Мария не только освоила лабораторную технику, она полюбила эксперимент.

После окончания школы прошло восемь лет — огромный срок. Одна надежда на сестру, Мария пишет ей: «Можешь ли ты, не очень обременяя себя, прокормить меня?» Ответ — «да»; самый дешевый билет, по Польше и Франции третий класс, а по Германии — четвертый, почти товарный вагон, и вот Мария — студентка естественного факультета.

Дальнейшее хорошо известно, хотя почти все биографы стараются избегать даже упоминания о травле. В 1903 году Мария и Пьер Кюри за открытие полония и радия были удостоены Нобелевской премии по физике. Работа настолько подорвала здоровье Марии, что она не смогла присутствовать на церемонии. Получение Нобелевской премии сделало ее самой известной женщиной в мире. В апреле 1906 года на Марию обрушился страшный удар:

*К.Н.МИРОНОВУ, Санкт-Петербург: Основным компонентом детских «волшебных елочек», то есть игольчатых кристаллов на картонном каркасе, может быть дигидрофосфат калия, но раствор также должен содержать модифицирующие добавки, которые и делают елку пушистой, препятствуя образованию крупных кристаллов, например мочевины или сульфонов.*

*А.ДЕНИСОВУ, Зеленоград: Живущими называют полимеры, концевые группы которых сохраняют способность к присоединению новых мономеров или других реагентов после завершения полимеризации*

*Л.С.УСИЧ, Москва: Вообще говоря, ювелирные изделия с бирюзой не рекомендуются мыть, ее протирают сухой замшей, фланелью или шерстяной тканью; можно также поискать в продаже специальное средство для чистки этого «живого» камня.*

*М.М.ШУБИНУ, Красноярск: Клеящая масса на прозрачном скотче — это, как правило, акриловый клей; от полимерных материалов он, в большинстве случаев отделяется нормально, однако на дереве может оставлять следы, в особенности если прошло много времени.*

*А.Ф.ХАРИТОНОВОЙ, Ростов-на-Дону: Ранее считалось, что дамасская роза, из которой получают розовое масло, — гибрид шиповников французского и собачьего и *Rosa gallica* и *R. canina*, а теперь генетики установили, что у нее было три родительских вида — *R. gallica*, *R. moschata*, *R. fedtschenkoana* («Gene», 2000, 259, 1—2, 53—59, doi: 10.1016/S0378-1119(00)00487-X)*

*Алине ШЕВЧЕНКО, электронная почта: Имеретинский шафран — это вообще не шафран, он делается из соцветий бархатцев (*Tagetes*), а настоящий шафран — из тычинок крокусов; от куркумы отличается более светлым цветом и нежгучим вкусом.*

**ТЕМ, КТО ЧИТАЕТ ЖУРНАЛ БЕСПЛАТНО И ХОТЕЛ БЫ ПОМОЧЬ РЕДАКЦИИ:** *Внести свою лепту в поддержку издания журнала вы можете на нашем сайте [www.hij.ru](http://www.hij.ru).*

**ВСЕМ ЧИТАТЕЛЯМ:** *Если вы подписались на электронную версию и в разумные сроки не получили письма со ссылкой для скачивания, пожалуйста, отправьте письмо на [redaktor@hij.ru](mailto:redaktor@hij.ru).*



ПРОГУЛКИ ПО ИСТОРИИ ХИМИИ

ее муж, переходя улицу, погиб под колесами огромной фуры. Через четыре года после смерти мужа у Марии возник роман с ее давним знакомым — физиком Полем Ланжевенем. Он был женат, но с женой ему не повезло, с самого начала совместной жизни пошли ссоры. Однажды он появился в своей лаборатории весь в синяках — это были следы побоев жены, ее сестры и тещи. Казалось бы, французу иметь любовницу, да еще при такой жене, — явление самое обыкновенное. Но не в том случае, если эта женщина — Мария Кюри, у которой и без того достаточно завистников. Жена перехватывает часть писем Марии ее мужу и шантажирует обоих, а брат жены, редактор одной из парижских газет, публикует эти письма. Под окнами ее дома и лаборатории буйствующие толпы кричат оскорбления, терроризируют ее дочерей. Еще бы: иностранка, разрушительница добропорядочной семьи, запятнавшая честь погибшего мужа! Мария с дочерьми вынуждены искать убежища в доме друзей. Одни газеты пишут, что она еврейка, другие — что она русская или даже немка (одно обвинение страшнее другого!), жена Поля грозит убить ее, журналисты пишут, что Мария завязала интрижку при жизни мужа и поэтому тот покончил собой, наиболее рьяные требуют выслать Марию из страны. Ланжевен вызывает одного из журналистов на дуэль, которая закончилась ничем (оба отказались стрелять). Но Поль никак не может принять окончательного решения, хотя Мария предлагала ему развестись с женой. Коллеги-ученые во Франции тоже не спешат прийти на помощь измученной женщине; они, как это чаще всего бывает в подобных ситуациях, молчат.

Травлю не остановило даже присуждение Марии осенью 1911 года второй Нобелевской премии — по химии. Более того, знаменитый шведский химик Сванте Аррениус пишет Марии, что ее появление на церемонии нежелательно. Но отказ от выступления

означает признание какой-то вины — она приезжает и делает доклад о своих работах, который посвящает памяти мужа, считая, что премия по заслугам принадлежит и ему.

После награждения — болезнь почек и тяжелая депрессия; Мария переносит операцию, лечится в частной клинике под чужим именем. Не желая возвращаться во Францию, принимает приглашение физика Герты Айртон пожить некоторое время в Англии, куда прибывает под фамилией Склодовская. Гертга была едва ли не единственным ученым, оказавшим ей помощь.

Весной 1934 года Мария совершила с Броней автомобильное путешествие, во время которого сильно простудилась. Температура держалась необычно долго, врачи считали, что это грипп, но это была новая болезнь, которую скоро назовут лучевой. Виновик болезни — ее детище, радий. Личные книги и лабораторные журналы Марии Кюри до сих пор считаются опасными и хранятся в оцинкованных ящиках.

Мария и Пьер похоронены в парижском Пантеоне, и она там — единственная женщина среди трех десятков великих французов. Она чуть больше года не дожила до присуждения Нобелевской премии ее дочери Ирен и зятю Фредерику Жолио за открытие искусственной радиоактивности.

В честь Марии Склодовской-Кюри названы минералы, онкологический центр, колледж и улица в Варшаве, университет в Люблине, множество школ в Польше, Университет Пьера и Марии Кюри, Институт Кюри и станция метро в Париже, курорт в Богемии.

И.А.Леенсон

# Кристаллы

Фотография к статье «Еще раз про кристаллы» (с. 50)



У сульфата железа есть несколько кристаллогидратов. Светло-зеленые (сверху) выросли в растворе 45%-ной серной кислоты, это четырехводный кристаллогидрат. Выращивая очередную порцию кристаллов, я уменьшил концентрацию кислоты примерно до 10–15%. Получились салатные поликристаллы — семиводный кристаллогидрат.



Соль Мора — почти тот же сульфат железа, но со значительным количеством сульфата аммония



Берем оба раствора — сульфата алюминия и сульфата аммония, — нагреваем и сливаем растворы в одну емкость. После остывания фильтруем и ставим в прохладное место. В итоге вырастают крупные прозрачные и бесцветные кристаллы интересной формы (октаэдр, но если растить на дне, то форма немного искажается)



Кристаллы серы — желтые ромбические, иногда вытянутые октаэдры, размер — 2–3 мм



У фосфата калия бесцветные, прозрачные кристаллы. Их форма — гексагональная бипирамида: две пирамиды с общим шестиугольным основанием



Алюмокалиевые квасцы — прозрачные кристаллы со слабым розоватым оттенком. Чистые алюмокалиевые квасцы бесцветны, но в них бывает примесь хромокалиевых квасцов — они придают кристаллу розовый цвет



Иодид натрия, правда, загрязненный, но его можно очистить перекристаллизацией. Кристаллы выращены режимом охлаждения до 0°C.



Кристаллы из кислоты — что-то необычное, не правда ли?

