



**ХИМИЯ И ЖИЗНЬ**

**3** /2017







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

**Редакторы и обозреватели**  
Л.А.Ашкинази,  
В.В.Благутина,  
Ю.И.Зварич,  
С.М.Комаров,  
В.В.Лебедев  
Н.Л.Резник,  
О.В.Рындина

Подписано в печать 28.02.2016

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 —  
фрагмент работы Хосе дель Кастильо  
«Мастерская художника». Об измере-  
нии любви человека к котам читайте  
в статье «Как австрийские кошки  
сорвали тест».

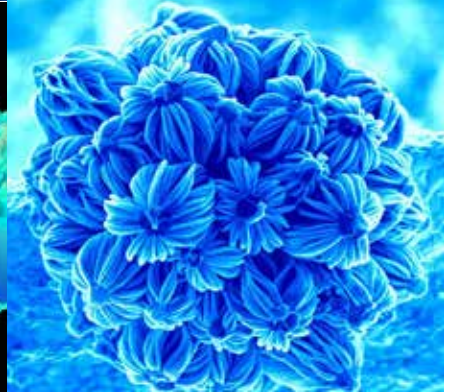
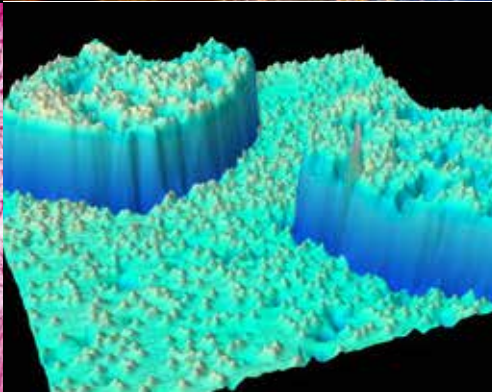
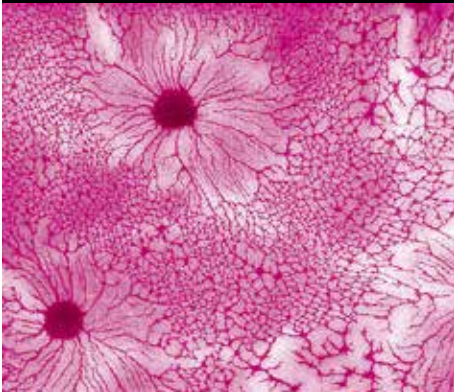
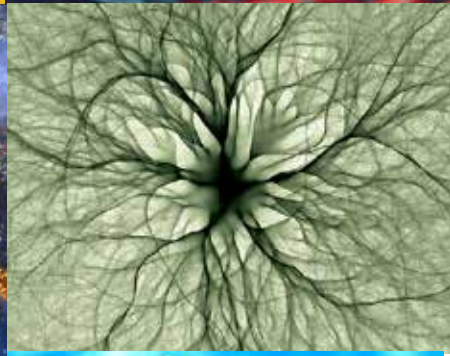
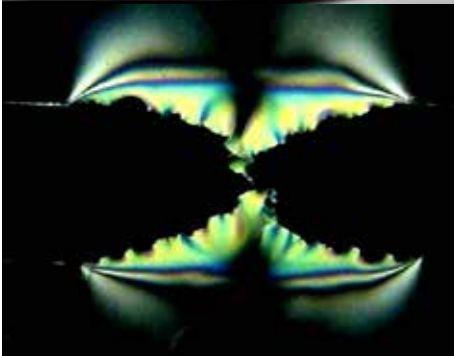
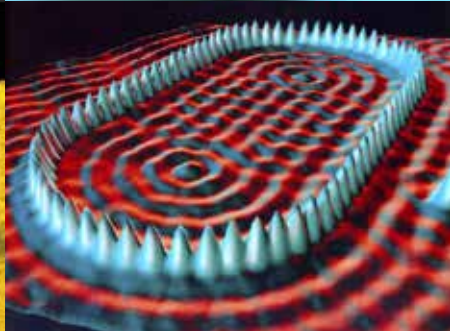
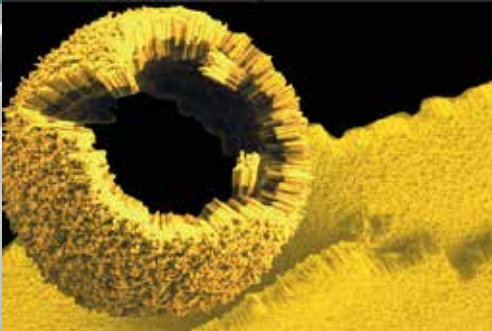
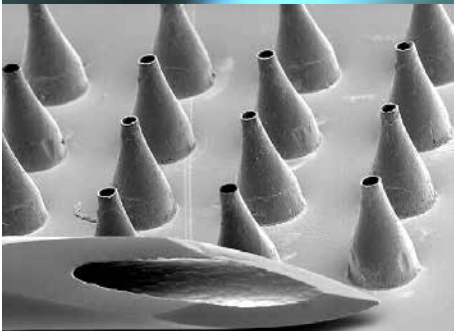
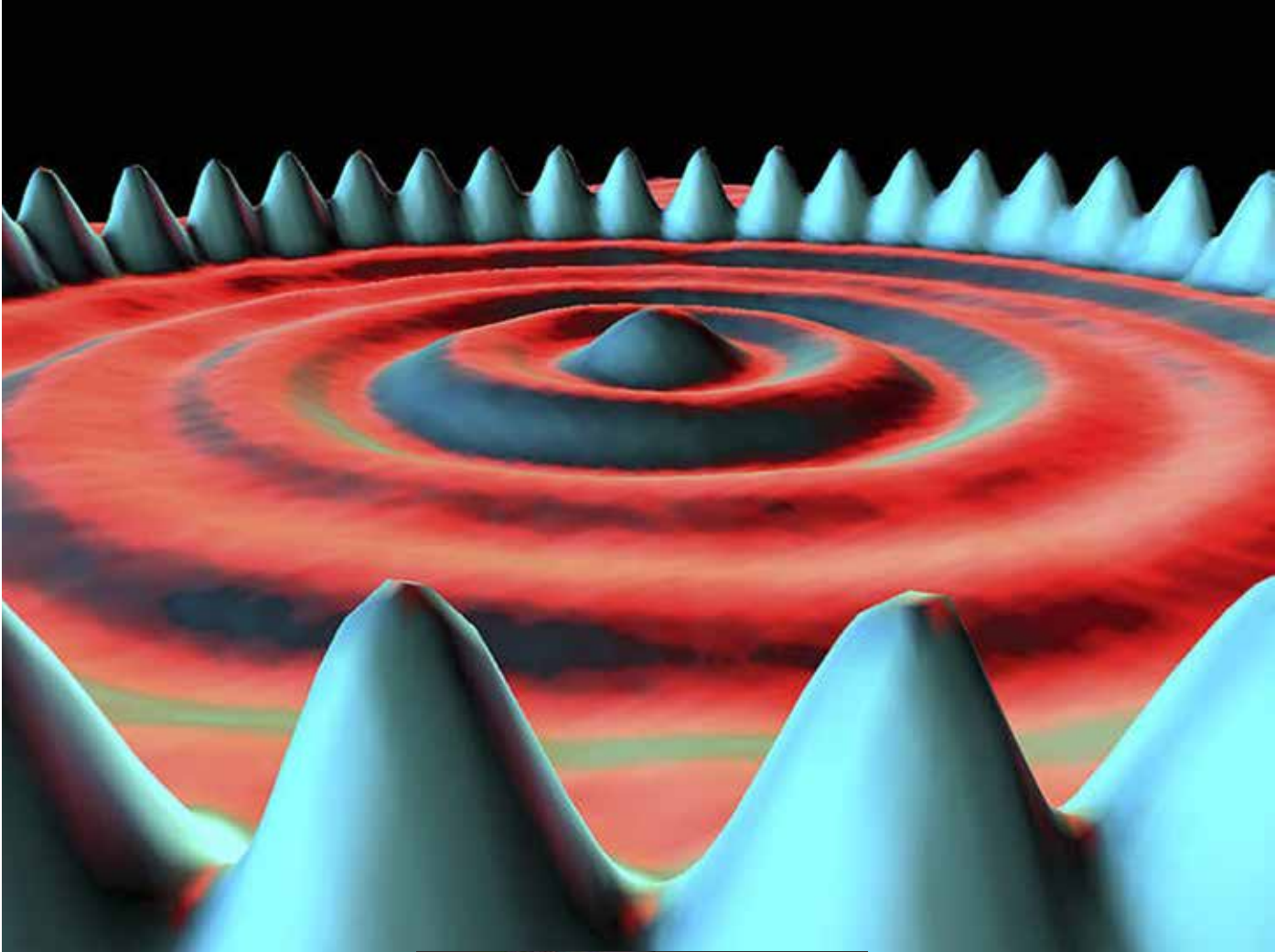
*Если анекдот — оружие слабого,  
ясно, почему мужчины насочиняли  
столько анекдотов о женщинах.*

*Лешек Кумор*

## Содержание

<b>Интервью</b>	
МИССИЯ ВЫПОЛНИМА. С.В.Калюжный .....	2
<b>Элемент №...</b>	
АЗОТ: ФАКТЫ И ФАКТИКИ. А.Мотыляев .....	8
<b>Вещи и вещества</b>	
ГАЗ, КОТОРЫЙ СТАЛ ЖИДКИМ. А.Мотыляев .....	11
<b>Технологии</b>	
НЕМНОГО АЗОТА В БЛЕСТЯЩЕЙ СТАЛИ. С.М.Комаров .....	14
<b>Хемоскоп</b>	
ХИМИЯ ОСЯЗАНИЯ. ТАЙНА ПАТЕНТА УИЛЬЯМА ПЕРКИНА. ФОСФОР В РОЛИ АЗОТА. А.И.Курамшин.....	16
<b>Проблемы и методы науки</b>	
РЕНЕССАНС р-ЭЛЕМЕНТОВ. А.И.Курамшин.....	18
<b>История современности</b>	
ЦИКЛОГЕКСЕН ПЛЮС ТРИНИТРОМЕТАН. И.А.Леенсон.....	22
<b>Нанофантастика</b>	
СТО. Андрей Днепровский.....	25
<b>Болезни и лекарства</b>	
ОЧЕРКИ КОМБУСТИОЛОГИИ: ЛЕКАРСТВА ВМЕСТО СКАЛЬПЕЛЯ. Т.Г.Руденко .....	26
<b>Жертвы науки</b>	
НЕГВИНЕЙСКАЯ НЕСВИНКА. С.Ястребова .....	30
<b>Дневник наблюдений</b>	
КАК АВСТРИЙСКИЕ КОШКИ СОРВАЛИ ТЕСТИРОВАНИЕ. Н.Анина .....	32
<b>Проблемы и методы науки</b>	
ВОПРОСЫ ПОЛА У ЖУРАВЛЕЙ. О.Н.Нестеренко, Т.А.Кашенцева .....	34
<b>Проблемы и методы любви</b>	
ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ФИТНЕСА. Н.Л.Резник.....	40
<b>Мысли о будущем</b>	
МАШИНА ПРОСТРАНСТВА. Виктор Вагнер .....	44
<b>Проблемы и методы науки</b>	
МОЛНИИ ШАРОВЫЕ, НО РАЗНЫЕ. А.И.Григорьев.....	46
<b>Страницы истории</b>	
ЭЛЕКТРОСТАЛЬ: НЕ ТОЛЬКО СТАЛЬ. С.В.Багоцкий.....	52
<b>Что мы съедим</b>	
БОБЫ. Н.Ручкина.....	54
<b>Фантастика</b>	
ПРОСВЕТИТЕЛЬ. Татьяна Левченко .....	56
<b>Химики и лирики</b>	
КАК СОТВОРИТЬ СУПЕРМЕНА. Владимир Борисов, Александр Лукашин.....	64

ИНФОРМАЦИЯ	21, 39, 51	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
КНИГИ	29	ПИШУТ, ЧТО...	62



# Миссия выполнима



ИНТЕРВЬЮ

*Десять лет назад в России стартовала президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии». Тогда же, в сентябре 2007 года, была создана «Российская корпорация нанотехнологий», которая в 2011-м превратилась в акционерное общество РОСНАНО. 100% его акций находятся в государственной собственности. Десятилетний юбилей — отличный повод подвести итоги, обсудить удачу и неудачу строителей nanoиндустрии в России. И поговорить с тем, кто прошел весь этот путь. С первых шагов. Наш собеседник — Сергей Владимирович **Калюжный**, выпускник химфака МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор химических наук, профессор, советник председателя правления РОСНАНО по науке — главный ученый.*

**«Нанотехнологии уже в ближайшее время принципиально изменят наш мир!» С таких лозунгов начиналась технологическая революция в мире в 2001 году, когда в США была принята Национальная нанотехнологическая инициатива. Прошло 16 лет. Нанотехнологии изменили мир?**

На мой взгляд, ожидания в целом сбываются, просто мы не отдаем себе в этом отчета и все принимаем как должное. Если посмотреть на прошедшие 16 лет, то нанoeлектроника, главнейшая составная часть нанотехнологий, сделала колоссальный рывок вперед. Мы уже забыли, что в 2001 году мобильные телефоны были только у состоятельных людей. Сегодня мобильных в два раза больше, чем жителей нашей планеты. Причем это ведь не только телефон, но еще и телевизор, и магнитофон, и диктофон, и фотоаппарат... В результате многие традиционные товары просто исчезли с рынка. Триумф цифровых технологий стал возможным только потому, что нанотехнологии предложили соответствующую элементную базу. За прошедшие полтора десятка лет топологический размер интегральных схем уменьшился на порядок — до 14 нм, а мощность устройств возросла многократно. Прогресс в информационных технологиях, которые сегодня творят чудеса, был сделан в значительной степени за счет нанотехнологий. Точно так же и фотовольтаика. Сейчас никому не приходит в голову строить в неэлектрифицированных деревнях Африки линии электропередач — они вряд ли нужны. Устанавливаете небольшие модули на крышах и получаете электроэнергию, которой хватает для жизни семьи — смотреть телевизор, заряжать мобильник, питать холодильник и обеспечивать освещение. Очень многое перешло на элементную базу нано, поэтому у нас действительно совершенно другая жизнь. И возникла она благодаря нанотехнологиям. Не будь их — ничего бы такого не было, точнее, так быстро не случилось бы. Ведь благодаря государственным нанотехнологическим программам разных стран большие деньги пошли в науку, в разработки, в промышленность. И вот результат: мир изменился.

**Россия присоединилась к нанотехнологической революции в 2007 году, когда по решению президента была провозглашена государственная стратегия развития на-**

**ноиндустрии и создана соответствующая госкорпорация. Что можно сказать об успешности американской и нашей нанотехнологических программ?**

Американская nanoинициатива направлена, в первую очередь, на финансирование науки. За прошедшие годы только в науку, в исследования в области нано, США вложили 22 миллиарда долларов. В этом финансовом году, который начался в США 1 октября, в американскую нанотехнологическую науку поступят еще полтора миллиарда долларов. Причем американская Национальная нанотехнологическая инициатива (NNI) увязана с множеством других федеральных программ — «Инновационные исследования в малом бизнесе», SBIR (Small Business Innovation Research), «Трансфер технологий малого бизнеса», STTR (Small Business Technology Transfer), программы Национального научного фонда NSF (National Science Foundation), Национального института здоровья NIH (National Institute of Health). Так что задача американской инициативы — поднять уровень американской науки в области нано. РОСНАНО было создано, в общем, для другого. Правительство поставило перед нами задачу создать в России nanoиндустрию, то есть производства, новые и модернизированные, на которых используют нанотехнологии, и новые рабочие места по всей стране.

**Эту задачу решить удалось?**

В значительной степени. Представьте себе: в 2007 году, когда никто еще толком ничего не понимал, утверждается стратегия, в которой записано черным по белому, что выручка портфельных компаний РОСНАНО в 2015 году должна составить 300 миллиардов рублей, а выручка всей российской nanoиндустрии — 900 миллиардов (3% от мировой nanoиндустрии). Тогда, в 2007 году, время было другое, в России экономика росла по 7—8% в год. Денег было много. От нефтяных денег РОСНАНО и выделили 130 миллиардов рублей — давайте, развивайте нанотехнологии, стройте отечественную индустрию. Но результат, записанный в стратегии, обеспечьте. Тогда многим казалось, что миссия невыполнима. Однако прошел 2015 год, и объем продаж российской nanoиндустрии составил около 1,3 триллиона рублей, из них почти четверть, 341 миллиарда рублей, — продажи портфельных компаний РОСНАНО. Получается, что мы выполнили правительственное задание, причем эти цифры считаем не мы, а Росстат, независимо от нас. За весь период деятельности профинансировано 107 проектов, запущено 77 новых заводов, фабрик, цехов и R&D-центров, создано более 30 тысячи рабочих мест. И это, безусловно, наше главное достижение.

Конечно, десять лет назад, когда мы только начинали, абрис будущей nanoиндустрии представлялся несколько иным. Казалось, что будет гораздо больше отечественных достижений в области нанoeлектроники, в «зеленых» технологиях, но какая получилась — такая и получилась. Сегодня основной вклад в выручку у нас вносит производство наноматериалов и композиционных материалов на их основе.

## Что вы расцениваете как самую большую удачу в наноиндустрии, которую создало РОСНАНО?

Нам удалось создать несколько подотраслей в стране, и в первую очередь солнечную энергетику. Солнечной энергетикой занимались и в Советском Союзе, но прицельно для космических программ. Источник энергии для работы космических станций один — Солнце, топлива в космос не навозишься. Тогда была такая оценка: чтобы вывести один килограмм груза на орбиту, требуется потратить тысячу долларов. Сейчас цены в несколько раз выросли. Для космоса требуются максимально эффективные солнечные батареи, с максимальным КПД. В то время предприятие «Квант» делало уникальные солнечные батареи с высоким КПД — под 40%. Столь высокую эффективность обеспечивала многослойная структура батареи, которая могла по максимуму использовать весь солнечный спектр, а не только видимый свет. Кремний, арсенид галлия, фосфиды индия и алюминия — все это позволяло преобразовывать в электричество не только видимый свет, но и УФ-, и ИК-излучение. Поэтому солнечные батареи для космоса были столь же уникальными, сколь и дорогими, хотя за ценой никто не стоял — это ведь была приоритетная государственная космическая программа. Так что индустрия солнечной энергетики в каком-то виде существовала, для специальных нужд, но она была, скажем так, бутиковая.

РОСНАНО удалось запустить механизм по серийному созданию солнечных электростанций (СЭС) в стране, которые производят электроэнергию для россиян. У нас есть компания «Хевел» — совместное предприятие с компанией «Ренова»: у РОСНАНО 49%, у «Реновы» 51%. Мы построили завод в Новочебоксарске, который начал производить солнечные модули. Но жизнь оказалась сложнее — быстро выяснилось, что просто модули никому не нужны. Потребителю нужен лишь электрический ток, чтобы подключиться к розетке. Поэтому нам пришлось вложиться в инженеринговую компанию, которая из этих модулей строит электростанции. А это не только солнечные батареи, производящие постоянный ток, но еще и инверторы, преобразующие постоянный ток в переменный — именно такой мы можем давать в сеть, — автоматика и система управления ею. Получается готовая электростанция, которая уже интересна потребителю.

В 2015 году мы построили солнечные электростанции суммарной мощностью 30 мегаватт, еще 70 МВт добавили в 2016-м. Наши станции пока строятся в трех регионах. Во-первых, это Республика Алтай, где во многих горных районах нет линий электропередач и централизованного электричества. Прежде сюда машинами возили солярку и производили электричество с помощью дизель-генераторов. Второй регион — Оренбургская область, где вполне достаточно солнца (сравнимо с Южной Европой), и третий — Башкирия. Казалось бы, Башкирия находится в Европейской части РФ — какие проблемы с электричеством? Но, оказывается, и в Башкирии есть энергодефицитные регионы. Поэтому мы строим СЭС в первую очередь в таких регионах и потихоньку расширяем географию. В этом году намерены укрупнить некоторые уже построенные станции, скажем, с 5 до 15 МВт.

Солнечная энергетика в России пока работает в льготных условиях — благодаря государственной программе стимулирования возобновляемых источников энергии, которая была создана в том числе и при нашем участии. В результате инвесторы смогли вложиться в солнечные электростанции и рассчитывают вернуть свои инвестиции в разумный срок и с приемлемой доходностью.

Такая же система стимулирования у нас в стране разработана для ветроэнергетики, и мы сейчас активно включаемся в это направление. Первая ветровая электростанция на 35 МВт будет построена финской компанией «Фортум» в Ульяновской области уже в этом году. Но вообще, мы

хотим с этой компанией организовать совместный фонд, который будет не только строить ветроэлектростанции, но и налаживать производство необходимых для них элементов в России. Ведь программа стимулирования устроена таким образом, что в нее попадают только те электростанции, которые в основном сделаны на территории России. Для солнечных электростанций порог локализации — 70%. То есть вы не можете ввозить китайские модули, строить здесь электростанции и получать субсидию — в этом случае мы субсидировали бы чужую промышленность. Для ветровых электростанций этот порог — 65%. Конечно, что-то пока придется импортировать, но мы планируем, например, изготавливать средние по размеру лопасти (до 60 метров) в Ульяновске.

Госпрограмма стимулирования альтернативной энергетики работает до 2024 года. Будем надеяться, что к тому времени появятся и опыт, и много электростанций и себестоимость производства их компонентов заметно снизится.

## Согласна, это впечатляющий результат. Но успех надо развивать. Есть ли какие-то новые идеи в области энергетики?

Мы хотим вместе с «Ростехом» заняться производством «зеленой» электроэнергии — из мусора, из органики природного происхождения. Ее переработка не дает дополнительного выброса углекислого газа в атмосферу — что растения забрали из воздуха для своего роста, то мы и отдали. Баланс по CO<sub>2</sub> нулевой. Мы планируем построить четыре таких завода в Московской области и один в Казани, пока. Это будет пятилетняя программа, поскольку требуется время, чтобы все построить и запустить.

## А есть ли удача такого же рода в области медицины?

Мы развиваем ядерную медицину, в основном для диагностики, но также и для терапии. У нас есть совместная компания вместе с частными инвесторами «ПЭТ-Технолоджи», которая создает позитронно-эмиссионные центры (ПЭТ-центры) в России и производит радиофармпрепараты. Мы построили уже восемь таких центров в регионах — в Липецке, Курске, Белгороде, Уфе, Екатеринбурге, Орле, Тамбове и Москве, еще несколько создаются и строятся. Позитронно-эмиссионную томографию используют для ранней диагностики онкологических заболеваний, в кардиологии и неврологии. В одном приборе совмещаются функции ПЭТ и КТ (компьютерной томографии), поэтому мы получаем трехмерную картину функциональных изменений в тканях, которая накладывается на пространственное изображение внутренних органов с высоким разрешением.

Суть диагностики в том, что быстрорастущие раковые клетки потребляют много глюкозы. Если пациенту вводить в кровь вещество с радиоактивной меткой — фтордезоксиглюкозу с O<sup>18</sup>, то она будет концентрироваться в клетках злокачественной опухоли и мы увидим ее в нашем аппарате. Эти радиометки для диагностики мы производим в Ельце и Уфе. Сами томографы пока импортные. Но надеемся, что «Росатом», который всегда выражал заинтересованность, начнет делать эти аппараты.

Вообще, Россия — самый большой в мире экспортер изотопов. На Западе наши изотопы расфасовывают в ампулы и продают нам же как препараты, но уже по другим ценам. Мы решили это положение исправить и создали в Дубне производство микроисточников полного цикла по немецкой технологии, которое производит «пистолеты» и «пульки» для лечения аденомы простаты. В крошечных пулях находится радиоактивный изотоп йода. Пульки выстреливают точно в опухоль в простате, и радиоактивный препарат начинает уничтожать вокруг себя злокачественные клетки. Метод гораздо более щадящий, нежели хирургическое вмешательство. Отработавшие пульки, правда, остаются в простате на всю

жизнь, но они не мешают — они маленькие, пациент их не чувствует. Хотя, возможно, в аэропорту такой пациент может и «звенеть». Наша страна и так производила изотопы, а мы просто упаковали их в правильный инструмент, на который есть спрос в стране.

### **А что касается обычных лекарств — здесь РОСНАНО участвует?**

История с фармой у нас в стране тяжелая. В Советском Союзе была негласно принята такая концепция: новые лекарства — дело дорогое и непонятное, а население надо лечить массово, не только богатых. Поэтому будем ждать 20 лет, когда истечет срок патентной защиты, затем наши умелые химики раскроют формулу, синтезируют действующее вещество, и будем производить. Вот такой прагматичный подход. Кроме того, мы входили в состав Совета экономической взаимопомощи (СЭВ), где было разделение труда — высокая фарма была отдана Венгрии, Югославии, и все современные лекарства мы как правило импортировали оттуда. А все недорогие, проверенные временем массовые препараты — аспирин, анальгин, пиррамидон, антибиотики и другие — производила советская фармацевтическая промышленность. Рынок был закрытый, государство требовало дешевых лекарств для населения, вот и производили. А когда рынки открылись, то оказалось, что значительная часть наших фармацевтических заводов устарела. И продукты устарели. Поэтому сегодня важно строить в России современные заводы, что и предусматривает государственная программа «Фарма-2020», так ее коротко называют.

Мы построили два фармацевтических завода с высокотехнологическим производством полного цикла по стандартам GMP (Good Manufacturing Practice — системе норм и правил фармпроизводства, принятой в развитых странах и гарантирующей качество продукции). Один из самых успешных у нас — «Нанолек» в Кировской области, который делает лекарства на импортных субстанциях, в том числе биопрепаратах, и инновационные вакцины в сотрудничестве с зарубежными фармацевтическими компаниями, в ближайшие год-два планируется полная локализация производства вакцин, включая собственную вакцину против гриппа. У этого завода большие мощности, которые пока до конца не загружены. Здесь можно выпускать лекарственные препараты по контрактам — приходите со своим лекарством, и будем производить, если, разумеется, есть все необходимые разрешительные документы. Еще один завод — в Обнинске (Калужская область). Он выпускает собственные препараты и диагностические тест-системы.

Другая наша портфельная компания «НовоМедика» заключила генеральное соглашение с одним из лидеров мировой фармацевтики, — компанией «Pfizer». Мы начинаем совместное строительство крупного предприятия в Калужской области, на котором будем производить несколько десятков препаратов самой компании «Pfizer» и новые отечественные препараты, разработанные в исследовательском подразделении нашей портфельной компании. Пять уже практически готовы к производству, и, видимо, вскоре они будут запущены.

Мы вкладываем деньги и в разработку новых лекарственных препаратов, хотя быстрого результата здесь ждать не приходится — путь от найденной мишени, скажем, фермента, и подобранного ингибитора до лекарства занимает не менее десяти лет, такова мировая практика. У нас довольно много медицинских проектов, но они в большинстве своем находятся как раз на стадии разработки или оформления разрешительной документации. Часто мы вкладываем деньги в разработку технологии, а потом технологию продаем кому-то из большой фармы.



ИНТЕРВЬЮ

Например, долю нашей дочерней компании «Роснано-МедИнвест» в капитале компании Tobira Therapeutics (разрабатывает препараты для лечения заболеваний печени, воспалительных заболеваний, фиброза и ВИЧ-инфекции) выкупила одна из крупнейших мировых фармацевтических компаний «Allergan».

### **Мир устроен так, что удачи не живут без неудач, и одно часто бывает следствием другого. Что бы вы отнесли к самым большим неудачам РОСНАНО за эти десять лет?**

Действительно, неудачи связаны с нашими успехами. В начале нашего первого инвестиционного цикла мы довольно сильно вложились в солнечную энергетику. В соответствии с тенденциями того времени мы сделали ставку как на поликристаллический, так и аморфный кремний, или метод тонких пленок. Элементы на основе поликристаллического кремния дороже, но их КПД выше. Аморфный кремний дешевле, его просто наносишь на стекло тонкой пленочкой — и вот тебе фотоэлемент. Однако КПД у него ниже. С модулями на аморфном кремнии, который мы производим на заводе в Новочебоксарске, все нормально, а вот проект «Усолье-Сибирский Силикон» по производству поликремния лопнул. Когда мы его начинали, килограмм поликристаллического кремния солнечного качества стоил 400 долларов. Пока мы строили и налаживали производство, стоимость поликремния благодаря Китайской Народной Республике на мировом рынке упала в 20 раз, до 20 долларов. Завод наш оказался неконкурентоспособным. Это одна из самых больших неудач РОСНАНО.

Но из удач и неудач мы делаем выводы. Мы понимаем, что КПД наших фотоэлементов, которые мы производим на «Хевеле» в Новочебоксарске, недостаточно высокий. С помощью нашего Научно-технического центра, который находится в Физико-техническом институте имени А.Ф.Иоффе РАН в Санкт-Петербурге, мы разработали тандемную технологию для фотовольтаики, которая включает в себя и поликристаллический кремний, и аморфный кремний, в результате КПД стал больше 20%. И сейчас мы интенсивно реконструируем наш завод под новую технологию. Вообще, тонкопленочная технология производства солнечных модулей методом напыления нанослоев позволяет многократно сократить использование кремния, а солнечные модули, производимые в Новочебоксарске, способны вырабатывать электричество даже в пасмурную погоду.

На этом рынке конкуренция очень большая, требуется постоянно улучшать производство, повышать КПД, потому что стоимость киловатта солнечной энергетики падает с каждым годом. Как говорила Алисе в Зазеркалье шахматная Королева, для того чтобы удержаться на месте, нужно бежать. Вот и бежим.

В конце марта будет завершён монтаж нового оборудования, и в этом году, после отладки, завод даст рынку более совершенные модули, на которые есть хороший спрос. Наша компания, например, участвует в тендерах по строительству СЭС в Южной Африке.

Мы многому научились за эти годы и продолжаем учиться. Потребитель хочет платить за электрический ток или газ и больше ни о чем не думать. Главное — чтобы они были. Это совершенно другая бизнес-модель. Поэтому мы сейчас движемся еще в одном направлении — делаем комбинированные электростанции, которые состоят из фотовольтаического модуля, дизель-генератора и системы аккумуляторов. Когда солнце светит хорошо, работают солнечные элементы, а аккумуляторы запасают энергию. Когда перестает светить — используется энергия аккумуляторов, а когда солнца долго нет — в ход идет дизель. Для российского климата это очень хороший вариант. Сейчас мы построили и запустили в Забайкальском крае такую комбинированную электростанцию — 120 киловатт дает солнце, 200 кВт — дизель и 300 кВт — система аккумуляторов. Их делает еще один наш завод, «Лиотех», в Новосибирске.

### **Не тот ли это «Лиотех», который едва не обанкротился в 2014 году?**

Да, тот самый. Мы построили крупнейший в Европе завод по производству литий-ионных аккумуляторов, но, к сожалению, оказалось, что просто аккумуляторы никому не нужны. Потребителю нужна система аккумулирования энергии, которая включала бы помимо аккумулятора еще инвертор для преобразования постоянного тока в переменный и систему управления этими аккумуляторами. И чтобы работала автоматика, желательно, — без операторов, без обслуживания. Человеческий труд дорог.

Поэтому пришлось перезапустить этот проект. Промахнулись с рынком, с экспортом в условиях санкций у завода тоже не очень получается. Но потихоньку портфель заказов складывается. Компания «Лиотех-Инновации» начала взаимодействовать с крупнейшим в России заводом по производству троллейбусов «Тролза» в Энгельсе в Саратовской области. Они производят троллейбусы с автономным ходом. Впервые такой троллейбус сделали в Новосибирске — что называется, нужда заставила. В этом городе два троллейбусных кольца, которые не связаны друг с другом. Горожане ехали по одному кольцу, затем пересаживались на автобус, добирались до второго кольца и опять пересаживались на троллейбус. Тогда-то и решили, что нужен троллейбус с автономным ходом. Пока он едет, используя усики, аккумуляторы заряжаются. На участке, где нет проводов, он усики складывает и едет своим ходом, как электроавтобус.

Интересно, что на такие троллейбусы с автономным ходом есть спрос, например — в Аргентине. В больших городах троллейбусные парки занимают много земли. Парки можно вынести в пригород, но тащить туда линию электропередачи накладно. Здесь и выручат троллейбусы с автономным ходом на наших аккумуляторах. Еще одно их приложение — автопугачики на разного рода складах. Они должны быть абсолютно автономными для маневренности и не выделять никаких выхлопных газов. Или вот пример: мусоровоз. Вы знаете, сколько он тратит бензина на 100 километров? Сто литров! Потому что останавливается через каждые 100 метров, пока грузит мусор, а двигатель работает. С точки зрения экологии это просто ужасно. Поставьте аккумуляторную батарею — и проблема решена. Так что ниши на рынке есть, просто их надо искать. Мы начали перезапуск проекта и производства в 2014—2015 годах. Надеемся, что теперь он будет успешным.

### **Нанотехнологии — это инструмент, который может быть приложен едва ли ни в любой отрасли промышленности, даже в самой традиционной. Какой пример здесь вы считаете наиболее показательным?**

Россия — чемпион мира по строительству трубопроводов. Так сложилось — страна большая, много нефти и газа, основной транспорт — трубопроводный. В 1970 году между

Советским Союзом и ФРГ был заключен эпохальный контракт «Газ — трубы», который предусматривал, что в обмен на газ ФРГ поставляет нам трубы большого диаметра, которые мы не умели делать, как это ни поразительно. Кстати, благодаря этому контракту произошла разрядка международной напряженности и были построены газопроводы Оренбург — Западная граница, Уренгой — Помары — Ужгород и Ямбург — Западная граница. Полагаю, что этот контракт подтолкнул и наших металлургов, которые активно взялись за решение проблемы в 70-х годах, когда начали появляться первые отечественные трубопрокатные станы.

Сегодня наши металлурги и трубники умеют делать трубы любого разумного диаметра (как правило, не более двух с половиной метров). Более того, они научились упрочнять сталь методом термомеханической обработки — нагрев-давление-нагрев-давление... В результате в матрице металла меняется размер зерна. Оптимальный размер для металла с высокой прочностью — несколько сот нанометров. Трубы получаются тоньше, легче, но столь же прочные. А вес трубы и ее прочность — это очень существенно. Мы вложились и сюда, в такую консервативную и традиционную область индустрии.

Но к трубам требуется много разных других вещей — антикоррозионное покрытие, например. Если покроем просто полиэтиленом, то труба будет ржаветь, потому что полиэтилен пропускает кислород и воду. Кислород и чуть-чуть воды — все, что надо для коррозии. Поэтому сегодня трубы покрывают более сложным композиционным материалом, изготовленным с применением нанотехнологий. В толщу полимера вводят нанопластины глины. Гидрофильная глина просто так не смешивается с гидрофобными полимерами, поэтому ее поверхность специальным образом модифицируют четвертичными аммониевыми основаниями и делают гидрофобные стопки пластинок глины внутри матрицы полимера. Когда пластинок глины в толще полимера много, кислород вместо прямого пути преодолевает очень сложный. Через глину он проникнуть не может, поэтому обходит ее, а там следующая пластинка. Таким образом скорость диффузии кислорода замедляется в десятки раз. С идеей производства наноглины из монтмориллонита к нам пришел предприниматель Сергей Штепа, а теперь он директор нашей портфельной компании «Метаклэй».

Полимеры с наноглиной — вещь интересная. Они огнестойки, и потому их можно использовать для оплетки кабелей. Из них сегодня делают упаковку для разных жидких пищевых продуктов, майонеза и кетчупа например. В результате срок их хранения резко увеличился, потому что диффузия кислорода через такую упаковку затруднена. У компании «Метаклэй» не все сразу получилось. Сергей Штепа сначала хотел делать наноглину, но просто полупродукт никто особо покупать не хотел. После длительного периода балансирования на грани банкротства компания все-таки разработала технологию для «Газпрома» — антикоррозионное покрытие для труб. Прошли сертификацию, договорились со всеми трубниками. В прошлом году более 50% антикоррозионной обработки труб делали из отечественного материала. А сейчас, наверное, еще больше. Всего лишь однослойное покрытие трубы наноконпозиционным полимером с наноглиной защищает ее от коррозии на 80 лет. В результате структуры «Газпрома» захотели купить у нас эту компанию и выкупили нашу долю с определенной доходностью для нас. Так что теперь этот действующий завод в городе Карачев Брянской области, производящий полимерные наноконпозиционные материалы нового поколения для упаковочной, кабельной, строительной, энергетической, нефтегазовой и автомобильной отраслей, принадлежит «Газпрому».

**Этот пример показывает, что нанотехнологии — это прежде всего вещества в наноформе. Когда мы добавляем**

## их в материал, то меняем его свойства. Велик ли сегодня перечень таких наноматериалов и где их используют?

Истинных наноматериалов не так много. Углеродные нанотрубки, графен, фуллерены, диоксид кремния, наноалмазы — добавляете в покрытие и увеличиваете его износостойкость. Еще — диоксид титана. Это не только белая краска, но и все кремы, защищающие от солнца, — в них сидит диоксид титана в наноформе. Конечно — сажа, которая содержит фракции до 100 нм. Сажа используется миллионами тонн для производства шин, это самый дешевый в мире краситель черного цвета. Если нужно покрасить пластмассу в черный, просто добавьте сажу, и все будет отлично. Это один из старейших наноматериалов. Так что истинных наноматериалов мало, а вот нанокомпозитных материалов уже много, все и не перечислить.

Делаем ли мы эти истинные наноматериалы? Да. Один из ярких примеров — наша компания «Оксиал», производящая одностенные углеродные нанотрубки. Она выросла из стартапа в Новосибирске. Вот ради таких историй мы и создали четырнадцать наноцентров в разных городах России — фабрики по производству стартапов. Изобретатель, ученый может получить в центре услуги, которые ему требуются, чтобы завести своё дело. Патентные поверенные посоветуют, что и как лучше патентовать — а может, лучше хранить свое изобретение в виде ноу-хау. В центрах есть мастерские с хорошими станками, где можно изготовить прототип, что-то вырезать, сварить, выточить, добавить... Вокруг наших наноцентров образовалось более 400 стартапов. Конечно, это, образно говоря, — жертвенное поле: до 90% из них погибнет или не выйдет из категории малых предприятий. Одно дело изобрести что-то, а другое — создать продукт и выйти с ним на рынок. «Оксиал» — один из немногих счастливчиков, который состоялся. Многостенные нанотрубки могут получать многие, а вот одностенные — редко кто, в основном в лабораториях. Еще недавно их килограмм, произведенный в лабораторных условиях, стоил 100 тысяч долларов. И понятно, что использовали их только в научных исследованиях, где требуются маленькие количества.

«Оксиал» сумел сделать промышленную технологию и успешно запустил пилотную установку, производящую 5 тонн нанотрубок в год. Сейчас компания строит установку на 50 тонн. Кто покупает? Например — аккумуляторщики, чтобы увеличить срок жизни аккумуляторов. Литиевые аккумуляторы хороши, но пережить цикл «зарядка-разрядка» они смогут не более тысячи раз. После этого происходит деградация материала, он теряет емкость, в материале возникают трещины, и прочее. Свинцовый аккумулятор выдерживает 400 циклов, и через три года аккумулятор в автомобиле надо менять. Трубки увеличивают срок жизни аккумулятора на 10—20%. Для аккумулятора даже 5% — это много.

Углеродные нанотрубки — это наноаддитив, его можно добавлять куда угодно, в самые разные матричные материалы, в полимеры, в керамику, даже в металлы. Вот пример: краска автомобиля. Корпус и дверцы металлические, электростатические краски быстро и плотно ложатся на металл. Но если вы переходите на полимерный композитный материал, то электростатическое окрашивание уже не работает, потому что пластик — диэлектрик. Однако на автомобильных заводах технология автоматической покраски давно отлажена, перестраивать ее — это большие деньги и время. Гораздо проще сделать полимер токопроводящим, а для этого в него надо добавить углеродные нанотрубки. И тогда электростатическая краска будет ложиться так же легко и прилипать так же прочно, как на металл.

Конечно, все это просто на словах. На деле же каждая такая история, каждый нанокомпозитный материал требует отдельной опытно-конструкторской работы. Это ведь не соль в воду



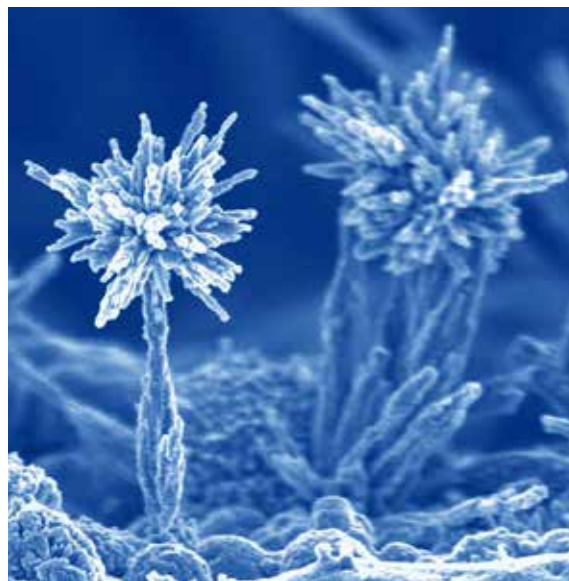
ИНТЕРВЬЮ

насыпать, и она растворится сама собой, в крайнем случае, можно нагреть. С наноаддитивами есть проблема их гомогенного распределения в матрице материала, чтобы не было их скопления, потому что это потенциальные очаги деформации, деградации материала и так далее. Вот такая имманентная особенность нанотехнологий, ничего не поделаешь.

## У РОСНАНО поменялась ориентация с внешнего рынка на внутренний?

РОСНАНО — глобальная инвестиционная компания. Россия целиком — это маленькая, но открытая экономика. Каждое слово здесь ключевое. Маленькая, потому что весь наш внутренний валовой продукт (ВВП) составляет около 80 триллионов рублей, то есть чуть больше 1 трлн долларов. В Америке — 17, в Китае — 16, в Объединенной Европе — 20. Россия обеспечивает 1,7% валового мирового продукта, а СССР имел почти 20%. Открытая, потому что сегодня мы конкурируем с международными компаниями, конкурируем, где можем. Поэтому мы не производим телевизоры. Машины производим, но по импортным технологиям. Даже на внутреннем рынке мы конкурируем с западными и глобальными компаниями. Сейчас запретили ввоз из Европы мяса, фруктов, прочего. Чуть-чуть дали нашим производителям передышку, но при этом качество сыра у нас стало куда хуже. Конкуренция нужна. Нужно развивать экономику и конкурировать там, где мы можем. А закрываться от мира — это есть сыр плохого качества.

Беседовала  
**Любовь Стрельникова**



# Азот: факты и фактики

А. Мотыляев

## Почему азот обозначают буквой N?

Потому что имен у него несколько — в разное время ученые обращали внимание на разные качества этого элемента. Открыт он был в 1772 году, когда сначала англичанин Даниэль Резерфорд, а затем его соотечественники Джозеф Пристли и Генри Кавендиш обнаружили, что воздух содержит как пригодную для жизни часть, так и непригодную. Из последней удалось выделить компонент, который поглощался при прохождении через раствор щелочи, — это был углекислый газ, а остаток назвали удушливым, или флогистонированным, воздухом. Примерно тогда же шведский аптекарь Карл Шееле заметил, что компоненты воздуха можно разделить по другому признаку — способности поддерживать горение — на «огненный газ» и «дурной воздух». Вот такой дурной воздух и получил вскоре с легкой руки Лавуазье греческое название «азот», от «зое» — жизнь и отрицательной частицы «а». Это был не первый азот в истории химии — алхимики называли «философским азотом» (Azot Philosophorum) вещество, превращающее медь в золото, а старость — в молодость. Название составлено из первой буквы всех алфавитов «а» и последних букв трех алфавитов — латыни (z), греческого (омега) и древнееврейского (тов). Однако в 1790 году Жан Шапталль дал ему другое название — nitrogenium, «производящий селитру». Оно и вошло в английский язык, а затем дало символ N таблицы Менделеева. Имя «азот» утвердилось лишь во французском и русском языках, причем одно время и у нас его хотели называть селитротвором, но это неблагозвучное слово не прижилось. Немцы же до сих пор знают его как «удушающее вещество» — Stickstoff.

**Откуда взялся азот?** Он образуется в звезде, в так называемом углерод-азотном цикле. Углерод-12 получает протон и становится нестабильным азотом-13. Тот испускает позитрон и переходит в углерод-13. Получив новый протон, он становится стабильным азотом-14 — это основной изотоп азота на Земле. Однако на этом про-

цесс не останавливается. Получив очередной протон, азот-14 переходит в кислород-15. Он нестабилен и, испустив позитрон, переходит в тяжелый азот-15 — второй распространенный изотоп этого элемента. Столкнувшись с новым протоном, азот-15 испускает альфа-частицу, и все возвращается к началу — ядру углерода-12. Видимо, этот цикл все-таки не замкнут, и часть азота избегает печальной участи породить гелий и обратиться в исходный углерод. В противном случае этот элемент не был бы столь распространенным — на Земле он составляет более 75% атмосферы по массе.

**Откуда азот на Земле?** Однозначного ответа нет. Главная проблема состоит в том, что такого количества молекулярного азота нет ни у одной планеты. Так, в углекислотной атмосфере Венеры его лишь 3,5%, у Марса — 2,7%. У планет-гигантов азот в чистом виде не наблюдают, там имеется только аммиак. Лишь у Титана атмосфера на 98% состоит из азота. Значит, происхождение азота надо связывать с отличием Земли от других объектов Солнечной системы. Таких различий можно выделить два: жизнь и тектоника плит, они-то и порождают две гипотезы. Согласно первой, на Земле исходная атмосфера содержала азот в виде аммиака (см. «Химию и жизнь», 1976, 9), однако с появлением кислорода он стал окисляться, превращаясь в воду и молекулярный азот. А такой азот дальше окисляться в условиях земной атмосферы не может — требуется сильный нагрев, например такой, как при ударе молнии. Мощный электрический разряд порождает NO, который, в свою очередь, порождает диоксид азота, а тот, растворяясь в воде, дает азотную кислоту и после выпадения осадков — соответствующие соли. Они-то и стали важным источником нового азота для живых организмов после того, как аммиак исчез из атмосферы. Согласно альтернативе, азот изначально в связанном виде присутствовал на Земле. Затем, по мере движения тектонических плит и вулканической деятельности получился круговорот молекулярного азота, который вылетает из недр Земли,

формирует атмосферу, захоранивается с органическим веществом и вновь падает в недра планеты. Обе гипотезы хорошо объясняют отсутствие азота в атмосферах Марса и Венеры, но не годятся для объяснения феномена Титана.

**Зачем азот живым существам?** Азот в той же степени основа белковой жизни, как и углерод, это ясно из самого названия строительных элементов белка — аминокислоты. Кроме того, азотистые основания в составе нуклеотидов соединяют друг с другом цепочки нуклеиновых кислот, иными словами, именно их строение обеспечивает копирование ДНК и синтез РНК — то есть главные свойства жизни, самовоспроизведение и производство белков по «чертежам» генов. Азот входит и в состав такого важнейшего для многих живых существ полисахарида, как хитин, и во многие другие биомолекулы. Поэтому без азота жизни нет, а количество усвояемого азота входит в число факторов, ограничивающих продуктивность биосферы.

## Откуда живые существа берут азот?

Основная часть азота на Земле теперь находится в молекулярном виде, а поскольку сила связи в молекуле N<sub>2</sub> очень велика, этот азот практически недоступен для живых существ. Молекулярный азот из атмосферы могут усваивать немногочисленные виды почвенных бактерий. Основная же масса бактерий и растения используют уже кем-то усвоенный азот, разлагая органику, либо тот, что производят молнии. В первом случае азот преобразуется в усваиваемые соединения аммония или нитраты, во втором он и так попадает на землю в виде нитратов. А вот животные получают азот только с пищей.

## Могут ли высшие животные усваивать атмосферный азот?

Пока никаких механизмов фиксации азота у высших животных не обнаружено. Единственный способ делать это — помощь симбиотических микроорганизмов в кишечнике; например, симбионты термита не только помогают хозяину переваривать древесину, но и фиксируют азот («Science», 2008, 322,



1108—1109, [http://elementy.ru/novosti\\_pauki/430938/](http://elementy.ru/novosti_pauki/430938/)). Время от времени появляются сообщения о подобной способности птиц и млекопитающих. В частности, громкий скандал разгорелся, когда в 1951 году начали выходить публикации коллектива под руководством доктора технических наук М.И.Волского. Из них следовало, что человек в день усваивает 26,5 г азота: этого хватает на синтез 186,6 г белка, то есть покрывается потребность в белке более чем на сутки. Получается, что никакой потребности в поедании белка у человека нет, можно обойтись внутренними ресурсами. К 1971 году с вопросом разобралась Академия наук СССР, член-корреспондент Е.Н.Мишустин полностью опроверг работы Волского, указав как на фактические ошибки расчетов, так и на противоречия в данных экспериментов (см. «Химию и жизнь», 1971, 10). Вот один пример: чтобы живущие в кишечнике бактерии усвоили такое количество азота, человек должен в тот же день съесть 2,2 кг сахара, что практически невозможно.

**Каковы важнейшие соединения азота?** Полезные — это аммиак  $\text{NH}_3$ , аммоний  $\text{NH}_4^+$ , азотная кислота  $\text{HNO}_3$  и ее соли — различные селитры, мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  и сам молекулярный азот. Вредные — оксиды азота  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ; образуясь при горении топлива (прежде всего в автомобилях), они могут запускать каскад реакций, приводящих к образованию приземного озона, который совсем нехорошо действует на живые существа, и других опасных соединений. Да и сам диоксид азота вызывает заболевания легких.

*Характерная черта заводов по производству аммиака — высокие колонны, в которых проходит синтез этого вещества.*

*На фото — построенный в 1979 году Дорогобужский завод, входящий в группу «Акрон»*



Фото: Акрон

### Правда ли, что аммоний назван в честь египетского бога Амона-Ра?

Да. Дело в том, что в Ливии, в области Аммония, а ее так называли по расположенному в ней храму Амона, издавна делали аммонийные соли (в первую очередь нашатырь — хлорид аммония) пережиганием верблюжьего помета. При распаде солей получался некий пахучий газ, его в 1787 году предложили назвать аммонияк. Русский химик Я.Д.Захаров счел это название неблагозвучным, и теперь мы знаем этот газ как аммиак. А в 1808 году Гемфри Дэви предложил назвать аммонием основание солей, порождающих этот газ. Впрочем, в английском (вниманию переводчиков!) «аммиак» так и будет ammonia, «аммоний» же зовется ammonium.

**Как человек начал использовать азот?** Азотные соединения в составе навоза и мочи с незапамятных времен используют для удобрения почвы, однако древние земледельцы, конечно, не знали, что главное в этих веществах — азот. И когда человек стал смешивать селитру с углем и серой, получая дымный порох, он также не догадывался, что и здесь все дело в азоте. А когда узнал, что он делает селитру и взрывоопасной, и полезной для растений, тогда и задумался: как бы научиться извлекать азот из атмосферы? Ведь запасы гуано в Чили — а в XIX веке это был основной источник селитры — не бесконечны.

Первый подход к переводу атмосферного азота в менее прочное химическое соединение совершили все те же Пристли и Кавендиш — Пристли заметил, что объем воздуха над водой при пропускании электрической искры уменьшается и в воде появляется кислота, а Кавендиш прямо обнаружил, что при добавлении в такую воду щелочи получается селитра. Из этого сложил-



ЭЛЕМЕНТ №...

ся электродуговой способ фиксации азота, и в начале XX века с появлением гидроэлектростанций возникли производства селитры — первое возле Ниагарской электростанции в 1902 году, а второе — три года спустя в Норвегии; авторами процесса были специалист по изучению северного сияния Христиан Биркеланд и инженер Самюэль Эйде. Такую селитру называли норвежской.

**Что такое процесс Габера — Боша?** В 1901 году Анри Ле Шателье запатентовал способ получения аммиака из водорода и азота под давлением и с помощью катализатора. Однако не он стал автором производственного процесса. Необходимые расчеты провел Фриц Габер с двумя другими великими химиками — Вильгельмом Оствальдом и Вальтером Нёрнстом. Созданный Карлом Бошем для реализации придуманного ими процесса завод запустила в 1913 году компания BASF (кстати, эта аббревиатура расшифровывается как «Баденская фабрика анилина и соды»); в 1925 году она вошла в состав основанного Бошем концерна «И.Г. Фабриндустри». Азот для производства аммиака берут прямо из воздуха, а водород — преобразуя природный газ. Процесс Габера — Боша требовал гораздо меньших затрат энергии, чем процесс Биркеланда — Эйде, отчего вскоре норвежская селитра исчезла с рынка, а Габер (в 1918 году) и Бош (в 1931-м) получили заслуженные Нобелевские премии.

Аммиак служит сырьем для получения аммония и его соединений, азотной кислоты, а из нее — различных нитратов и многих других продуктов химического производства. Вот почему фиксация атмосферного азота в виде синтетического аммиака позволила совершить в XX веке вторую «зеленую» революцию — создание синтетических азотных удобрений резко подняло урожайность и позволяет накормить вот уже более 7,5 млрд людей. Рукотворный поток азота в биосферу и промышленность сейчас примерно равен природному — от молний и азотфиксирующих бактерий. Это вызывает серьезные опасения защитников природы, поскольку приводит к серьезному дисбалансу в использовании биосферой других ресурсов. Например, из-за стока

азота с полей обитатели водоемов бурно размножаются и быстро исчерпывают запасы кислорода, в результате возникают заморы. Да и сам по себе рост численности людей на планете многих пугает, а связь его с количеством еды очевидна. Есть мнение, что по объему производства азотных удобрений человечество уже далеко зашло за красную линию, определяющую устойчивость глобальной экосистемы (см. «Химию и жизнь», 2009, 12).

**Как используют азот в промышленности?** Азот входит в число массовых промышленных газов и находится на втором месте после кислорода. В РФ в 2014 году он составил 32% от всего годового объема продаж газов в 20,7 млрд м<sup>3</sup>. Получают азот двумя основными методами — сжижением воздуха и отделением его от воздуха с помощью мембран. Первый метод требует больших затрат энергии, но дает огромные объемы продукции, при этом азот оказывается побочным продуктом многотоннажного производства жидкого кислорода. Второй требует меньше энергии, однако не способен обеспечить промышленные масштабы — как правило, мембранные установки обслуживают потребителей с небольшими запросами.

Главное качество, которое нужно потребителям азота, — его неспособность вступать в реакции при нормальных условиях: разве что с литием, калием и магнием азот реагирует при относительно небольшом нагреве. Поэтому его используют для создания инертной атмосферы, и в первую очередь — для вытеснения кислорода из различных сосудов. Так делают металлурги, чтобы защитить металл от окисления, нефтяники при продувании скважин — чтобы из-за случайной электрической искры углеводороды не вспыхнули, а экспериментаторы в лабораториях продувают азотом приборы или защищают образцы от кислорода. Азотом тушат кокс, азотом, закачанным в вакуумную упаковку, предохраняют продукты от гниения.

**Как используют азот в материаловедении?** Соединения азота — нитриды — обладают очень высокой прочностью и твердостью. Поэтому нитридными частицами наряду с карбидными издавна упрочняют сплавы. Для образования нитридов внутри изделия никаких особых мер принимать не надо — достаточно добавить в ту же сталь нитрид-образующий элемент, и растворенного в металле азота окажется достаточно для выделения мелких твердых частиц по всему объему. Если же нужно сделать поверхность тверже, то ее насыщают азотом в течение нескольких часов при высокой температуре, например в атмосфере аммиака, а затем, после

снижения температуры и термической обработки, получают насыщенный твердыми частицами верхний слой, под которым находится мягкая сердцевина.

Можно нанести и покрытие из нитрида, например из нитрида титана; его напыление существенно повышает износостойкость деталей и инструмента. Тем же нитридом можно «золотить» церковные купола — по цвету он неотличим от золота, а устойчивость к окружающей среде ничуть не хуже. Другой твердый материал, нитрид кремния, не только служит для изготовления самых разных изделий, от тиглей до подшипников и защитных пластин бронешилетов, но и работает в микроэлектронике; из нитрида кремния часто делают изолирующие слои на кремниевых подложках. Еще один нитрид — BN — по твердости мало уступает алмазу, однако, не растворяясь в железе, нитрид бора служит абразивом при обработке стальных изделий. Еще из нитрида бора можно выращивать нанотрубки и плести из них прочнейшие волокна. А можно добавить его как наполнитель в композит и добиться, чтобы прочность, скажем, алюминиевого материала оказалась сравнимой со стальной при сохранении малого веса. Важные свойства бор-нитридных нанотрубок — они прозрачны в видимом диапазоне, хорошо проводят тепло и при этом, что необычно, не проводят электричества. Когда эти трубки станут дешевым материалом (а пока они дороже золота), ими займутся материаловеды.

**Что такое азотная вакансия?** Это возможный элемент квантового компьютера. Сверхчистый алмаз облучают высокоэнергетическими частицами, которые нарушают его кристаллическое строение — создают вакансии, а затем имплантируют ионы азота. Заняв место в решетке алмаза, азот притягивает ближайшую вакансию, и получается так называемый вакансионный центр. В нем у азота три валентных электрона связаны с атомами углерода, а два принадлежат вакансии. Они притягивают еще один электрон, и вот он оказывается главным при получении кубита (элемента для хранения одного бита квантовой информации): спином этого электрона можно манипулировать с помощью лазера и так менять квантовое состояние. В азотной вакансии квантовое состояние электрона сохраняется очень долго, но трудно создавать так называемые спутанные состояния из нескольких кубитов, а именно они обеспечивают невероятные возможности квантовым вычислениям.

**Что такое азотный эндофуллерен?** Если нагревать фуллерены C<sub>60</sub> в плазме азота, то внутри углеродных сфер окажется по одному атому азота. Атом этот, в отличие от молекулы, чрезвычайно

агрессивен, однако он никак не реагирует с внутренностью фуллерена, то есть его агрессивность остается потенциальной. Если бы азот вышел наружу и встретился с другим атомом азота, то при их соединении выделилась бы гигантская энергия — 33,75 МДж/кг. А рекордсменом по тепловому эффекту на вес компонентов сейчас считается реакция горения бериллия в озоне — 25,45 МДж/кг. Есть мнение, что, если придумать способ освобождения эндоазота из углеродной клетки, в руках человека окажется вещество, обладающее чрезвычайно большой энергонасыщенностью

**Зачем азот в шинах?** Азот закачивают в шины самолетов и гоночных автомобилей, чтобы предохранить их от взрывов. Взрыв может случиться из-за того, что при нагреве шины из нее начинают выделяться некие летучие вещества, которые воспламеняются при взаимодействии с кислородом воздуха. Это кажется странным — что за горючие вещества выделяет резина, да еще столько, чтобы загореться? Но именно так объясняет сей факт компания «Боинг» ([http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_05/m/m03/index.html](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_05/m/m03/index.html)). Там же указано, что взрывы были и на земле, из-за нагрева шины при торможении, и в воздухе, причем один привел к катастрофе. Во избежание инцидентов Федеральная авиационная администрация США издала директиву 87-08-09, согласно которой шины самолетов надо накачивать азотом, а если его нет, то воздухом с содержанием кислорода менее 5%. Видимо, из этих же соображений азот закачивают в шины гоночных машин. Удивительным образом накачивать в шины сейчас хотят и владельцы обычного автотранспорта, которые приводят множество аргументов в пользу этого решения, кроме правильного. Вряд ли при соблюдении правил дорожного движения можно ожидать такого нагрева шин, чтобы они взорвались.

**Что такое азотный наркоз?** Это опасность, которая преследует водолазов наряду с кессонной болезнью. При погружении давление повышается и азот лучше растворяется в крови. Если быстро подняться, давление резко упадет, азот выделится в виде пузырьков и закупорит сосуды — это кессонная болезнь. Но когда в крови оказалось много азота, растет и его концентрация в липидных оболочках клеток. Когда это происходит в клетках мозга, связь между нейронами нарушаются и человек теряет сознание без всяких видимых причин.



# Газ, который стал жидким

А. Мотыляев

*Жидкий азот – удивительное вещество, один из шедевров технологической цивилизации. Он кипит при невообразимой температуре,  $-196^{\circ}\text{C}$ . Казалось бы, на Земле достичь такой температуры невозможно, ведь отнять тепло можно только менее горячим телом. Однако человек, используя газовые законы, сумел не только обратить этот газ в жидкость, но и найти ему множество применений.*

## Путь криогеники

Только один из атмосферных газов может сжиматься у нас на глазах сам по себе, в нормальных условиях, — это водяной пар. Остальным требуется помощь человека. Разработка методов сжижения газов начинается с деятельности Гаспара Монжа. Этот человек оставил след и в истории науки, и просто в истории: великий геометр, строитель фортификаций, химик, первым получивший воду из кислорода и водорода, первый морской министр революционной Франции, соавтор смертного приговора гражданину Капету (так якобинцы называли Людовика XVI после отмены титулов), участник Египетского похода Наполеона. В 1801 году он совместно с Луи Клуэ получил капли жидкого сероводорода, пропуская газ через U-образную трубку, помещенную в охлаждающую смесь из соли и льда. За счет чего в ней удалось создать 60-градусный мороз, обративший сероводород в жидкость? За счет эндотермической реакции при растворении соли в воде. Однако большего холода добиться очень трудно.

Может быть, проще не охладить, а сдавить газ? Для этого нужен компрессор. В 1834 году Адриен Тилорье сделал компрессор, создававший давление в 1000 атмосфер. Он состоял из трех последовательных цилиндров, в которых поршни все сильнее и сильнее сжимали воздух; в действие его приводили десять рабочих с помощью качающегося рычага. Этим компрессором он выжал из воздуха жидкий углекислый газ. К своему удивлению, Тилорье обнаружил, что при выливании жидкости в небольшой сосуд она исчезала, а сосуд заполнялся белыми хлопьями. Как объяснили ему коллеги из Академии наук, то был сухой лед — твердый углекислый газ. Это вещество с температурой сублимации при нормальном давлении  $-78,5^{\circ}\text{C}$  позволило достичь новых рекордов: его смесь с эфиром охлаждалась до  $-110^{\circ}\text{C}$ . Не обошлось без трагедий — в 1840 году Осмин Эрви, лектор парижской Фармацевтической школы, продемонстрировал установку, и один цилиндр взорвался, перебив ему ноги осколком. Причина была в том, что цилиндры Тилорье делал из чугуна, а этот хрупкий материал совсем не предназначен для опытов с высоким давлением.

Способностью сухого льда вызывать сильное охлаждение воспользовался Майкл Фарадей — к 1845 году он перевел в жидкое состояние все известные к тому времени газы, кроме кислорода, водорода, азота, оксида азота, угарного газа и метана. Возникла мысль, что дальнейшим повышением давления удастся превратить в жидкость любой газ, однако с этим не справился даже компрессор, дававший 3000 атмосфер, и к 1860 году стало понятно почему. Теоретическое объяснение предложил Д.И. Менделеев: для каждого газа есть своя критическая температура — выше нее ни при каком давлении он не станет жидкостью.



Видеоблог  
Дмитрия Шилова



ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

Тут пришло время вспомнить про закономерность, которую установил еще в 1802 году Жозеф Гей-Люссак: давление и температура газа связаны прямо пропорционально. Этот закон для охлаждения газа впервые в своем патенте 1857 года использовал сэр Чарльз (а ранее Карл-Вильгельм) Сименс — переехавший в Лондон брат Эрнста фон Сименса, того самого, кто запустил в Берлине первый телеграф и основал ныне всемирно известную электротехническую компанию. Чарльз помогал брату, развивая телеграфное дело в Британской империи, а в свободное время занимался научными изысканиями — в частности, придумал цикл Сименса для сжижения воздуха. Идея запатентованной установки такова. Газ подвергают давлению, и при этом выделяется тепло. Его отбирают холодильником, и при последующем сбросе давления газ оказывается холоднее, чем был изначально. Так, цикл за циклом, можно снизить температуру очень сильно. Однако установку для реализации патента Чарльз Сименс не построил, поскольку сосредоточился на усовершенствовании восстановительной печи — она стала основой мартеновского процесса выплавки стали. Это дало простор для мыслей других инженеров.

В 1877 году француз Луи Кайете и швейцарец Рауль Пикте независимо друг от друга доложили французской Академии наук о получении капель жидкого кислорода. Приоритет достался Кайете, поскольку он представил письмо своему приятелю, написанное раньше, чем Пикте послал доклад в академию. Он охлаждал кислород после сброса давления с помощью испаряющегося диоксида серы и в конце концов достиг заветных  $-182,96^{\circ}\text{C}$ .

Однако первые значительные порции, а не отдельные капли жидкого кислорода и затем азота получили в 1883 году исследователи из Краковского университета — Сигизмунд Флорентий Антонович Врублевский и Карел Ольшевский. Первый, уроженец Гродно, будучи студентом Киевского университета, поучаствовал в польском восстании 1863 года, за что отбывал ссылку сначала в Томской, а потом Варшавской губернии, а по окончании полицейского надзора в 1871 году уехал в Германию. Работы по сжижению газов принесли Врублевскому мировую славу, ему дали премию, электрифицировали лабораторию, избрали членом-корреспондентом императорской Венской академии наук (Краков при разделе Польши отошел Австрии), но, готовя для нее доклад в 1888 году, он трагически погиб, обгорев в пожаре от опрокинувшейся керосиновой лампы.

Вскоре к делу сжижения воздуха подтянулись и промышленники. В 1895 году немец Карл фон Линде и англичанин Уильям Хампсон с разницей в 12 дней подали патенты на схожий с

*На фото сверху: красноярский физик Антон Шарыпов, автор музея науки «Ньютон-парк»*

идеи Сименса процесс, который отныне называется циклом Хампсона — Линде. Хампсон в бизнесе не преуспел — он был лишь техническим консультантом в «Brin's Oxygen Company», взявшейся за реализацию патента. Эту компанию в 1886 году основали два французских химика — Артур и Квентин Брин, которые, приехав в Англию на выставку в Кенсингтоне для демонстрации своего способа получения кислорода из оксида бария, нашли там инвестора и не стали возвращаться во Францию. А Линде еще в 1879 году основал успешную компанию для производства искусственного холода с помощью аммиачного холодильника; ныне компания «Linde group» — крупнейший поставщик промышленных газов на мировом рынке (кстати, в 2006 году она поглотила своего конкурента, того самого, который вырос из компании братьев Брин). Поработал Линде и в США — созданная им в 1907 году американская компания была национализирована в 40-х годах, а теперь из нее получился второй крупнейший мировой поставщик промышленных газов — «Praxair». Именно Линде придумал технологию разделения жидкого воздуха на азот и кислород и в 1905 году получил эти жидкие газы в промышленном количестве.

Последнее революционное усовершенствование технологии в 1936 году сделал П.Л.Капица, спроектировав турбодетандер, КПД которого был в три раза выше, чем у детандеров компании Линде, давление же было снижено с 200 атмосфер до 5. Это обеспечило сильную экономию энергии, поэтому с 50-х годов воздух сжижают именно в турбодетандерах. Подробнее об истории создания под руководством Капицы советской промышленности по сжижению воздуха можно прочитать в «Химии и жизни» (1985, 4, 5).

## Газ для холода

Основная цель промышленности жидких газов — получение кислорода. Он нужен металлургам для продувания стали в конвертере, чтобы выжечь весь доставшийся ей от чугуна углерод, а заодно поднять температуру плавки за счет сгорания этого углерода, то есть без дополнительных источников энергии. Кислорода требуется очень много, никакими мембранными технологиями разделения газов его из воздуха в таком количестве не получить. Но азот кипит при более высокой температуре, чем кислород, поэтому первым становится жидкостью. Выморозив часть азота, получают воздух, где кислорода 40%. Его сжижают полностью, а затем лишний азот испаряют. Таким образом, жидкого азота получается примерно столько же, сколько и кислорода, но потребность в нем гораздо меньше, ведь в многотоннажных технологических процессах он не участвует. Впрочем, большая часть этого азота расходуется на охлаждение в процессе сжижения воздуха. А для различных технологических нужд жидкий азот отнюдь не привозят с металлургического завода, его делают на месте, отчего он обходится гораздо дороже, чем условно бесплатный отход производства кислорода. Создание же комплексного производства жидкого кислорода-азота оказалось делом непростым. Например, академик АН УССР Б.И.Веркин (интервью с ним можно прочитать в «Химии и жизни», 1982, 4) отмечал, что для этого потребовалось решение Министерства черной металлургии УССР, и в порядке экспери-

*Паром жидкого азота можно не только омолаживать кожу лица, но и придавать бодрость всему организму*



мента в 1980 году производство жидкого азота было налажено на металлургических заводах Краматорска и Макеевки.

Впрочем, за прошедший век для жидкого азота было придумано много специальностей, которые используют два его основных качества — способность охлаждать и сильно расширяться при нагреве.

Удивительно, но оба эти направления были предсказаны в повести французского фантаста Гюстава Ле Ружа «Принцесса небес» («La princesse des airs»), изданной в 1902 году, когда производства жидкого воздуха еще не было. В ней, во-первых, летчик-изобретатель Альбан придумал направленные к земле цилиндры с жидким воздухом к крыльям своего самолета — «Принцессы» — с тем, чтобы по исчерпанию топлива он мог совершить посадку за счет вылетающих из них струй газа. А во-вторых, когда самолет все-таки потерпел крушение в Гималаях и мальчик по имени Людовик оказался при смерти, поливание его жидким воздухом из упомянутых цилиндров так взбодрило нервную систему, что сердце снова начало биться и вернулось сознание. Вот со второго придуманного писателем использования — сильного холода — и начинается медицинская служба жидкого азота, сначала в форме жидкого воздуха, а с 50-х годов XX века и в чистом виде.

Первым «воздушную» криотерапию в 1899 году начал применять нью-йоркский врач Кемпбелл Уайт, который прижигал не только бородавки, но и опоясывающий лишай, трофические язвы, шанкры, системную красную волчанку и опухоли кожи — эпителиомы. После очередного удачного прижигания он даже воскликнул: «Сегодня я наконец смог сказать, что эпителиому на ранней стадии всегда можно вылечить жидким воздухом!» Действительно, как указано на сайте американского Национального института рака, жидкий азот эффективен при лечении ранних стадий рака кожи, удаления предшественников этого рака вроде папиллом, а также детского рака роговицы, ранних стадий рака матки, простаты, печени, молочной железы и некоторых видов рака костей, причем побочные эффекты от такого лечения гораздо меньше, чем от химио- или радиотерапии. Как видно, для успеха главное — вовремя заметить болезнь.

Вообще, медицинские применения жидкого азота очень разнообразны, и медики все время ищут новые. Например, в 2016 году в Великобритании начались клинические испытания метода лечения хронического бронхита. При этой болезни, которой страдают прежде всего курильщики, поверхностные клетки бронхов вырабатывают слишком много слизи, что затрудняет дыхание. Бронхоскопом пациенту вводят тонкий шланг с жидким азотом и капают на пораженные участки точно отмеренные дозы. Старые клетки погибают, а на их месте нарастают новые, здоровые. Как отмечает одна из пациенток, до операции у нее было ощущение, что на шее сидит слон, а всего через несколько дней после операции этот слон как будто свалился.

О предсказании Ле Ружа напоминает идея криосауны, где человек на несколько минут погружается в пар жидкого азота с температурой от  $-100$  до  $-160^{\circ}\text{C}$ . В криосауне температура кожи очень быстро падает, а после окончания процедуры столь же быстро нарастает. Это не только вызывает сильное сжатие-расширение поверхностных кровеносных сосудов и, следовательно, резко усиливает снабжение кожи кислородом и другими активными компонентами крови, но и подает тревожный сигнал нервной системе. В результате изменяется характер выделения различных





*Накопитель энергии в виде башен с жидким азотом (вверху) или двигатель Дирмана (внизу) — элементы возможной азотной цивилизации. А рефрижиратор с двигателем Дирмана и с жидкоазотным холодильником уже обслуживает английские сетевые магазины (справа)*

веществ, которые связаны с воспалением, что особенно важно при реабилитации спортсменов после тренировки. Вообще-то они давно научились восстанавливать мышцы холодом, например принимая душ Шарко или прикладывая лед. Азотная криосауна позволяет охлаждаться несколько более комфортно и более контролируемо, и спортсмены отмечают более приятные ощущения. Анализ крови этих ощущений не подтверждает: по физиологическому действию криосауна от охлаждения льдом не отличается, а стоит дороже («Open Access Journal of Sports Medicine», 2014, 5, 25—36; doi: 10.2147/OAJSM.S41655). Но многие спортивные команды все-таки заводят у себя именно этот современный прибор для оздоровления и пользуются им сразу после тренировок.

Медики же пытаются с помощью криосауны облегчать страдания пациентов с различными видами артрита. Поскольку стресс приводит к выработке эндорфинов, то есть гормонов удовольствия, криосауна «лечит» от усталости и депрессии, помогает сбросить вес. Пользуются ей и косметологи — в моду вошло обмывание лица паром жидкого азота, причем утверждается, что оно делает кожу здоровее, устраняет разного рода экземы и даже псориазные бляшки. Установки для криосауны свободно продаются, стоят около миллиона рублей и занимают площадь в два квадратных метра. Цена литра жидкого азота в Москве — от 20 до 200 рублей, в зависимости от объема, то есть как и при советской власти — в одной ценовой категории с газированной водой, а на одну процедуру уходит 2,5—4 литра жидкого азота.

Любители экстравагантных поступков могут и ведро жидкого азота вылить себе на голову. Этот смелый опыт основан на знании физики — азот быстро испаряется и создает паровую прослойку между жидкостью и телом, поскольку теплопроводность газа гораздо меньше, чем у жидкости, обжечься при этом трудно. Внимание: мы не советуем проводить такие процедуры самостоятельно, без опытного консультанта!

Эффект испарения азота приходится учитывать и при важнейшем промышленном его использовании — быстром замораживании различных продуктов. Азот приходится на них набрызгивать, чтобы был контакт именно с холодной жидкостью, а не газом. Быстрая заморозка — гарантия того, что ледяные

кристаллы будут мелкими и не испортят товарного вида продукции. Незаменим азот при создании криобанков, где хранится семенной материал различных живых существ. С их помощью сохраняют как клетки представителей редких видов, так и материал для искусственного размножения породистых животных. В человеческих криобанках хранят пуповинную кровь и половые клетки, в том числе — оплодотворенные яйцеклетки.

Можно замораживать азотом не для сохранения чего-то, а, наоборот, для разрушения — при низкой температуре многие вещества становятся хрупкими, и их удобно размельчать. Подобные технологии придуманы для измельчения цемента, металллома, шин, пищевого сырья, их применяют и в фармацевтике.

Без жидкого азота невозможна современная наука — во многих экспериментах нужно поддерживать низкую температуру образцов либо различных детекторов. Самая большая криогенная научная установка — это Большой адронный коллайдер в ЦЕРНе. Его сверхпроводящие магниты и детекторы охлаждены жидким гелием, но для получения гелия каждый год расходуется более десяти тысяч тонн жидкого азота.

## Азотная цивилизация

Холод азота используют достаточно широко. Другая его особенность — резкое расширение при нагреве, а один литр жидкого азота дает 700 литров газа при нормальных условиях — находит применение разве что при тушении пожаров, когда облако химически инертного газа накрывает очаг и, вытесняя кислород, гасит пламя. Однако так было не всегда. В 1902 году, когда Ле Руж писал свою повесть, а доктор Уайт прижигал опухоли, изобретатель из Массачусетса Ханс Кнудсен продемонстрировал публике автомобиль, двигатель которого работал на испарении жидкого азота. Автомобиль развивал скорость 20 км в час и расходовал 50 литров жидкости на 60 км пути. В серию он не пошел, однако идея бесшумного транспортного средства с нулевым выхлопом сохранилась, а на волне борьбы с углекислым газом интерес к этой технологии возрождается. Один из главных энтузиастов, английский изобретатель Питер Дирман, разработал вполне эффективный азотный двигатель. В 2013 году созданная им компания совместно с университетом Лоуборо выиграла грант агентства по инновационному развитию на создание такого автомобиля и, судя по всему, успешно его выполнила.

Помимо двигателя Дирмана, сейчас проходят испытания двигатель Рикардо (он будет помогать дизельному двигателю при передвижении грузовиков и тепловозов), а также роторный азотный двигатель. Все эти изобретения попали в программу Совета Евросоюза по развитию транспорта.

Озабоченные охраной окружающей среды торговые компании вроде «Marx & Sprengel» уже используют рефрижераторы с азотным охлаждением, поскольку им для работы нужен разве что насос, который перекачивал бы жидкий азот по теплообменнику. А в некоторых моделях и он не нужен: рефрижератор заполняют паром жидкого азота (заодно и продукты не портятся в инертной атмосфере). Такие рефрижераторы бесшумны и могут привозить продукты в магазин по ночам. Интересно, что в упомянутом выше интервью академик Б.И.Веркин рассказывал о планах к 1984 году сделать 250 рефрижераторов на азотном охлаждении, а для их заправки построить станции жидкого азота в Харькове, Киеве, Львове. Теперь, спустя три с лишним десятка лет, эта идея воплотилась в Великобритании.

Дирман же указывает, что если поставить его двигатель на азотный рефрижератор, то уменьшатся и проблемы с громоздким баком для жидкого азота — у машины он и так есть. Кстати, получать жидкий азот Дирман в своих рекомендациях Еврокомиссии предлагает тем же способом, что и Веркин: с помощью газопроводов. Дело в том, что на распределительных газовых станциях, где кончается магистральный газопровод высокого давления и начинаются местные газопроводы низкого давления, холод получается сам собой за счет закона Гей-Люссака. Сейчас он пропадает, а можно организовать там станцию сжижения газа. В планах Еврокомиссии — использование холода для получения жидкого природного газа, которым потом заправят автомобиль. Дирман указывает, что лучше сжижать воздух: транспорт на жидком азоте совсем не будет загрязнять города своим выхлопом.

Очевидно, что при появлении азотного транспорта потребности в жидком азоте вырастут во много раз, и это позволит развить другие сектора азотной цивилизации. Скорее всего, они появятся в энергетике. Это могут быть линии электропередач, где жидкий азот будет охлаждать сверхпроводящие кабели. Их преимущества известны, и снижение потерь — не самое главное: по такому кабелю можно передавать огромные плотности тока. Не нужно будет возводить сложные форменные конструкции, создавать вокруг них обширные охранные зоны. Особенно это актуально для крупных городов и их окрестностей, где земля стоит дорого. Сверхпроводящий кабель, закопанный в землю, не порвут падающие от ледяного дождя деревья, вокруг него не формируются опасные электромагнитные поля. Огромный выигрыш места дают и компактные сверхпроводящие трансформаторы на подстанциях. Главный недостаток этой идеи — необходимость заводить надежное криогенное хозяйство, чего энергетики никогда не делали. А появление массовых источников жидкого азота в крупных городах облегчит преодоление психологических барьеров при внедрении этой современной технологии.

Другое важное использование азотного холода в энергетике — накопители энергии мегаваттно-гигаваттного класса. Сейчас, чтобы сглаживать пиковые нагрузки, для накопления энергии применяют перекачиваемые водохранилища или подземные хранилища сжатого воздуха. Они занимают много места, да и не везде можно такие объекты расположить. Потребность же в хранилищах растет по мере развития альтернативной энергетики. Сейчас ведущие газовые компании, та же «Linde group», уже создали экспериментальные криогенные хранилища энергии, которые достаточно компактны и могут быть размещены на любой территории.

Как видно, элементы азотной цивилизации проработаны даже лучше, чем элементы разрекламированной водородной цивилизации, пользы же от расширения областей применения криогенных технологий может оказаться больше, особенно если использовать бросовый холод. К тому же азот, в отличие от водорода, не взрывоопасен.



# Немного азота в блестящей стали

## Из основ материаловедения

Создание сплава подобно кулинарному искусству — надо в должной последовательности и пропорции соединить основные компоненты, а также приправы. Если пренебречь мелочами, блюдо не получится. А вот как, например, приготовить нержавеющую сталь нового поколения? Многие металлурги считают, что без азота тут не обойтись.

Сталь — это сплав железа с углеродом, в который добавлены легирующие элементы; они могут совершенно изменить свойства сплава. Как правило, эти элементы — металлы. В частности, для того, чтобы сделать нержавеющую сталь, надо добавить не менее 10,5% хрома, и чем больше его будет, тем лучше: он сформирует защитную пленку, которая защитит металл от коррозии. А чтобы получить высокую прочность, надо добавить углерода. Но если углерода будет много, то сплав станет неоднородным. Ведь при охлаждении после плавки либо термической обработки сталь, как правило, испытывает фазовое превращение: высокотемпературный аустенит превращается в низкотемпературной феррит. Первый способен удерживать в виде однородного твердого раствора и два процента углерода, а второй — доли процента. Поэтому если углерода много, он при охлаждении выйдет из аустенита и сформирует структуру из пластинок феррита с карбидом железа. Неоднородность — совсем не то, что нужно для сопротивления коррозии. Но это еще не все. Часть углерода создаст по границам зерен карбиды хрома, забрав его из приграничных областей. Это куда хуже — в районе границ защитная пленка окажется тоньше, они станут беззащитными, пойдет опаснейшая межкристаллитная коррозия: невооруженным глазом заметить ее нельзя, и может так случиться, что с виду полноценное изделие внезапно развалится. И уж совсем плохо, что все эти карбидные частицы делают сплав прочным, но очень хрупким.

## Хром, никель...

Поэтому хоть первую нержавеющую хромовую сталь француз Пьер Бертье получил в 1821 году и даже предложил из нее делать ножи, до тех пор, пока немец Ганс Гольдшмидт в 1895-м не придумал способ получения безуглеродистого хрома, пластичная нержавейка с малым содержанием углерода не получалась и ничего путного из нее не выходило. Зато потом было создано целое семейство ферритных нержавеющих сталей — с низким содержанием углерода, но все-таки довольно прочных, хотя и не с самым лучшим сопротивлением коррозии.



Однако можно пойти другим путем: заставить феррит, в общем-то, не образовывался. Этого достигают легированием, и лучший стабилизатор — никель. Самая популярная сегодня нержавейка — аустенитная сталь X18H9T, то есть содержащая около 1% углерода, 18% хрома и 9% никеля. Говорят, что впервые подобную сталь применил концерн Круппа при строительстве корпуса яхты «Германия» в 1908 году. Проверить это можно — яхта до сих пор лежит у берегов Флориды, где затонула в 1930 году, и служит местным морским заказником. Первую такую сталь запатентовали в 1912 году сотрудники концерна Бенно Штраусс и Эдвард Маурер.

Однако никель дорог. Нельзя ли его чем-нибудь заменить? Можно — марганцем. Такая сталь дешевле, но у нее серьезный недостаток: в ней нет никаких твердых частиц: образующий их углерод равномерно распределен по аустениту, образуя в нем твердый раствор. Стало быть, прочность низка, а пластичность и вязкость — велики, что и хорошо, и плохо: материал отлично держит удар, не трескается, но обрабатывать его на токарном станке трудно.

### ...азот

И вот тут появляется та самая толика азота, способная придать железо-хром-никелевому блюду неповторимые качества. В 1912 году американец Дж. Ч. Эндриу из Института Карнеги проводит опыты по выплавке стали при высоком давлении азота и обнаруживает, что азот прекрасно заменяет никель, стабилизируя аустенит. Затем похожие опыты в 40-х годах проводит австриец Франц Рапатц, который разработал первую хром-марганец-никелевую сталь с азотом. В 1961 году выясняется, что азот упрочняет сталь, причем не образует твердые частицы нитридов, а оставаясь в твердом растворе, более того, препятствует появлению на границах нитридов того же хрома. И что самое удивительное, повышение прочности не ведет к снижению пластичности, как это обычно бывает.

Материаловедам такая находка пришлась по душе, но вот загвоздка: как загнать азот в сталь, если это газ, который оттуда хочет вылететь? Скажем, в расплаве его еще можно растворить в ощутимом количестве, поддавая давления, но в твердом железе он растворяется гораздо хуже, чем в жидком. Значит, при затвердевании слиток вскипит, из него выйдут пузыри излишнего азота, а это плохо во всех отношениях — и структура испортится, и азота останется слишком мало.

Однако способы все-таки нашли. Первый — добавить в плавку вещество, содержащее много азота, например мочевины. От нагрева она распадется, и азот частично улетит, частично растворится в металле. Альтернатива — продуть азот сквозь плавку, как это делают с кислородом. Оба способа плохи тем, что непонятно, сколько же азота останется в металле после его затвердевания, все-таки это газ, который легко улетает

прочь. Другой способ — переплавить сталь в атмосфере азота и желательнее под давлением. Он требует специального оборудования и дает относительно небольшие отливки — несколько сот килограммов за раз. Третий способ — насыщать уже твердый металл, либо в порошке, либо в виде готового изделия. Для этого нужен газостат, оборудование дорогое и специфическое (правда, в XXI веке оно перестает быть экзотикой; так, в КНР есть тысячи огромных, размером с дом, газостатов, применяемых в основном для порошковой металлургии).

## Нитроник для болтов

Как бы то ни было, в 80-х годах американская компания «Армо» (ее основали в 1900 году как «Американскую корпорацию прокатных станов») начала выпуск серии промышленных хром-никелевых-марганцевых сталей с высоким (от 0,1 до 0,24%) содержанием азота и низким (0,06%) содержанием углерода, их называли «нитроники». По коррозионной стойкости и пластичности они не уступают аустенитным нержавеющей стали, но превосходят их по прочности. Сплавы получились не массовые, а специального назначения, но успешно нашли себе место под солнцем, точнее, в средах, насыщенных солями и кислотами. Например, из таких сплавов рекомендуют делать крепеж для соединения строительных конструкций мостов, проходящих над морскими волнами — соленые аэрозоли болтам из нитроника 60 не страшны, более того, гайки в таких условиях не прикипят, и со временем их при необходимости можно будет отвернуть.

После этого успеха интерес к сталям с высоким содержанием азота резко вырос. Сейчас их выпускают во всех промышленно развитых странах, с 1988 года прошло уже десять международных конференций, последняя — в 2009 году в Москве. При этом отечественная школа металлургов стараниями специалистов из МИСиСа, Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, а также Института металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАНУ занимает в создании таких сталей лидирующие позиции. В числе ее достижений определение механизма, вызывающего чудесное действие азота: растворенный в решетке аустенита, он повышает число электронов проводимости, то есть делает связь в решетке более металлической, углерод же, напротив, ведет ее в сторону ковалентности. Именно поэтому азот так прекрасно стабилизирует аустенит — в 30 раз более эффективно, чем никель. Атомы азота сильно отталкиваются друг от друга, отчего равномерно распределяются по всему сплаву, а из-за того, что они вызывают большие искажения решетки, прекрасно упрочняют сплав. Теперь удается даже рассчитывать состав сплавов, ведь методы расчета плотности свободных электронов физикам прекрасно известны. В частности, расчет хром-марганцевой стали, содержащей примерно по 20% каждого элемента («Аста



ТЕХНОЛОГИИ

Materialia», 2008, 56, 18, 5071—5082; doi: 10.1016/j.actamat.2008.06.021), показал, что добавлять в сталь более 0,6% азота бессмысленно, это приведет к охрупчиванию. Но если добавлять еще и углерод, тогда это не скажется отрицательно на свойствах. Оптимально оказывается суммарное содержание азота и углерода в пределах 0,8—1,1%.

Действительно, стали, выплавленные в этом интервале составов, показали превосходные свойства — прочность в три раза больше, чем у сталей с подобной коррозионной стойкостью и пластичностью. При этом из-за отсутствия никеля такая сталь оказывается еще и дешевле. Дополнительный плюс — высокая стойкость к износу и удару; авторы работы предлагают делать из нее и буровое оборудование, и броню для спецмобилей, и даже колеса для железнодорожных вагонов — совсем нетипичное применение нержавеющей стали.

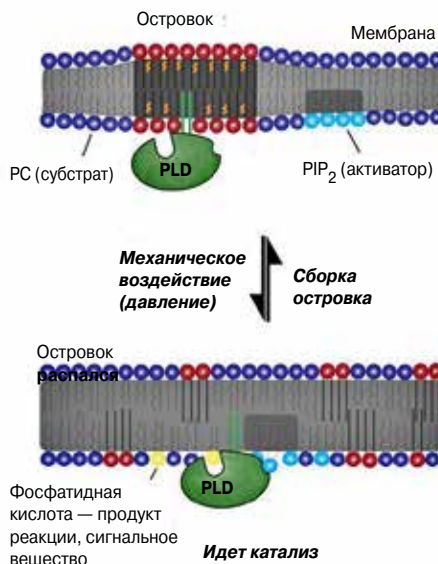
А зачем металлургам упомянутая добавка углерода к азоту? Дело в том, что система железо—углерод подбрасывает тут очередной неприятный сюрприз. На самом деле помимо аустенита и феррита есть еще высокотемпературный феррит — дельта-железо. Если углерода мало, именно он и начинает кристаллизоваться первым. Азот в нем растворяется гораздо хуже, чем в аустените, то есть это именно из-за дельта-железа азотированная сталь вскипает при затвердевании. Добавка углерода как раз и позволяет начать кристаллизацию сразу в состоянии аустенита: так удается сохранить высокое содержание азота даже без особых манипуляций с давлением.

Энтузиасты создания сталей с высоким содержанием азота надеются, что в будущем благодаря сочетанию высоких содержаний углерода и азота станет возможным производство таких сталей без применения высокого давления, что сделает высокоазотистую сталь массовым продуктом. И тогда из нее можно будет делать не болты или клапаны для экзотических применений, а множество более объемных вещей — от хранилищ жидкого газа и другого криогенного оборудования до кузовов автомобилей и медицинского оборудования, не провоцирующего никелевую аллергию.

Кандидат  
физико-математических наук  
**С.М. Комаров**



Биологи и химики из Исследовательского института Элен Скриппс обнаружили новый механизм, который, возможно, лежит в основе осязания («Nature Communications», 2016, 7, 13873, doi: 10.1038/ncomms13873). Предполагается, что особые богатые холестерином островки жирных кислот в клеточной мембране служат временными камерами предварительного заключения для ферментов, не давая им взаимодействовать с партнерами. Давление разрушает эти островки, и ферменты проводят реакцию с веществом-субстратом, создавая сигнал, который нервная система воспринимает как тактильное ощущение.



Исследователи из Института Скриппс занялись изучением клеточного механизма, лежащего в основе осязания, надеясь, что результаты их работы помогут решить проблемы, связанные с хроническими болями и другими патологиями, развивающимися при аномалиях этого чувства. Руководитель исследования Скотт Хансен отмечает, что предложенное ими объяснение восприятия тактильных ощущений коренным образом отличается от общепринятых.

Хансен сравнивает липидные островки, не пускающие ферменты к их субстратам, с отсеками химического фонаря, с отсеками химического фонаря. Пока между различными резервуарами такого химического источника света существует барьер, реагенты не смешиваются и фонарь не светит, но стоит разрушить перегородку, и свечение начинается. Не-

*Предполагаемый механизм активации тактильных ощущений. Фермент фосфолипаза D (PLD), привязанный к липидному островку, не может взаимодействовать со своим субстратом, но механическое разрушение островка делает это возможным; продукт реакции инициирует сигнал о прикосновении.*

*PC — фосфатидилхолин, обычный компонент мембраны, он же субстрат, который фермент превращает в сигнальное вещество; PIP<sub>2</sub> (фосфатидилинозитол-4,5-дифосфат) — активатор фермента — тоже попадает к нему, лишь когда островок распадается*

что подобное происходит и в мембране клетки, которая испытывает давление. Мембрана — это «двумерная жидкость»: молекулы в ее составе свободно перемещаются друг относительно друга, однако

богатые холестерином островки, в которые заключен фермент фосфолипаза D, сравнительно стабильны. Но когда механическое воздействие разрушает островок, фермент взаимодействует с субстратом и образует сигнальный липид — фосфатидную кислоту. Она и запускает цепочку химических процессов, в итоге интерпретируемых нервной системой как информация о прикосновении.

Авторы работы сконцентрировали внимание на поведении этих липидных агрегатов в клеточной мембране. Ранее уже было установлено, что именно они отвечают за осязание, но первые предположения о молекулярном механизме этого ощущения появились только теперь. Исследователям удалось наблюдать превращения липидных островков в реальном времени. Первоначальные наблюдения показали, что они действительно очень часто разрушаются и собираются вновь, при этом у ферментов появляется возможность взаимодействовать с субстратами. На следующем этапе работы оказалось, что причиной этому вполне может быть механическое воздействие на клетку.

Хансен с соавторами полагают, что сделали только первый шаг. Чтобы больше узнать о том, как мы ощущаем прикосновения, в первую очередь нужно выяснить, какие еще белки клеточной мембраны участвуют в формировании и передаче сигнала.

## Тайна патента Уильяма Перкина



Мовеиновый красно-фиолетовый Уильяма Перкина — первый синтетический краситель, случайно полученный при переработке каменноугольной смолы в 1856 году, — изменил химическую промышленность викторианской Великобритании, а потом и всего мира. Он же подарил Перкину мировую известность. Как показывают результаты Джона Плейтера из Абердинского университета, Перкин мог гораздо тщательнее контролировать химические процессы, лежащие в основе производства этих красителей, чем считалось раньше («Journal of Chemical Research», 2016, 40, 11, 648—651, doi: 10.3184/174751916X14725625519561). Он был не просто человеком, которому однажды повезло, а настоящим первопроходцем.

Мовеиновый краситель Перкина (см. «Химию и жизнь», 2007, 2) был сложной по составу композицией, смесью хромофорных молекул. Дело в том, что и Перкин, и другие производители использовали как исходное вещество анилин (полученный из каменноугольной смолы), в котором присутствовали изомеры толуидина. Их превращения также влияли на состав, а следовательно, и на цвет продукта.

Именно благодаря примесям в исходных веществах качественный и количественный состав красителя был индивидуальным, как отпечатки пальцев. Сегодня по составу красителя в различных образцах можно четко определить место, время и метод синтеза пигмента. Очевидно, что разные смеси имеют различные оттенки: сам Перкин говорил о красителе с синим оттенком и более



Краситель Перкина использовали для печати шестипенсовых почтовых марок в 1867—1880 годы

привлекательном образце с красным оттенком.

Плейтер провел настоящее детективное расследование и расшифровал состав красящих композиций из различных ис-

точников. Объекты для анализа, в том числе хранящиеся в бутылке образцы красителей, а также окрашенные ими ткани предоставили различные музеи Великобритании и США, включая Лондонский и Манчестерский музеи естественной науки и музей Университета Колумбии в Нью-Йорке. Однако самым доступным объектом оказались марки викторианской эпохи — краситель Перкина использовали для печати сиренево-фиолетовых шестипенсовых марок во второй половине XIX века. Таких марок было напечатано огромное количество, многие из них дожили и до нашего времени. С помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии Плейтер определил состав мовеинового красителя в нескольких марках, а также в образце красителя из Манчестерского музея.

Анализ выявил интересные нюансы: все мовеиновые красители, сделанные на мануфактуре, которую Перкин организовал совместно с отцом и братом, практически не различались, а вот мовеиновые красители, изготовленные на других производ-

ствах по патенту, оформленному Перкином в 1856 году (WH Perkin, Patent, AD 1856 No 1984), зачастую серьезно отличались по составу и от продукции семейного предприятия Перкина, и друг от друга.

Сам Плейтер пытался много раз воспроизвести описанную в патенте Перкина методику, подбирая состав подвергавшихся окислению аминов, но ему так и не удалось добиться воспроизводимых результатов. В каждом эксперименте он получал смеси хромофоров, различавшиеся по количественному и качественному составу («Journal of Chemical Research», 2015, 39, 5, 251—259, doi: 10.3184/174751915X14303016711715). По словам Плейтера, следование протоколу, описанному в патенте, давало смесь четырех типов мовеиновых хромофоров. Между тем красители, выделенные из почтовых марок (наряду с музейным образцом), содержали только два ключевых вещества, обладая при этом более желаемым «красным оттенком». Реконструировав химические процессы, протекавшие в ходе синтезов, и химические превращения, которые мог осуществлять

Перкин, Плейтер предположил, что одним из исходных веществ, применявшихся на семейном предприятии Перкина наряду с анилином, было производное толуидина, которое увеличивало выход красящей композиции и позволяло получить более простой состав. Перкин наверняка знал об этой тонкости производства, скорее всего, он сам ее и разработал, но никогда не описывал.

Как заявляет Генри Ржепа из Имперского колледжа Лондона, сотрудничавший с Плейтером в анализе мовеиновых красителей, описанный Перкином в патенте метод содержит только часть правды. Увы, это стало традиционной проблемой описаний методик в патентах и заявках на изобретения. В конкретном случае тайна исторического детектива о рецепте Перкина была раскрыта, однако многим химикам и химикам-технологам ежедневно приходится иметь дело с методиками, которые не воспроизводятся. Это не так увлекательно, как работа Плейтера, и явно не сможет стать основой для публикаций в журналах с высоким рейтингом.

## Фосфор в роли азота

Химики-органики получили огромное количество соединений, в состав которых входят водород и элементы второго периода Периодической системы — углерод, азот, кислород. Не отстают от них и специалисты в области химии элементоорганических соединений, которые, как правило, вводят в состав классического органического соединения заместители, содержащие элементы старших периодов, например кремний или фосфор. Элементоорганические заместители, бесспорно, придают соединениям широкий спектр практически полезных свойств, однако сегодня известно мало примеров, когда гетероатомы выступают в роли более тяжелых аналогов классических C, N, O в гетероциклических ароматических системах. Исследователи из Швейцарской высшей технической школы Цюриха дополнили этот список, синтезировав фосфорсодержащий аналог циануровой кислоты («Angewandte Chemie Int. Ed.», 2017, 56, 5, 1356—1360, doi: 10.1002/anie.201610156).

Шестичленный гетероцикл, циануровую кислоту —  $C_3N_3(OH)_3$  и ее производные часто применяют в качестве агентов для сшивки полимеров, а также для получения гербицидов, красителей и других полезных химикатов. Исследователи из группы Хансйорга Грютцмахера уверены, что фосфорсодержащий аналог циануровой кислоты  $C_3P_3(OH)_3$  (он же трифосфабензол или 2,4,6-три(гидрокси)-1,3,5-трифосфинин) сможет найти

применение в тех же областях, став основой для синтеза фосфорсодержащих полимеров, а возможно, и лигандом для комплексов переходных металлов.

Циануровая кислота — одно из первых органических соединений, синтезированных в лаборатории. В 1829 году ее получил тримеризацией изоциановой кислоты HNCO Фридрих Вёлер. Это произошло всего лишь год спустя после того, как тот же Вёлер синтезировал мочевины из неорганических веществ. Сегодня промышленный способ получения циануровой кислоты основан на пиролизе мочевины, и он так прост, а ее роль настолько велика, что химиков давно интересовал ее более тяжелый аналог, в котором все атомы азота были бы замещены атомами фосфора. Однако до Грютцмахера с соавторами это никому не удавалось.

Исследователи из Швейцарии (возможно, как и многие до них) сперва полагали, что фосфорсодержащий аналог циануровой кислоты удастся получить, тримеризуя исходное соединение HPCO, но все попытки кончались неудачей. Тогда они изменили тактику и методом проб и ошибок выяснили, что взаимодействие натриевой соли Na(ОСР) и борорганического со-

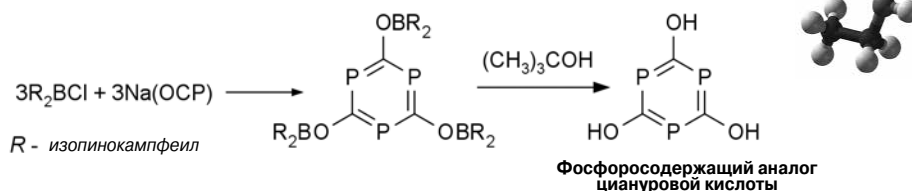
единения приводит к борзамещенному фосфаалкину, тримеризация которого дает мультиграммовые количества соединения с циклом  $C_3P_3$ . Дальнейшая обработка борсодержащего интермедиата трет-бутанолом позволила получить целевое соединение  $C_3P_3(OH)_3$ .

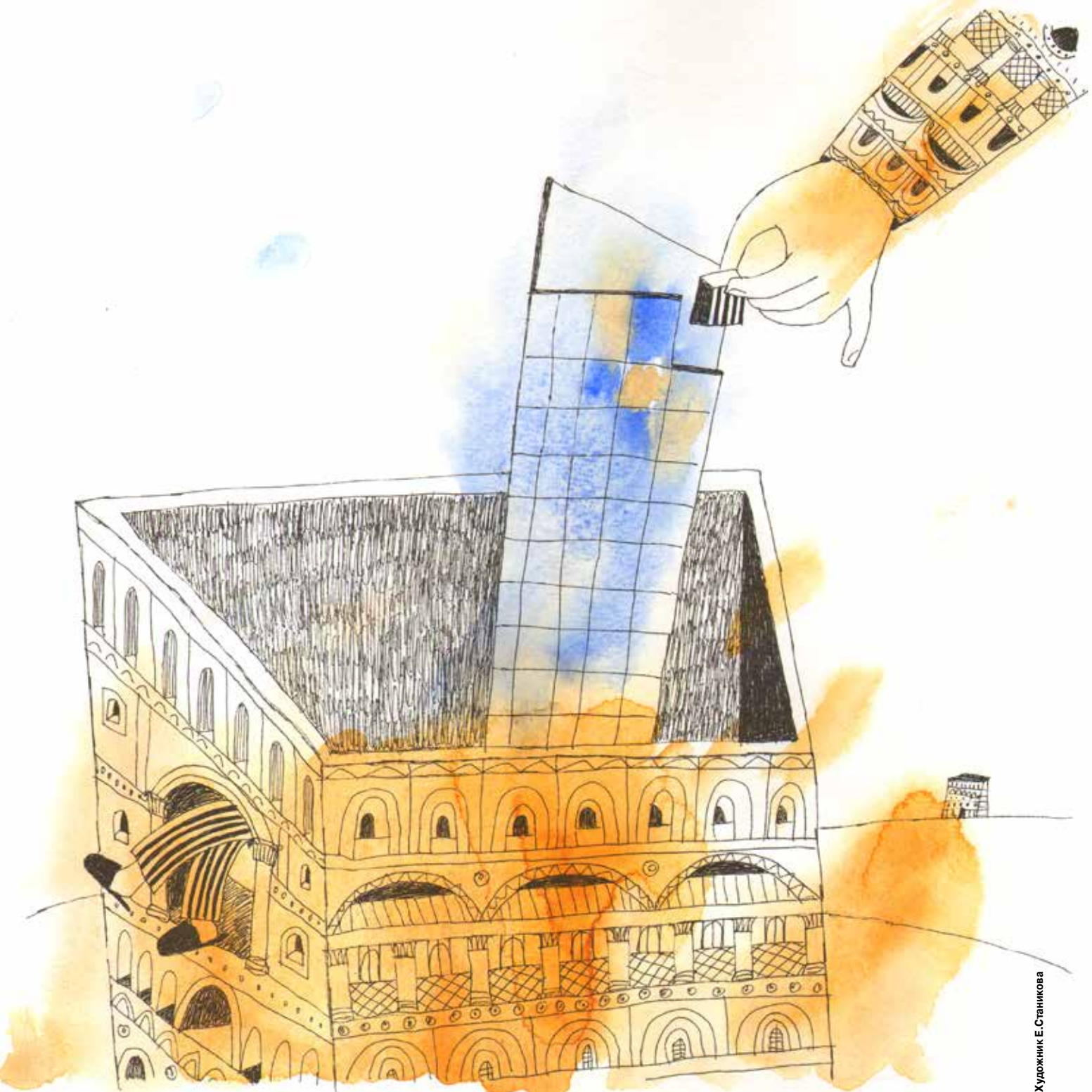
Хосе Гойкоэча из Оксфордского университета, в группе которого в 2013 году впервые получили фосфорсодержащий аналог мочевины,  $H_2PC(O)NH_2$  («Journal of the American Chemical Society», 2013, 135, 51, 19131—19134, doi: 10.1021/ja4115693), заявляет, что его коллеги из Цюриха совершили прорыв и наверняка у них будут многочисленные последователи.

У Грютцмахера с коллегами пока нет планов коммерциализации фосфорсодержащего аналога циануровой кислоты. Исследователи в первую очередь хотят изучить возможность применения ароматического  $C_3P_3(OH)_3$ , его бор- и кремнийсодержащих производных в качестве π-акцепторных лигандов и попробовать получить комплексы переходных металлов.

Выпуск подготовил кандидат химических наук  
**А.И. Курамшин**

ХЕМОСКОП





Художник Е. Станикова

# Ренессанс $p$ -элементов

Кандидат химических наук  
**А.И. Курамшин**

В XX веке элементы главных подгрупп Периодической системы были менее популярны, чем те, что расположены в побочных подгруппах. Литий, бор и германий оказались в тени своих дорогих соседей — золота, палладия, родия и платины. Конечно, нельзя не признать, что классические химические свойства элементов главных подгрупп не могут сравниться с быстрыми

и элегантными процессами, в которых участвуют комплексы переходных металлов (за открытие этих реакций присуждена не одна Нобелевская премия). В начале 1970-х годов среди химиков вообще бытовало мнение, что элементы главных подгрупп уже раскрыли все свои секреты, а их изучение — фактически пустая трата времени.

## Скрытый химический переворот

Когда автор этой статьи был студентом (а он получил диплом Казанского университета в 1992 году), ему и многим его однокурсникам химия р-элементов казалась самым скучным разделом. (Напомним, что s-, p- и d-элементы — это те, валентные электроны которых занимают соответственно s-, p- и d- орбитали.) Нам рассказывали, в какой форме эти элементы существуют в земной коре, преподавали методы их выделения, физические свойства, типичные степени окисления, химические свойства и практическое применение. Вдвойне скучно было тем, кто прошел через химические олимпиады и узнал всю эту полезную информацию еще школьником. Может быть, поэтому в наше время кафедра неорганической химии была не очень популярна при выборе специализации — все мы старались попасть к органикам или элементоорганикам, где рассказывали про наступившую в химии эру переходных металлов, катализирующих все мыслимые и немыслимые превращения веществ.

Тогда еще не было компьютеров и Интернета, всю информацию мы получали только из реферативных журналов по химии и некоторых иностранных журналов, которые выписывала наша библиотека. Ни мы, ни наши преподаватели не знали, что в конце 1980-х годов уже стали заметными первые признаки ренессанса химии элементов главных подгрупп. Именно тогда обнаружили, что возможно получить экзотические формы р-элементов — кремний и фосфор в низкокоординированном и низкоокисленном состояниях, но при этом способные образовывать вполне устойчивые при комнатной температуре соединения. Хотя об их практическом применении в тот момент речь не шла, первые успешные примеры синтеза этих веществ показывали, что химию элементов главных подгрупп немного недооценили и, возможно, придет время, когда р-элементы смогут выйти из тени d- и даже f-элементов. В итоге так и получилось.

Точкой начала разворота к элементам главных подгрупп можно считать 1981 год. Тогда было опубликовано целых три

работы, опровергающих представление о том, что устойчивая двойная или тройная связь может образовываться только в том случае, если один из партнеров этой химической связи (а лучше оба) — элемент второго периода. Первым это «правило двойных связей» опроверг Роберт Уэст из университета Висконсина, в группе которого впервые синтезировали устойчивый силен — соединение с двойной связью кремний-кремний, более тяжелый аналог алкенов, знакомых каждому по органической химии («Science», 1981, 214, 4527, 1343—1344, doi: 10.1126/science.214.4527.1343). Вскоре после этого исследователи из Токийского университета, работавшие под руководством Масааки Ёсифудзи, сообщили о синтезе соединения с двойной связью фосфор-фосфор («Journal of the American Chemical Society», 1981, 103, 15, 4587—4589; doi: 10.1021/ja00405a054). В том же году Герд Беккер из университета Штутгарта смог получить устойчивый фосфаалкин — соединение с тройной связью фосфор-углерод, который можно рассматривать как фосфорсодержащий аналог нитрилов карбоновых кислот («Zeitschrift für Naturforschung B», 1981, 36, 16).

Фосфор и кремний — элементы третьего периода, поэтому никто не ожидал от них таких возможностей. В последнем соединении атом фосфора координационно ненасыщен, а это позволяло надеяться, что оно или его аналоги найдут применение в качестве катализаторов. Повод для надежды давало то, что основная задача катализатора — связаться с молекулой-субстратом, которую нужно активировать, на это способны только те молекулы, к которым реагент может легко приблизиться, а в привычных большинстве химиков фосфатах атом фосфора, окруженный четырьмя группировками, никак нельзя назвать доступным центром.

## Главное — объемное окружение

Все три синтеза, опубликованные в 1981 году, удалось потому, что были правильно подобраны заместители, окружающие элементы главных подгрупп в их новых, экзотических соединениях (в химии переходных металлов



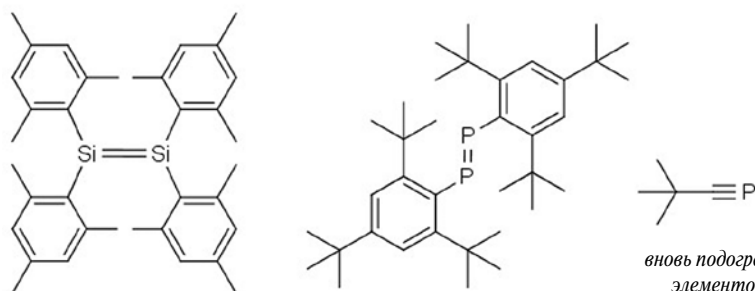
### ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

заместители назвали лигандами). Новые производные, полученные Уэстом, Ёсифудзи и Беккером, объединяло одно — объемные лиганды, связанные с элементами главных подгрупп, стабилизовали кремний или фосфор в низкокоординированном состоянии, которое не было бы устойчивым в других обстоятельствах. Объемные заместители защищают кремний и фосфор от кислорода и воды воздуха, а также не дают вступить в реакцию диспропорционирования и принимать типичные для них степени окисления (+4 и +5 для кремния и фосфора соответственно) и координационные числа (четыре для обоих элементов). Так, силен был стабилизирован четырьмя объемными мезитильными группами (мезитил — это 1,3,5-триметилбензол), а фосфаалкин — объемным трет-бутильным заместителем.

Как только стало ясно, что объемные лиганды делают устойчивыми соединения, в которых р-элементы находятся в невысокой степени окисления и/или с низким координационным числом, к получению новых, необычных производных элементов главных подгрупп стали подключаться и другие ученые. Начиная с 2000-х годов практически в каждом номере «Science» (а с появления в 2009 году журнала «Nature Chemistry» — в почти каждом его номере) сообщается о каком-то экзотическом соединении с элементом главных подгрупп.

Так, до недавнего времени никто не мог подумать, что удастся получить и охарактеризовать стабильные силилены — кремнийсодержащие эквиваленты карбенов.

Карбены — это частицы с высокой реакционной способностью, в которых на двухвалентном и двухкоординированном атоме углерода либо есть пара электронов (более устойчивый синглетный карбен), либо два отдельных неспаренных электрона (более активный триплетный карбен). В 2012 году Камерон Джонс из австралийского Университета Монаша и его коллеги из Оксфорда и Университетского колледжа Лондона описали первый синглетный силилен — двухвалентный кремний

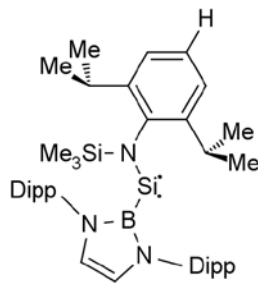


Синтез этих трех соединений вновь подогрел интерес к химии элементов главных подгрупп

в нем стабилизирован объемным бор-содержащим лигандом («Journal of the American Chemical Society», 2012, 134, 15, 6500—6503, doi: 10.1021/ja301042u). Силилен можно выделить в кристаллическом состоянии, и он, заметим, сохраняет устойчивость при температуре до 130°C. А вот в растворе кремниевый аналог карбена димеризуется с образованием силена либо внедряется в C–H связи алканов, воспроизводя химические свойства своих аналогов карбенов.

Химики продолжают получать все новые органические соединения с элементами главных подгрупп. В частности, пытаются заменить в хорошо известной структуре элемент второго периода на аналогичный ему элемент более старшего периода (в этом номере «Жемоскопа» рассказывается о получении фосфорсодержащего аналога одного из первых синтезированных органических веществ). Другое направление немного похоже на коллекционирование редких марок, только вместо марок — химические структуры. Например, в 2016 году Александр Хинц из Оксфорда пытался получить цикл, содержащий атомы четырех различных пниктогенов (элементов 5-й группы главной подгруппы от азота до висмута). Полностью решить задачу ему не удалось — молекула линейного строения не замкнулась в цикл. Тем не менее впечатляет и молекула с уникальной цепью Sb–N–As=P, включающей четыре из пяти р-элементов подгруппы азота («Chemistry. A European Journal», 2016, 22, 35, 12266—12269, doi: 10.1002/chem.201601916).

Конечно, говорить о синтезе экзотических производных элементов главных подгрупп только как о «химическом коллекционировании» нельзя, поскольку получение аналогов хорошо известных органических соединений, содержащих элементы старших периодов, безусловно важно для уточнения теорий строения химической связи. Разумеется, это не единственная причина интереса химиков. Стремление найти области, в которых эти вещества можно использовать на практике, — именно в нем причина ренессанса химии элементов главных подгрупп.



Этот силилен устойчив, хотя кремний в нем двухвалентный и двухкоординированный  
Dipp — 2,6-диизопропилфенил

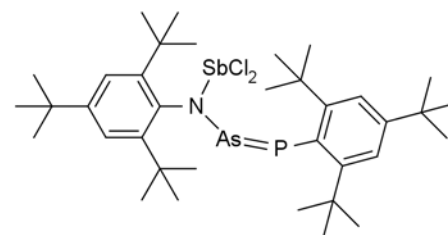
Еще в 1980-е годы после синтеза первых веществ, в которых наблюдалась низкая координация р-элементов, химики надеялись, что такие координационно ненасыщенные соединения смогут катализировать многие реакции так же, как комплексы переходных металлов. Уж больно заманчиво было бы поменять дорогие соединения платины и палладия на молекулы, содержащие только элементы главных подгрупп. Появившаяся уже в этом тысячелетии информация о свойствах необычных соединений р-элементов подтвердила теоретические прогнозы. Оказалось, что многие из них активируют углеводороды, молекулярный водород и углекислый газ.

## Чем плохи переходные металлы?

Казалось бы, зачем разрабатывать новые катализаторы для процессов, которые уже давно отлично ускоряются производными переходных металлов? К тому же и металлоорганическая химия переходных элементов не стоит на месте — все время открываются новые грани реакционной способности d-элементов. Но у благородных переходных металлов есть свои недостатки. В первую очередь цена: самые эффективные катализаторы превращений органических и элементорганических соединений — это комплексы родия, платины и палладия. Вторая сложность — истощение природных запасов платины и палладия. Наконец еще одна проблема платиновых или палладиевых катализаторов — высокая токсичность. Особенно это актуально при получении лекарств, поскольку их цену существенно повышает стоимость очистки вещества даже от следовых количеств переходных металлов. Переход на новые катализаторы как минимум значительно удешевит лекарственную субстанцию, а возможно, и упростит очистку целевого продукта реакции.

Существуют и дополнительные преимущества, которые может дать применение катализаторов на основе элементов главных подгрупп. Так, не исключено, что некоторые известные реакции пойдут в более мягких условиях, а значит, удастся сэкономить на энергии. Например, еще в 1981 году в своей работе про синтез и свойства первого силена Джонс продемонстрировал, что соединение с двойной связью кремний–кремний может активировать водород при температуре даже меньшей, чем комнатная, тогда как существующие в промышленности процессы гидрирования требуют применения высоких температур.

Один из важных химических процессов, обнаруженных в уже новом тысячелетии, — активация молекуляр-

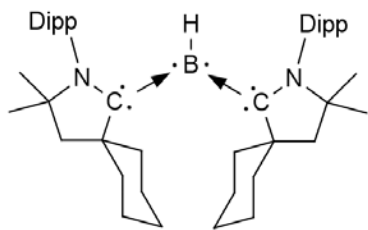


Жемчужина в коллекции химических редкостей — молекула с цепью элементов Sb–N–As=P

ного водорода с помощью дигермина, германийсодержащего аналога алкинов («Journal of the American Chemical Society», 2005, 127, 12232—12233, doi: 10.1021/ja053247a). Этот процесс, который может показаться обычным, интересен благодаря двум обстоятельствам. Во-первых, несмотря на аналогию строения алкинов и герминов, водород реагирует с последними не по сценарию, характерному для углеводородов с тройной связью углерод–углерод (водород присоединяется к каждому из атомов тройной связи, и гермин превращается в гермен), а по механизму, типичному для атомов переходных металлов. Этот механизм, в результате которого молекула водорода присоединяется к элементу и образуются две новые связи Э–Н (в описанном случае — Ge–H), называется окислительным присоединением и является ключевой стадией многих каталитических процессов с участием переходных металлов. Во-вторых, хотя H<sub>2</sub> и может показаться самой простой и незамысловатой молекулой, химическая связь в ней — самая прочная из всех, какие могут возникнуть между двумя одинаковыми элементами, поэтому разрыв этой связи и, соответственно, активация водорода в процессах каталитического гидрирования — далеко не простая задача с точки зрения химической технологии.

## Можно ли сделать акцептор донором?

Чтобы элемент смог вступить в реакцию окислительного присоединения водорода (независимо от того, где он расположен в Периодической таблице), он должен обладать некоторыми особенностями электронного строения. Процесс Э + H<sub>2</sub> = Н–Э–Н пойдет только в том случае, если элемент координационно ненасыщен и его свободная орбиталь может принять электроны молекулярного водорода. Более того, энергия этой свободной орбитали должна быть близка энергии молекулярной орбитали водорода, на которой находятся электроны. Прогресс в области гомогенного металлокомплексного катализа главным образом объясняется тем, что химики, изменяя строение лигандов, связанных с металлом, могут варьировать



Гетероциклический карбен, полученный Бертраном Дипп — 2,6-дизопропилфенил

энергию его орбиталей и таким образом «подстраивать» их под строго определенные вещества, участвующие в реакции. Долгое время считалось, что такая мягкая настройка энергии орбиталей возможна только для *d*-элементов, однако в последнее десятилетие оказалось, что и для *p*-элементов тоже. Больше всего надежд исследователи связывают с азотсодержащими комплексами, в которых лиганды как клешнями охватывают координационный центр (они и называются хелатирующими лигандами, от лат. *chela*, клешня), а также со сравнительно новым классом лигандов — *N*-гетероциклическими карбенами.

Успешный пример применения последних — работа Гая Бертрана из университета Калифорнии в Сан-Диего, в которой эти лиганды стабилизируют атом бора («Science», 2011, 33, 6042, 610—613, doi: 10.1126/science.1207573). Обычно производные бора, содержащего всего три электрона на своем внешнем слое, работают как классический акцептор электронов (кислота Льюиса). Дело в том, что до устойчивой восьмиелектронной оболочки бору необходимо еще пять электронов, поэтому три ковалентные связи он может образовать из трех своих и трех сторонних электронов, а вот еще два электрона приходится заполучать, принимая

в свои пустые электронные ячейки чужую электронную пару. Однако *N*-гетероциклические карбены — такие сильные доноры электронов, что связанный с ними бор перестает быть акцептором — он становится настолько «электроноизбыточным», что превращается из кислоты Льюиса в основание Льюиса. Еще недавно химики даже не могли спрогнозировать такое значительное изменение свойств хорошо знакомого *p*-элемента. И хотя работа Бертрана пока интересна только с теоретической точки зрения, переход от теории к практике в наше время происходит довольно быстро.

## Далеко ли до катализа

Итак, синтезированные в последнее время производные элементов главных подгрупп могут вступать в ключевые реакции, которые катализируют комплексы переходных металлов. К сожалению, даже упомянутое окислительное присоединение молекулярного водорода к атому кремния или бора — всего лишь первый шаг в последовательности реакций, которые нужно разработать для полного каталитического цикла. Например, если речь идет о гидрировании в присутствии соединений главных подгрупп, механизм которого воспроизводит механизм присоединения водорода в присутствии катализатора Уилкинсона, то после взаимодействия с водородом *p*-элемент должен образовать комплекс с алкеном, затем должны произойти гидридный перенос и образование комплекса... и все остальные стадии, которые в конечном счете приведут к образованию конечного продукта и регенерации каталитически активной частицы. Только тогда одна частица катализатора даст десятки,



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

сотни или даже тысячи молекул целевого продукта. Но для того чтобы такой каталитический цикл заработал, нужно решить еще много задач — связь элемент-водород, образующаяся в результате окислительного присоединения, не должна быть слишком прочной (а то не произойдет гидридный перенос), элемент, присоединивший водород, должен сохранять низкокоординированное состояние для взаимодействия с алкеном и так далее. Стоит упустить какой-то момент, и катализатора из *p*-элемента не получится, несмотря на сходство его поведения с *d*-элементами в некоторых процессах.

Может показаться, что переход от металлокомплексного катализа к катализу соединениями элементов главных подгрупп — слишком сложная задача, и она очень далека от выполнения. Тем не менее интерес к химии *p*-элементов и желание химиков-синтетиков заменить платиновые или палладиевые катализаторы на что-то другое наверняка обеспечат прорыв в этом направлении. Есть шанс, что мы услышим о катализаторах на основе координационно ненасыщенных элементов главных подгрупп уже в течение ближайшего десятилетия.



## О подписке

### Реквизиты:

Получатель платежа: АНО Центр «НаукаПресс»,  
ИНН/КПП 7701325151/770101001 Банк: ПАО «Сбербанк», г.Москва,  
Номер счета: № 40703810938000000848, к/с 30101810400000000225, БИК 044525225  
Назначение платежа: подписка на журнал «Химия и жизнь—XXI век»

Напоминаем, что на наш журнал с любого номера можно подписаться в редакции.

Стоимость подписки на первое полугодие 2017 года: с доставкой по РФ — 1080 рублей, при получении в редакции — 600 рублей.

Об электронных платежах см. [www.hij.ru](http://www.hij.ru).  
Справки по телефону (495)722-09-46.

# Циклогексен плюс тетранитрометан

И.А.Леенсон

*Как бы ни развивалась в будущем химия р-элементов, классическая органическая химия всегда будет увлекательной. Даже когда ты «просто» воспроизводишь чужой опубликованный результат. Воспоминаниями о своей студенческой работе делится постоянный автор «Химии и жизни».*

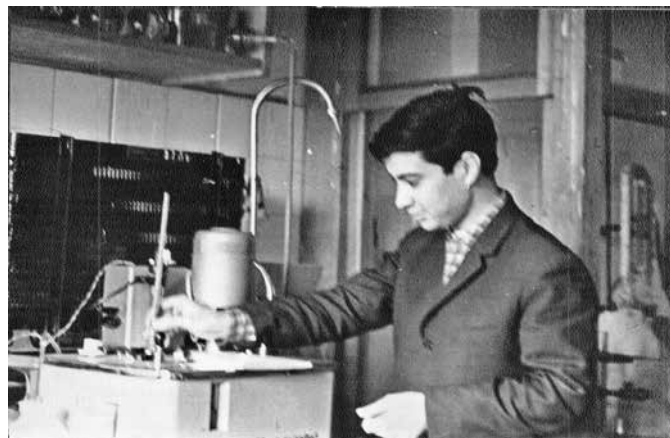
## Только не нюхайте

Когда я учился на втором курсе химического факультета МГУ, меня заманил на кафедру химической кинетики аспирант Женя Яковенко. Под его руководством я проделал первые несложные эксперименты. Например, изготовил термопару медь — константан и откалибровал ее для низких температур по сухому льду и температурам кипения азота, кислорода и метана (до сих пор помню эти значения). Вскоре мне выделили в подвале ничейную вакуумную установку, чтобы я научился получать высокий вакуум, а заодно паять стекло, искать и ликвидировать в установке течи, смазывать краны, менять масло в форвакуумном насосе и т. д. и т. п.; неоценимую помощь в работе мне тогда оказал студент-старшекурсник из Узбекистана Атахм Рахимов.

Примерно через год мне поручили воспроизвести результаты шведских химиков Карла Лагеркранца и Маргареты Иланд. Они облучали при комнатной температуре ультрафиолетовым (365 нм) или синим (405 нм) светом от ртутной лампы окрашенные донорно-акцепторные комплексы тетранитрометана с непредельными соединениями, например с циклогексеном. При этом они зафиксировали методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) образование интенсивных сигналов. Было очевидно, что в реакции образуются стабильные свободные радикалы неизвестного строения.

С ультрафиолетовыми лампами среднего и высокого давления я со временем работать научился. Как и очищать на высокой ректификационной колонке (она стояла в шкафчике в том же подвале) циклогексен и разные растворители. «Две капли в минуту», — учила меня аспирантка Галя Калинина. Чтобы набрать даже небольшое количество очищенного вещества, колонку иногда оставляли работать на ночь. Но с помощью рефрактометра я потом убедился, что оставленный на воздухе циклогексен (с отвратительным запахом) довольно быстро окисляется, давая пероксид  $C_6H_9OOH$ . Этому способствует высокая реакционная способность аллильной связи  $C-H$ : показатель преломления вещества растет буквально на глазах. И уже через пару недель циклогексен, даже хранившийся в закрытой склянке, дает четкую пробу на перекиси с иодидом калия.

Не хватало только тетранитрометана. Конечно, его можно было синтезировать. Например, нитрованием ацетилена азотной кислотой с добавкой нитрата ртути; при этом происходит расщепление тройной связи:  $CH\equiv CH + 6HNO_3 \rightarrow C(NO_2)_4 + CO_2 + 2NO_2 + 4H_2O$ . Еще проще провести нитрование уксусного ангидрида:  $4(CH_3CO)_2O + 4HNO_3 \rightarrow C(NO_2)_4 + 7CH_3COOH + CO_2$ . Достаточно смешать реагенты и оставить их на неделю в теплом месте; выход хороший — до 75%. Но мне облегчили жизнь, договорились с коллегами, и я поехал за готовым веществом в Московский химико-технологический институт им. Д.И.Менделеева (МХТИ, ныне РХТУ). Позвонил из проходной, и мне вынесли склянку кубиков на 100, горлышко которой было обмотано черной изоляцией. Я вышел на улицу и тут впервые



1  
Точное термостатирование — залог здоровой кинетики

познакомился с нравом вещества, с которым мне предстояло работать много лет. А именно, я решил понюхать, не проникают ли его пары через пробку и изоляцию. Оказалось, проникают, и даже очень: я осторожно вдохнул и... не мог ни выдохнуть, ни вдохнуть снова.

Недавно коллега Катя Будынина, много работавшая с тетранитрометаном (кстати, она впервые синтезировала уникальное соединение — 1,1-динитроциклопропан, причем до этого в литературе сообщалось по крайней мере о трех безрезультатных попытках его получения), сказала мне, что пары тетранитрометана могут вызвать паралич дыхания. Паники тогда, у выхода из МХТИ, у меня не было, но все же стало не по себе: я подумал, что умею задерживать дыхание секунд на сорок, а что потом? Но уже через несколько секунд мне удалось сделать небольшой выдох, а потом и вдох. Больше такого не повторялось: все операции я проводил под тягой. Можно сказать, что первое знакомство прошло удачно.

## Лед и пламень

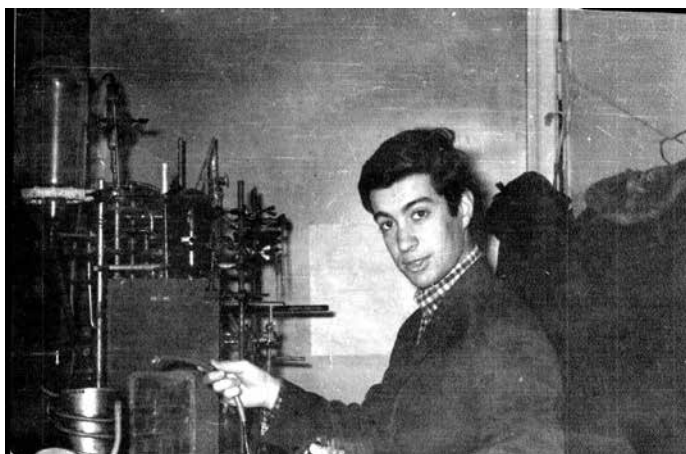
В лаборатории я очистил чуть желтоватую тяжелую (плотность  $1,64 \text{ г/см}^3$ ) жидкость промыванием концентрированной серной кислотой, содой и дистиллированной водой до ее обесцвечивания с последующим высушиванием над сульфатом натрия и вымораживанием: вещество замерзает ниже  $14^\circ\text{C}$  (кстати, высокая температура плавления мешает использованию тетранитрометана в качестве ракетного топлива; он применяется в химической промышленности как сильный окислитель или нитрующий агент). Параллельно в библиотеке я посмотрел, что известно о тетранитрометане. Узнал много интересного. Например, что впервые это вещество получил в 1857 году Леон Николаевич Шишков (1830—1909) — нитрованием тринитрометана смесью дымящей азотной кислоты и концентрированной серной кислоты. А в 1909 году Иван Иванович Остромысленский (1880—1939) предложил тетранитрометан как реактив на этиленовую связь: он образует с олефинами окрашенные комплексы (через много лет я узнал, что Остромысленский из 32 лет трудовой деятельности ровно половину проработал в США). С тетранитрометаном связаны многочисленные взрывы; к сожалению, я узнал о них лишь значительно позже благодаря Интернету. Но в чистом виде он безопасен; в этом я убедился, когда изучал кинетику разложения его паров при высоких температурах в самодельной трубчатой печи.



Однако смеси тетранитрометана с органическими соединениями исключительно опасны и легко детонируют. А смесь с нитробензолом по мощности и чувствительности превосходит нитроглицерин. Иногда смеси взрываются самопроизвольно через несколько часов после их приготовления. Опасность сильно зависит от соотношения реагентов. Так, 27 мая 1920 года во время лекции в Мюнстерском университете погибло 10 студентов и более 20 были ранены. Для демонстрации на лекциях опытов при высокой температуре использовали горелку, работающую на смеси тетранитрометана с толуолом. Оказалось, что при переписывании рецепта из старой тетради лаборант перепутал объемные и массовые количества реагентов и вместо 67,5 мл тетранитрометана и 7,5 мл толуола поставил граммы. При плотностях реагентов 1,64 и 0,87 г/см<sup>3</sup> это вызвало почти двукратное мольное увеличение содержания толуола, что и привело к трагедии. В США в результате мощного взрыва 21 февраля 1953 года был разрушен завод в Ньюарке (штат Нью-Джерси), на котором синтезировали тетранитрометан нитрованием уксусного ангидрида. Предполагается, что смесь перегрелась из-за поломки мешалки.

Второй раз я испытал на себе нрав тетранитрометана, когда проводил его реакцию с циклогексеном. Несколько раз я оставлял смесь реагентов (примерно по 1 мл) в грушевидной колбочке на ночь, а утром находил колбочку разбитой. Решив посмотреть, что же происходит, я немного увеличил количества веществ, а колбочку со смесью поставил в воду с кусками льда. (В те далекие времена химфак ежегодно снабжали большими глыбами льда, вырезанными зимой в какой-нибудь реке и сохранявшимися в тени во дворе факультета в деревянном сарайчике до лета. Не было тогда и проблем набрать немного сухого льда: его большие куски регулярно привозили на факультет и быстро разбирали по кусочкам, а хранили в больших цилиндрических сосудах Дьюара.) Вначале ничего не происходило. Потом смесь немного потемнела, начали выделяться пузырьки газа. И сразу — оглушительный взрыв. От колбочки и стакана со льдом ничего не осталось. Мне казалось, что я не пострадал, не считая небольших порезов на пальцах да сильного звона в ушах. На всякий случай лаборантка Рита Ветрова отвела меня в медпункт, где мне перевязали палец. После этого случая по кафедре долго ходила шутка о том, как завлаб говорит сотруднику: «Пойдите в соседнюю комнату, посмотрите, что там делает Илья, и скажите, чтобы он немедленно прекратил».

Домой в тот день я приехал не как всегда — около 11 вечера (бывали случаи и ночевки на кафедре), а днем, сразу после взрыва; сказал, что порезал палец. Но мама заметила у меня в глазу красную точку. Посмотрев в зеркало, я действительно увидел небольшую царапинку на самом краю радужной оболочки. Мама настояла, чтобы мы пошли в поликлинику. Там сказали, что у меня проникающее ранение в глазное яблоко,



2  
*Поджиг ртутной лампы ДРШ-1000 (она в медном цилиндре, охлаждаемом припаянными медными трубками с проточной водой) с помощью кустарной «теслы» — генератора импульсов высокого напряжения*

зачем-то перебинтовали всю голову и в таком виде направили в больницу на улице Горького; пассажиры в троллейбусе удивленно оглядывались на меня. Я пробыл в больнице несколько дней, тщательное обследование не выявило в глазу никаких посторонних предметов. Я предположил, что глаз пробил мелкий осколок льда, который там и растаял. Врач согласился, что другого объяснения не найти.

## Структуры гипотетические и реальные

Имея чистые реактивы, можно было приступить к повторению экспериментов, описанных в «Acta Chemica Scandinavica». Для работы на стоявшем в том же помещении японском спектрометре ЭПР фирмы «JEOL» был приглашен молодой выпускник физфака МГУ Слава Зенин, известный сейчас как автор концепции кристаллоподобного «кванта воды» из 57 молекул H<sub>2</sub>O. Он и научил меня первым премудростям, связанным с этим методом; вскоре я и сам смог бодро крутить ручки прибора, настраивая добротность его резонатора под конкретные образцы, и записывать спектры. Японский прибор со временем переехал в лабораторный корпус А, в распоряжение замечательного химика-полимерщика Володи Голубева; я там потом тоже несколько раз снял спектры. А на кафедре мне пришлось перейти на отечественный спектрометр РЭ-1301, а потом — на новенький швейцарский Varian E-3, проработавший на кафедре полвека.

Оказалось, что смесь тетранитрометана с циклогексеном, а также с другими олефинами дает постепенно растущий сигнал ЭПР. Причем если у шведских химиков сигнал появлялся после подсветки, то мы, к собственному удивлению, получали его без всякого освещения, хотя и не сразу, а спустя некоторое время — в зависимости от температуры в помещении (в подвале было холодно, особенно зимой). Изучение этой реакции и стало темой моей дипломной работы, а потом и кандидатской диссертации. Первые результаты были опубликованы, когда я учился на четвертом курсе.

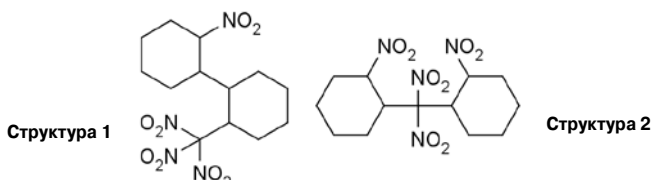
Когда возникла необходимость работы на ЯМР-спектрометре, Слава крутить на нем ручки мне уже не давал. Зато мне удалось на этом спектрометре JEOL C-60 одновременно записать и кинетику исчезновения сигнала от циклогексена, и термограмму разогрева смеси с помощью самодельной термодары (пригодился навык их изготовления), которая была опущена во вращающуюся ампулу и защищена очень тонким стеклянным капилляром.

В ходе работы потребовалось исследовать реакцию методом ИК-спектроскопии. В моем распоряжении был двухлучевой спектрофотометр JASCO, работающий в области 600—4000 см<sup>-1</sup> с призмой KCl. Здесь большую помощь мне оказал Володя Иванов, в чьей комнате стоял прибор. Он научил меня им пользоваться и не сжечь при включении источник излучения — штифт Глобара (его сопротивление быстро снижается при повышении температуры до рабочей — 1500—1800°C, поэтому по мере разогрева штифта требуется увеличивать балластное сопротивление). Володя снабдил меня также кюветами толщиной от 10 до 100 мкм, научил разбирать и собирать их со свинцовыми

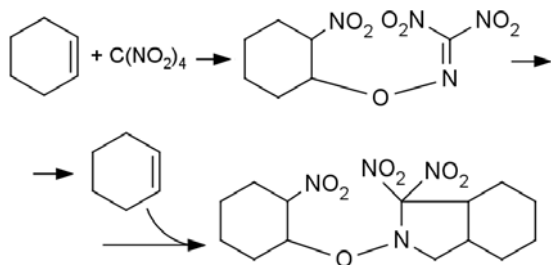
прокладками, шлифовать для них солевые пластинки, изготавливать прессованные таблетки с KBr для изучения спектров твердых веществ, калибровать прибор по пикам полистирола. К сожалению, недостаток опыта и знаний не позволил мне открыть не известное до этого вещество — производное гем-динитроизоксазолидина.

А дело было так. Из смеси тетранитрометана с двойным по объему избытком циклогексена, выдержанной в течение нескольких недель при комнатной температуре (а первые часы — в ледяной воде), удалось с выходом 11% выделить бесцветные хорошо оформленные кристаллы размером около 2 мм — как будто специально выращенные для рентгеноструктурного анализа. Элементный анализ идеально подошел к формуле  $C_{13}H_{20}N_4O_8$  или  $2C_6H_{10} \cdot C(NO_2)_4$ . Понятно, что это никак не могло быть комплексом двух молекул циклогексена и одной молекулы тетранитрометана: слабые комплексы, причем состава 1:1, существуют только в растворе. Но если не комплекс, то что?

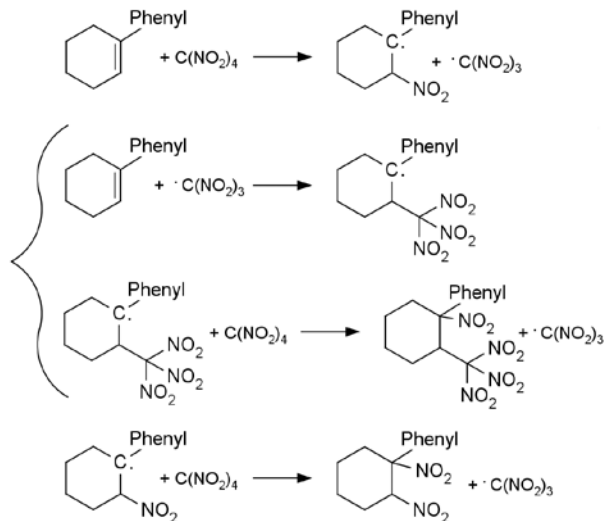
Мне казалось, что в принципе возможны только две структуры. По ряду соображений я выбрал вторую. А для подтверждения ее правильности я использовал ИК-спектроскопию. В отличие от УФ-спектров здесь нет табличных данных по молярным коэффициентам поглощения, потому что они зависят от спектрометра и условий снятия спектров. Чтобы определить число нитрогрупп в молекуле, я использовал калибровочную кривую (она была получена по интегральной интенсивности полос в спектрах нитро-, динитро-, тринитро- и тетранитрометана). Контурные полосы я переносил на плотную бумагу, вырезал их и взвешивал на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Расчет дал примерно 3,4 нитрогруппы в молекуле, и я решил, что с учетом всех ошибок, например при проведении 100%-ной линии поглощения, это можно считать (хоть и с натяжкой: ошибка 15%) подтверждением присутствия четырех нитрогрупп.



Так или иначе, структура 2 появилась в моей дипломной работе, рецензентом которой был Владимир Александрович Тартаковский. Откуда мне было знать, что уже после защиты моей дипломной работы в Институте органической химии им. Н.Д.Зелинского, в лаборатории нитросоединений, откроют реакцию 1,3-диполярного циклоприсоединения нитроновых эфиров к кратной связи. (Кстати, в 1971 году заведующим этой лабораторией стал будущий академик и директор ИОХ В.А.Тартаковский.) Вот как шла реакция образования этого вещества на самом деле. Первая нитрогруппа, отщепившаяся от тетранитрометана, стандартно присоединяется к атому углерода у двойной связи. А тринитрометильная группа присоединяется ко второму атому углерода не атомом углерода, а атомом кислорода, образуя нитроновый эфир. Этот эфир реагирует со второй молекулой циклогексена по механизму 1,3-диполярного циклоприсоединения с образованием N-(2'-нитро)-циклогексокси-3,3-динитро-4,5-тетраметиленизоксазолидина.



Тетранитрометан преподнес мне еще два сюрприза. Так, при освещении фильтрованным желтым светом раствора тетранитрометана и фенилциклогексена в  $CCl_4$  красный (из-за образования комплекса) цвет раствора быстро переходит в бледно-желтый и выпадает бесцветный кристаллический осадок продукта присоединения  $C(NO_2)_4$  к олефину состава 1:1. В этом не было бы ничего удивительного, если бы не квантовые выходы: как показали актинометрические измерения с ферриоксалатом калия, на один поглощенный квант света образуются 14 молекул продукта и расходуется 105 молекул олефина! Это свидетельствует о цепной реакции, где цепь ведет тринитрометильный радикал, образующийся на стадии иницирования (две стадии продолжения цепи обозначены фигурной скобкой).



Второй сюрприз связан с тем, что замороженный при температуре жидкого азота комплекс тетранитрометана с трифениламиноном образует свободные радикалы со 100%-ным квантовым выходом при облучении комплекса инфракрасным светом во всей полосе его поглощения, вплоть до 1100 нм! Такая светочувствительность уникальна для химических соединений.

Над диссертацией я работал пять лет, принося домой ежемесячно полновесную зарплату в 79 рублей 24 копейки — вдвое больше, чем стипендия до этого! В очную аспирантуру меня завалили по истории КПСС. Не исключено, что повлияла политика — это было сразу после «Шестидневной войны». Принимала экзамен завкафедры истории КПСС всех естественных факультетов, фанатичная сталистка со стальными глазами и жена крупного работника горкома партии, которая потребовала, чтобы я отвечал именно ей. Славу Загорского (позднее он не раз публиковался в «Химии и жизни») она как-то выгнала с экзамена за то, что он начал отвечать: «В докладе Брежнева сказано...». Она закричала на него: «В докладе товарища Леонида Ильича Брежнева! Вои!»

На следующий день после защиты диссертации я пришел в лабораторию, включил, как обычно, первым делом насос вакуумной установки и открыл рабочий журнал. Вышел в коридор, чтобы открыть вентиль холодной воды и газовый кран, вернулся в лабораторию и увидел, что в раскрытом журнале мой бывший дипломник Миша Степанов написал: «Сначала труд сделал из обезьяны человека, а потом все случилось наоборот». Кстати, этот журнал сохранился.





Художник Н. Рысс

Мужчина действительно расстегнул ворот одежды и глубоко дышал.

Законом такая ситуация предусматривалась, полицейский глянул на таксиста, но тот от растерянности только развел руками.

— Может вам «скорую» вызвать? — предложил полицейский.

— Не стоит, — мужчина покачал головой, — мне уже лучше. Еще немного подышу, и поедем дальше. Извините за беспокойство.

Сержант пожал плечами, но стандартную процедуру провести не забыл — отсканировал данные автомобиля и нахмурился:

— Срок эксплуатации вашей машины истекает через полгода, потом, по закону о безопасности, она подлежит утилизации.

— Да-да, — торопливо согласился Серега, — я уже подбираю себе новую!

Патрульный сухо кивнул и сел в свой автомобиль.

— И что теперь делать? — растерянно спросил парень своего пассажира, когда патрульная машина взмыла в воздух. — Вообще-то моя лошадка на самом деле сдохла!

— Да ей еще жить и жить. Ну-ка, пусти! — Мужчина несколько фамильярно толкнул таксиста и уселся на сиденье водителя. — Безопасность их волнует, как же! Им нужно больше новых аэромобилей продать, а для этого старые поскорее отправить в лом! — проворчал мужик и неожиданно сорвал пломбу с панели управления. Он быстро поддел где-то снизу, потянул, и панель вдруг откинулась.

— Что вы делаете? — Парень вскрикнул в ужасе и хотел остановить мужика, но было уже поздно, тот успел запустить обе руки во внутренности машины и с невозмутимым видом там ковырялся.

— Не волнуйся, — успокоил дядька, — сейчас поедем.

Мужчина покопался еще пару минут, что-то там такое понажимал, подергал, бормоча себе под нос, потом закрыл панель.

— Поехали! — скомандовал он.

Автомобиль без проблем завелся. Водитель удивленно глянул на пассажира, и вдруг его осенила догадка:

— Так вы... — договорить он не решился.

— Ну да, — дядька насмешливо хмыкнул, — я механик.

— Надо же! Я думал, что это легенда такая, про механиков. Не знал, что вы реально существуете! — признался Серега. И вдруг спросил: — А этому можно научиться?

— А ты хочешь?

Он в ответ только кивнул.

— Это незаконно!

Парень замылся всего на долю секунды, потом снова кивнул:

— Я знаю!

Вместо первоначального адреса они отправились в тайное место, которое пожилой механик называл загадочной аббревиатурой — СТО. Значение этих трех букв Серега узнал позже, еще позже разобрался в назначении замысловатых и загадочных приспособлений, которые все вместе звались «инструмент». Сначала он просто подавал этот инструмент механику, потом и сам научился им пользоваться.

Через несколько лет, после серьезного экзамена, Сереге торжественно присвоили почетное звание механика. Его приняли в тайную организацию — «Братство Свободных Механиков». Церемония приема в братство происходила во время общего сбора. Именно поэтому удалось арестовать практически всех участников этой глубоко законспирированной организации. Только внедрение агента — Сереги помогло пресечь ее многолетнюю преступную деятельность.

Принято считать, что именно после этой операции с механиками было покончено навсегда. Больше не находилось желающих нарушать закон, который однозначно запрещает ремонт любой техники.

# СТО

**Андрей Днепровский**

**НАНОФАНТАСТИКА**

Неприятности всегда случаются внезапно и, главное, — не вовремя.

— Внимание! Аэромобиль неисправен! Включен автоматический режим экстренной эвакуации на ближайшую аварийную площадку!

Монотонный голос объяснял Сереге то, что он и сам прекрасно видел, — его такси уже выпало из общего потока воздушной трассы и, мигая аварийными огнями, снижалось к ближайшему «полосатому кладбищу». С этих разлинованных площадок для аэромобилей только одна дорога — в переплавку.

— Приехали! — Совершив посадку, водитель виновато оглянулся на пассажира. — Блин! Нормально все было, у нее еще полгода срок разрешенной эксплуатации!

— Бывает. — Немолодой дядька на заднем сиденье сочувственно кивнул. Он не выказал даже тени раздражения.

— Да я денег на покупку новой машины успел собрать от силы треть! — встретив понимание, жаловался Серега. — Значит, снова придется брать в лизинг и ишачить на бешеные проценты. А как выплачу, тачке опять подойдет срок в металлолом. Просто замкнутый круг какой-то!

Рядом на площадке уже сел черно-оранжевый полицейский автомобиль, из него вышел сержант и приготовил планшет — составить протокол изъятия отслужившей техники. Расстроенный таксист вышел из своей машины и уже явно готов был с ней попрощаться, как вдруг к полицейскому обратился пожилой пассажир:

— Сержант! Это я попросил водителя совершить аварийную посадку — плохо себя почувствовал.



# Очерки комбустиологии: лекарства вместо скальпеля

Кандидат медицинских наук

**Т.Г.Руденко,**

Первый Московский государственный  
медицинский университет  
им.И. М.Сеченова,  
Институт регенеративной медицины

При местном лечении глубоких ожогов непосредственная борьба с инфекцией (о ней мы говорили в предыдущем очерке) неразрывно связана с другой очень важной задачей — очищением ран от омертвевших тканей, которые служат источником инфекции и мешают ранам заживать.

Раны могут и самостоятельно очищаться от струпа. Механизмы этого процесса выработаны и закреплены в ходе эволюции, и большей частью нет необходимости вмешиваться в этот процесс со стороны. Но иногда самоочищение занимает слишком много времени. К примеру, при глубоких и обширных ожогах самостоятельное отторжение струпа и некротизированных тканей начинается не ранее чем через три недели. Полное же очищение и формирование здоровых грануляций происходят в лучшем случае через четыре — шесть недель, а нередко и позже. Очевидно, что здесь нужно не ждать милостей от природы, а вмешиваться. Причем вмешиваться активно, удаляя омертвевшие ткани хирургическим путем. Но порой возникают ситуации, когда операцию выполнить невозможно, и приходится использовать специальные средства, вызывающие частичное расплавление (лизис) омертвевших участков и их секвестрацию (отслоение, отторжение) от сохранивших жизнеспособность тканей. Среди средств консервативной некролитической терапии выделяют химические, ферментативные, биологические и физические.

## Химический некролиз

К средствам химического некролиза относятся органические кислоты — борная, бензойная, молочная, салициловая (рис. 1). Обычно их используют в виде мазей, самая распространенная — салициловая мазь. Пик популярности химических некролитиков пришелся на

1970-е годы, когда эти препараты были едва ли не единственными средствами удаления некротозов с поверхности ожоговых ран. В это время хирургическая некрэктомия делала только первые шаги на пути внедрения в повседневную практику комбустиологии. Большинство хирургов все еще с опаской относились к этому методу, считая его чересчур агрессивным, и традиционно предпочитали более осторожные способы лечения. Однако постепенно становилось ясным, что химическая некрэктомия (в противовес хирургической ее еще называли «бескровной») вызывает больше побочных эффектов и осложнений, чем приносит пользы.

Прежде всего средства химического некролиза обладают не только очень сильным местно раздражающим, но и общим резорбтивным токсическим действием. Общее резорбтивное действие — это всасывание вещества из места применения и поступление его в общий кровоток. Сама процедура лечения весьма болезненна. Все эти средства — кератолитики, то есть препараты, растворяющие (расплавливающие) кератин — структурный белок рогового слоя эпидермиса, ногтей, волос. Их с давних времен широко применяют в дерматологии при лечении гиперкератозов, а в косметологии для размягчения и удаления мозолей. По-видимому, когда-то сухой ожоговый струп ассоциировался в чьем-то воображении с избытком ороговевшего эпителия и поэтому кератолитики предложили использовать для размягчения и удаления некротозов. Успех был достигнут. Но в ожоговом струпе нет



1  
Органические кислоты — средства химического некролиза



Жук-кожеед *Dermestes frischeri* — источник фермента коллагеназы D

кератина! Что же тогда лизируют кератолитические мази?

Как позже установили, они провоцируют и усиливают воспаление под струпом и в тканях, окружающих обожженные участки. Клетки воспаления (нейтрофилы, лимфоциты и макрофаги) выделяют собственные протеолитические ферменты, расплавляющие поврежденные ткани на пограничных участках, и активно поглощают продукты распада, в результате происходит отторжение струпа. Но вещества, входящие в состав мазей, разрушают клетки новообразованного эпителия и грануляционной ткани. Раны при этом кровоточат и постоянно болят. Нарастающее местное воспаление ухудшает общее состояние пациента, повышается температура. Избыточное поступление в общий кровоток токсичного лекарства и продуктов распада может привести к нарушению функции почек и угнетению системы кроветворения. Поэтому химический некролиз используют для обработки ожогов на площади не более 7% поверхности тела. Ограничено их применение у детей, пожилых людей и стариков, а также у ослабленных больных с выраженными симптомами ожоговой болезни. Кроме того, мази салициловой и бензойной кислот накладывают только на сухой струп. Применять их при «влажных» ожогах (кипятком, паром) нельзя!

Отторжение ожогового струпа при химической некрэктомии занимает две-три недели, то есть сколько-нибудь заметного сокращения общего времени очищения ожоговых ран и подготовки их к пластическому закрытию не происходит. Замедленное очищение ран и

Продолжение. Начало в № 1, 2.

осложнения, вызванные токсичностью препаратов, провоцируют развитие местной инфекции. Согласитесь, что такое лечение трудно назвать рациональным! В наши дни его используют все реже.

Все это настоятельно требовало искать другие средства и методы, ускоряющие отторжение некротических тканей, но лишенные недостатков химического некролиза.

## Ферментативный некролиз

Исторически сложилось так, что в то же время (семидесятые годы XX века) в нашей стране активно разрабатывали и внедряли в клиническую практику методы энзимотерапии гнойных ран. Энзимотерапия — лечение с помощью протеолитических ферментов (протеаз). Они гидролизуют нежизнеспособные ткани и высокомолекулярные белки раневого экссудата, что способствует очищению ран. Успехи с гнойными ранами открывали заманчивую перспективу использования протеолитических ферментов и для удаления ожогового струпа.

Однако уже первый опыт использования протеаз животного происхождения (пепсина, трипсина и др.) показал, что они неудобны в применении и абсолютно неактивны в сухих ранах с плотным струпом. Во влажно-высыхающих повязках ферменты быстро теряли активность, повязки приходилось часто менять, иногда по несколько раз в день. Как и при химическом некролизе, протеолитические ферменты разрушали защитный грануляционный барьер, создавая условия для углубления и генерализации инфекции. Те же процессы происходят и в гнойных ранах, поэтому ферменты используют в основном адепты-энтузиасты.

Зарубежные специалисты отдавали предпочтение протеазам бактериального происхождения. В 1980-е годы модной темой в энзимотерапии ожогов были исследования фермента травазы (ее синтезирует сенная палочка *Bacillus subtilis*). Оказалось, однако, что у травазы нет никаких преимуществ перед протеазами животного происхождения. Она точно так же не препятствовала инфекции и тормозила регенерацию.

Приходится признать, что протеазы как животного, так и бактериального происхождения, сыграв определенную роль в разработке методов бескровной некрэктомии, пока не привели к существенному и клинически значимому решению поставленных задач.

Больше повезло растительным ферментам. В последнее десятилетие в нескольких зарубежных клиниках и ожоговых центрах с успехом используют препарат бромелаин (бромелайн) — комплекс протеолитических ферментов из плодов папайи, ананаса и других растений рода бромелиевых. Его широкому

клиническому применению во многом способствовала разработка оптимальной лекарственной формы в виде увлажняющего геля DGD (Bromelain based debriding gel dressing). Исследования, проводившиеся на протяжении семи лет во многих медицинских центрах, показали безопасность, эффективность, избирательность и быстроту действия бромелаина. В большинстве случаев глубокие ожоги полностью очищались от омертвевшей ткани после однократной аппликации препарата в течение четырех часов! К сожалению, в нашей стране эти средства пока не продаются и недоступны для широкого клинического применения.

Впрочем, не все так безнадежно: некоторое разочарование в результативности протеолитических ферментов не остановило дальнейших поисков в этом направлении, а, напротив, стимулировало их.

## Коллагеназы

С конца прошлого века не только за рубежом, но и у нас в стране широким фронтом идут исследования некротических препаратов на основе коллагеназ. Это группа ферментов, специфичных к белку соединительной ткани коллагену, составляющему основной объем некротического детрита и струпа. Коллагеназы селективно лизируют некроз, не воздействуя на окружающие неповрежденные ткани. В них коллаген тоже есть, но, как мы говорим, в нативной форме, а ферменты активны в отношении денатурированного (разрушенного) коллагена, который и образует струп. Наиболее широко известны клостридиальные коллагеназы, продуцируемые возбудителями газовой гангрены — бактериями из рода *Clostridium*. Нет ничего удивительного в том, что опасные болезнетворные микроорганизмы выделяют ферменты, разрушающие ткани нашего тела, но и эту их способность можно обратить во благо. В настоящее время создан целый ряд коллагеназ в разных лекарственных формах (мази, растворы, порошки, раневые покрытия). Примеры таких препаратов — ируксол («Плива», Хорватия, и «Кнолль»,



2  
Повязка Дигестол, разработка российских ученых



## БОЛЕЗНИ И ЛЕКАРСТВА

Германия), коллализин (Россия, НИИ вакцин и сывороток, Санкт-Петербург), коллагеназа (Россия, «Иммунопрепарат», Уфа). Однако эти препараты пока очень дороги и имеются не во всех лечебных учреждениях.

Существуют и небактериальные коллагенолитические ферменты, среди которых наиболее известны коллагеназы, полученные из пищеварительной железы (гепатопанкреаса) камчатского краба, в частности дигестазы. Этот фермент не только лизирует мертвые ткани, но и непосредственно воздействует на микробную флору, избирательно разрушая капсулоподобную оболочку бактериальных биопленок. Сочетание этих свойств делает фермент весьма полезным для очищения нагноившихся ран, язв и ожогов. Однако его широкое клиническое применение сдерживалось отсутствием доступной лекарственной формы, эффективной и удобной в применении.

В конце 1990-х годов в отделе коллагеновых препаратов и изделий Научно-исследовательского центра ММА им. И.М.Сеченова (ныне Первый МГМУ им. И.М.Сеченова) проходили пилотные исследования по разработке таких форм. Сотрудники отдела не один десяток лет изучали свойства коллагена как возможной основы-носителя для различных материалов и изделий медицинского назначения, в частности раневых покрытий для лечения ран, язв и ожогов. В группе, проводившей исследования, работала и автор этих очерков.

Но вернемся к дигестазе. Перед нами стояли две взаимоисключающие технологические задачи: как совместить в одной лекарственной форме коллаген и коллагенолитический фермент? Для их решения был разработан ряд последовательных технологических приемов, позволяющих получить пластины коллагеновой губки в композиции с ферментом дигестазой. При аппликации на рану коллаген постепенно растворяется в раневом экссудате, дозированно освобождая активный фермент. Продукты биodeградации коллагена стимулируют раневое заживление. Таким образом, некротическая активность фермента сочетается с противовоспалительным и стимулирующим регенерацию действием коллагена. Потом на основе этой губки разработали и лекарственную форму — биodeградируемое раневое



покрытие «Повязка Дигестол» (патент РФ 2127128, 1999; рис. 2).

Повязка с высокой оценкой прошла все этапы клинических испытаний и была разрешена для медицинского применения и промышленного выпуска. Но, увы, на этом дело и застопорилось. Никто не брался за производство отечественного продукта, время было такое. Правда, в наши дни, когда активно декларируется идея импортозамещения, появилась надежда, что наш препарат не будет забыт и еще послужит людям. Промышленный выпуск раневого покрытия «Дигестол» осваивает отечественный производитель — ЗАО «Зеленая Дубрава».

Надо сказать, что тема ферментативного некролиза далеко не исчерпана. Специалисты ищут новые источники получения коллагенолитических ферментов. Так, в лаборатории молекулярной биологии и биохимии Института молекулярной медицины (директор — доктор биологических наук А.А.Замятин) Первого МГМУ впервые обнаружили коллагеназу растительного происхождения, получившую название тритикаин-альфа, и разработали технологию ее выделения из проростков семян пшеницы. В настоящее время исследователи работают над созданием лекарственной формы этого фермента для наружного применения.

Экзотика нам тоже не чужда. В 2008 году отечественные ученые А.Р.Черняков и А.М.Шмойлов выделили фермент коллагеназу-D из личинок жуков-кожедоев *Dermestes frischii* (патент RU 2412997).

## О жуках и личинках

И те, и другие имеют прямое отношение к биологическим методам некролиза.

Несмотря на колоссальные достижения современной медицинской науки, все большую популярность приобретают методы народной медицины (ее теперь называют «нетрадиционная»). К их числу относится и так называемая личинкотерапия — один из видов биотерапии: личинки мух очищают рану от некротических тканей и дезинфицируют.

О том, что личинки некоторых видов мух (опарыши) в несколько раз ускоряют заживление гнойных ран, знали еще древнейшие цивилизации. А во время еги-



Доминик Жан Ларрей

петских походов Наполеона (1798—1801) главный хирург его армии, выдающийся новатор военно-полевой хирургии барон Доминик Жан Ларрей обратил внимание на то, что личинки уничтожают только мертвые ткани и способствуют заживлению ран, и стал применять этот метод в своей практике. Хотя формально открытие способа лечения опарышами относят ко времени Первой мировой войны, когда доктор Уильям Байер из медицинской школы Джонса Хопкинса в Балтиморе впервые опубликовал описание поразившего его случая. Были найдены два раненных на поле боя солдата, более суток остававшихся без лечения. За это время раны заполнили тысячи личинок, но, когда их удалили, оказалось, что ткани в самих ранах были чистые и розовые. В 1940-е годы в военных госпиталях для очистки ран использовали специально выведенных в условиях строгой асептики мух семейства *Muscidae*, так как обычные мухи могут быть опасны и способны занести патогенные микробы в рану. Личинки поедают омертвевшие ткани, гнойный детрит, фибриновые наслоения, не затрагивая здоровые ткани, при этом они выделяют в рану протеолитические ферменты и мочевину, которая также оказывает антисептическое действие и дезодорирует рану. Кроме того, личинки выделяют в рану аминокислоту цистеин и трипептид глутатион — вещества, обладающие мощной антиоксидантной активностью, а также аллантоин. Его широко используют в современной медицине как вяжущее, антисептическое и кератолитическое средство.

После открытия и внедрения в клиническую практику антибиотиков метод личинкотерапии потерял популярность. Однако с 90-х годов интерес к нему снова возрос из-за появления устойчивых к антибиотикам бактерий. И в наши дни опарышей применяют в некоторых клиниках как дешевый, эффективный и безопасный способ лечения нагноившихся ран.

Подобно личинкам мух, симпатичные божьи коровки пожирают некротические ткани и очищают раны. Есть даже проекты по разведению божьих коровок для последующего их использования в лечебных целях.

Вероятно, многим эти способы покажутся сомнительными и малоэстетичными. Но вот что любопытно: в 2004 году лечение личинками мух (*maggot therapy*) было одобрено даже в США. А американцы очень требовательны к эстетике лечения! Они даже не применяют нашу «зеленку», хотя и зарегистрированную у них как антисептическое средство, так как она оставляет некрасивые пятна. Полагаю, что в перспективе, скорее всего, будут использовать не самих личинок, а изготовленный из них экстракт или гемолимфу божьих коровок, которые, как оказалось, действуют аналогично. Тут задумаешься: а может, не так уж смешны и неправы были древние египтяне, применявшие для лечения ожогов лягушку, вываренную в масле.

## Физические методы некрэктомии

Наряду с химическими, ферментативными и биологическими средствами некрэктомии существуют и физические методы. Например, ультразвуковая кавитация, лазерная и плазменная некрэктомия, радиочастотная абляция, крио- и диатермодеструкция. Или же некрэктомия с помощью гидрохирургической системы VERSAJET, которая использует ударное действие на некротическую ткань мощной высокоскоростной струи специального раствора с одномоментной эвакуацией раствора и некротических масс из раны. Однако для этих методик требуются дорогостоящее высокотехнологичное оборудование и специально подготовленный персонал. Все они находятся пока на стадии клинических испытаний. Недостаточно еще изучены отдаленные результаты воздействия используемых в них физических факторов на пациента и хирурга. К тому же они довольно болезненны и зачастую требуют общего обезболивания. Строго говоря, эти методы не стоит относить к консервативным, по сути своей, они все — хирургические, только без обычного скальпеля и ножниц.

Даже при первом взгляде на методы, о которых рассказано здесь, и средства консервативной терапии ожоговых ран становится очевидным, что ни одно из них не удовлетворяет в полной мере ни врача, ни пациента. Поэтому постоянно идут поиски оптимальных решений. И речь идет не только о разработке новых средств, но и о более рациональных технологиях применения уже известных. Об этом мы поговорим в следующем очерке.



**Максим Франк-Каменецкий**  
Самая главная молекула: От структуры ДНК к биомедицине XXI века  
Альпина нон-фикшн, 2017



Центральное место в молекулярной биологии, которая призвана дать ответ на вечный вопрос: «Что такое жизнь?», занимает молекула ДНК. О ней главным образом и идет речь в этой книге. Большое внимание автор уделил тем вопросам, при решении которых особенно важную роль играют физика и математика.

Это отличает данную книгу от множества других, посвященных ДНК.

Первая версия этой легендарной книги вышла более 30 лет назад — она была напечатана издательством «Наука» в популярной серии «Библиотечка «Квант»» тиражом 150 000 экземпляров. С тех пор «Самая главная молекула» много раз переиздавалась, подвергаясь существенной переработке приблизительно каждые пять лет. И все же последнее издание, по свидетельству автора, потребовало наибольших изменений — так стремительно развиваются наука о ДНК и основанные на ней технологии.

**Александр Пиперски**

Конструирование языков:  
От эсперанто до дотракийского  
Альпина нон-фикшн, 2017



Люди изобретают языки с самыми разными целями: чтобы достичь логического идеала, чтобы лучше понимать друг друга, чтобы доставить себе и другим эстетическое удовольствие. За каждым искусственным языком стоят интересные личности и драматичные истории успехов или неудач. Какие бывают искусственные языки? Чем они похожи на естественные языки, а чем отличаются от них? Каковы их перспективы в современном мире? Эсперанто, сольресоль, ро, трансцендентная алгебра, квенья, блиссимволика, паленео, на'ви, дотракийский — далеко не полный список языков, о которых рассказывается в этой книге.

**Алан Колок**

Современные яды:  
Дозы, действие, последствия  
Перевод с английского:  
Мария Кульнева  
Альпина Паблицер, 2017



Если в Средние века отравляющие вещества, природные и синтетические, применялись точечно, то в наше время они производятся и используются в промышленных масштабах. Сегодня химикаты или их следы можно обнаружить почти везде. Мы потребляем их с пищей, наносим на кожу и волосы. Наша одежда, дома, машины, любимые гаджеты — все это создается с «участием» опасной для здоровья химии. О том, что происходит в мире токсикологии сейчас, как и для чего ученые разрабатывают все новые смертоносные яды, как они проникают в наш организм и какие последствия вызывают, и о тех маленьких преступлениях против окружающей среды, которые мы ежедневно совершаем не задумываясь, рассказывает профессор Алан Колок.

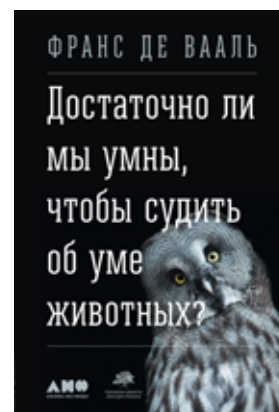
**АНО**  
АЛЬПИНА НОН-ФИКШН



КНИГИ

**Франс де Вааль**

Достаточно ли мы умны,  
чтобы судить об уме животных?  
Перевод с английского:  
Николай Майсурян  
Альпина нон-фикшн, 2017



Какие способы коммуникации практикуют животные и есть ли у них подобие речи? Могут ли животные узнавать себя в зеркале? Свойственны ли животным дружба и душевная привязанность? Ведут ли они войны и мирные переговоры? Книга известного приматолога Франса де Ваала отвечает на эти вопросы в контексте эволюции познания — нового научного направления, получившего мощное развитие в последнее десятилетие. Автор рассказывает об истории этой науки, о жестоких спорах с бихевиористами, а главное — об огромной экспериментальной работе и наблюдениях за естественным поведением животных. Анализируя пути становления мыслительных процессов в ходе эволюционной истории различных видов, ученый убедительно показывает, что человек в этом ряду — лишь одно из многих мыслящих существ.

**Паскаль Буайе**

Объясняя религию:  
Природа религиозного мышления  
Перевод с французского:  
Мария Десятова  
Альпина нон-фикшн, 2017



Откуда берется стремление верить в высшие силы? Как возникают религиозные представления и отчего вера продолжает играть столь важную роль в жизни человека XXI века? Книга французского антрополога Паскаля Буайе описывает феномен религии с позиций эволюционной психологии. Подоплеку верований и религиозных обрядов ученый находит в принципах работы человеческого сознания. Одну за другой он опровергает распространенные «теории» происхождения религии — она возникла, чтобы объяснять непонятные природные явления и личные переживания, она утешает, она обеспечивает общественный порядок — и раскрывает перед читателем удивительные особенности устройства нашего разума.

Подробности на сайте издательства  
[www.nonfiction.ru](http://www.nonfiction.ru)



Flickr: Richard-G-Hawley

# Негвинейская несвинка

Во многих языках есть выражение, обозначающее подневольное существо, на котором буквально или фигурально ставят опыты. В русском, например, чаще всего можно услышать «лабораторная мышь» или «подопытная крыса». А в англоязычных странах — *guinea pig*, по-нашему морская свинка. И хотя сейчас исследования по всему миру гораздо чаще проводят на других грызунах, этот домашний любимец вполне заслуженно носит статус главного подопытного.

## Из-за моря

К Гвинее, морю и свиным морские свинки, они же *Cavia porcellus*, практически не имеют отношения. Ни одна из Гвиней не находится в Америке, у моря эти звери не живут, да и сами они вовсе не свиньи, а грызуны.

Морские свинки приходятся нашим евразийским мышам, белкам и бобрам не самыми близкими родственниками. Их выделяют в один подотряд с колючими дикобразами, могучими капибарами и шерстистыми шиншиллами. Все они, как и морская свинка, уроженцы американского континента. И именно его коренные жители, инки, одомашнили кавий много тысяч лет назад, еще до нашей эры. Компактные и послушные, морские свинки выглядели милыми, и их разводили «для красоты». Что не менее важно, их мясо оказалось весьма вкусным, так что кавий растили заодно и для еды. В латиноамериканских странах до сих пор существуют фермы, которые специализируются на их разведении.

Когда европейцы открыли для себя Америку, они тоже были приятно удивлены кавиями и решили забрать некоторое их количество на родной континент. Поскольку свинкам, чтобы

попасть в Европу, было необходимо пересечь Атлантику, их можно было с чистой совестью назвать заморскими. Быть может, отсюда и появилось их не совсем корректное наименование «морские».

На новом месте нрав кавий остался кротким, и они стали домашними животными у европейцев, точно так же, как когда-то у инков. Видимо, мысль использовать их в научных опытах пришла естествоиспытателям потому, что этих грызунов было много, они легко шли на контакт с человеком, быстро плодились и имели удобные размеры. И хотя сейчас упоминания о морских свинках встречаются примерно в 1300 научных статей в год (для сравнения, мышей и крыс за то же время суммарно используют в 86 000 экспериментальных работ), множество важнейших открытий было сделано именно на них и именно в Европе.

## Палочка Коха

У морских свинок есть недостаток, очень полезный для ученых: они легко заболевают. Бактерии и вирусы атакуют их дыхательные пути порой более успешно, чем носоглотки выращенных в тепличных условиях человеческих детенышей. Болеют свинки и туберкулезом (чахоткой, как говорили в старину). Этот недуг и в наше время поражает 10,4 миллиона человек в год и уносит жизни 1,8 миллиона (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs104/en/>). Но сейчас его хотя бы можно лечить, а во времена немецкого врача Роберта Коха чахотка весьма часто была приговором для больного. В 1905 году Кох получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине за обнаружение возбудителя туберкулеза, бактерии *Mycobacterium tuberculosis*. После его открытия стало по меньшей мере понятно, с кем бороться, чтобы избежать заболевания или вылечить зараженных.

Исследования патогенеза туберкулеза велись и до Роберта Коха, но они дали немного конкретики. Стало только понятно, что болезнь от зараженных к здоровым переносит какой-то микроб. Именно он, судя по всему, образовывал в различных тканях тела больных бугорки — туберкулы.

Чтобы проверить это предположение, Роберт Кох решил использовать ткани погибших от чахотки. Недалеко от лаборатории Коха в Берлине была клиника Шарите, где находилось немало больных туберкулезом. Многие из них умирали. Врач брал образцы тканей и рассматривал их под микроскопом. Ему удалось подобрать комбинацию красителей, позволившую увидеть бактерию-возбудителя. Это произошло 24 марта 1882 года.

Чтобы удостовериться, что именно эти микробы вызывают чахотку, Кох делал надрезы на коже морских свинок и втирал в них содержимое туберкулезных бугорков. Все зараженные *Mycobacterium tuberculosis* животные демонстрировали признаки болезни (при этом у разных свинок они были очень схожими), и большинство умирало. Роберт Кох вскрывал их и у каждой находил практически такие же туберкулы, как и у погибших людей.

Открытие Коха позволило разработать методы лечения туберкулеза, основанные на фактах, а не на умозрительных теориях. Впрочем, некоторые его догадки относительно этой болезни оказались неверными. Так, он думал, что введение в организм туберкулина — токсина, выделяемого *Mycobacterium tuberculosis*, — обеспечит иммунитет к чахотке. Но оказалось, что иммунитет не развивается и организм просто отравляется туберкулином. Зато этот токсин используется для реакции Манту, которую и по сей день делают всем детям, чтобы проверить, нет ли у них туберкулеза в скрытой форме.

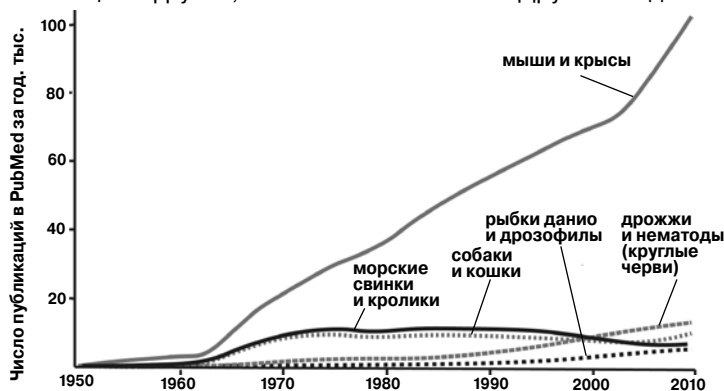
## Витамин С

У морских свинок есть еще одна общая черта с людьми: их организм не может самостоятельно вырабатывать витамин С. Поэтому если он в течение долгого времени не поступает с пищей, морские свинки болеют и умирают. Фактически у них проявляются симптомы цинги.

Про цингу люди знали давно. Ею болели моряки, долгие месяцы не видевшие суши и не имевшие возможности есть свежие фрукты. Правда, какое именно вещество в этих фруктах спасает от цинги, было неизвестно.

Выяснить это в начале 1930-х годов века смогли венгерские ученые Альберт Сент-Дьёрди и Джозеф Свирбели. Работая в США, Сент-Дьёрди выделил вещество, которое назвал гексуроновой кислотой. Он подозревал, что это и есть витамин С, но не был до конца уверен в этом: требовались дополнительные опыты, которые Сент-Дьёрди поручил молодому постдоку Джозефу Свирбели. Он-то и проводил эксперименты на свинках, в то время как Сент-Дьёрди больше интересовался химическим строением полученного вещества.

Свирбели разделил животных на две группы. Одни получали свой обычный рацион, в состав которого входили свежие овощи и фрукты, богатые витамином С. Другим он давал



1 Число публикаций, где в качестве лабораторного объекта было использовано то или иное животное, по десятилетиям.



## ЖЕРТВЫ НАУКИ

только вареное, а при варке, как предполагалось, витамин разрушается. Первая группа чувствовала себя хорошо, а животные второй группы через некоторое время демонстрировали признаки цинги и погибали. Впрочем, их можно было спасти, время от времени добавляя им в пищу очищенную гексуроновую кислоту. Отсюда Свирбели и Сент-Дьёрди сделали вывод, что гексуроновая кислота — это и есть витамин С. Позднее гексуроновую кислоту переименовали в аскорбиновую: по-латыни *scorbutus* — цинга, а приставка *a* означает отрицание.

Того количества аскорбиновой кислоты, которое Сент-Дьёрди получил в Америке, не хватило на все исследования. Очевидные ее источники, например апельсины, как выяснилось, содержат слишком много сахаров, существенно затрудняющих выделение и очистку витамина С. Некоторое время Сент-Дьёрди размышлял над тем, откуда еще его можно получить, но не мог ничего придумать. Решение пришло во время ужина. Жена ученого принесла ему блюдо с паприкой — приправой из красного стручкового перца *Capsicum annuum*. Настроения есть у него не было, зато он вспомнил, что стручковый перец — одно из немногих растений, которые он еще не исследовал на предмет содержания витамина С. Сент-Дьёрди направился в лабораторию и уже к полуночи знал, что стручковый перец — настоящий клад аскорбиновой кислоты, а кроме того, он не сладкий, поэтому выделять из него витамин С проще. Из каждого грамма паприки удавалось получить по несколько миллиграммов аскорбиновой кислоты. А в сырье для биохимических опытов у Сент-Дьёрди не было недостатка: в то время он жил в городе Сегед, венгерской столице красного перца.

Альберт Сент-Дьёрди в 1937 году стал лауреатом Нобелевской премии по физиологии или медицине «за открытия в области процессов биологического окисления в живых организмах, связанные в особенности с изучением витамина С и катализа фумаровой кислоты». Можно сказать, что этой престижной наградой он отчасти обязан морским свинкам.

## Заключение

Морские свинки помогли открыть не только палочку Коха и аскорбиновую кислоту. Помимо витамина С, они должны получать с пищей много фолиевой кислоты, калия, тиамина и аргинина. Все эти вещества важны и для человеческого здоровья, поэтому диетологи и физиологи нередко исследуют на морских свинках их метаболизм. А еще у этих животных часто развиваются аллергии, так что они нужны и иммунологам-аллергологам. Наконец, диапазон звуков, которые слышат морские свинки, близок к нашему, и они поворачивают уши к источнику шума. Это позволяет изучать на них работу слуховой системы, в частности волосковых клеток во внутреннем ухе.

С. Ястребова

# Как австрийские кошки сорвали тестирование

*Улыбчивы, мурлыбчивы, со многими на ты  
И дружески отзывчивы чеширские коты, —  
И у других улыбка, но — такая, да не та!..  
Ну так чешите за ухом Чеширского Кота!  
Владимир Высоцкий*

Как узнать, любит ли человек кошку? Этот вопрос вызван отнюдь не праздным любопытством. В Италии и Австрии запрещена эвтаназия бездомных животных, какой бы ни была их численность. Отловленные на улице кошки попадают в приюты, и приходится их там содержать, пока они не обретут новых хозяев. Согласно статистическим данным, среднее время пребывания кошки в приюте составляет два месяца, хотя четверть животных проводят там более года, а максимальный срок достигает 11,5 лет. Люди предпочитают здоровых, игривых, общительных кошек, а животное соответствует этим высоким стандартам, лишь когда находится в благоприятной обстановке, которую во многом создает доброжелательное отношение работников приюта. Вот тут-то и возникает вопрос о котолюбии персонала. Чтобы ответить на него, надежнее всего расспросить самих животных.

Специалисты Венского ветеринарного университета Кристина Арнт и Йозеф Трокслер поставили перед собой задачу разработать тест, позволяющий по поведению кошек определить, каковы их взаимоотношения с людьми («Applied Animal Behaviour Science», 2017, 187, 60—68, doi: 10.1016/j.aplanim.2016.11.014).

Они не первые, кто пытался интервьюировать котов. Существует тест, в котором реакцию сидящей в клетке кошки на приближение человека оценивают по шестибалльной шкале: от невероятной симпатии до крайнего недружелюбия. С его помощью животных делят на социализированных и не социализированных по отношению к людям особей. Есть также серия тестов, разработанная в Университете штата Мичиган, для определения кошачьего темперамента. В ней в том числе определяют, подходит ли кошка к человеку, когда ее зовут, как реагирует на прикосновения, можно ли потянуть ее за хвост. По итогам тести-



рования поведение кошек определяют как приемлемое (подходит к человеку, нюхает руку, трется об нее головой, на потягивание за хвост вообще не реагирует или всего лишь оглядывается по сторонам) и сомнительное, когда животное шипит, рычит и явно не одобряет происходящего. Для тех, кто забыл, что кошка — это тигр в миниатюре, повторяем: они рычат! Желающие послушать могут подойти к зверю сомнительного поведения и дернуть за хвост.

Все эти методы не устраивали австрийских исследователей, потому что тестирование приютских кошек должно проходить просто и быстро. Простейший из известных тестов разработан для фермеров и их коров. Он основан на идее, что скотина, с которой обращаются плохо и грубо, стремится держаться подальше от человека. В результате отношения людей и животных оценивают по расстоянию, на которое коровы или овцы позволяют к себе подойти.

Тест адаптировали для домашних кошек и опробовали в 30 центрах содержания бездомных животных на 725 котах, пробывших в приюте не менее месяца. Многих для достоверности проверяли дважды: в то же посещение или спустя примерно два месяца (результаты обычно совпадали). Экспериментатор медленно и плавно подходил к избранному коту и протягивал руку. Он останавливался, когда кот уходил

или когда рука оказывалась в 20 см от головы животного. Смотреть на кота в это время избегали. По итогам проверки всех животных разделили на три группы. В первую, «контакт возможен», попали коты, не уходившие от человека и даже сами пытавшиеся его исследовать: принохиваться к нему или тереться о руку. Во вторую группу, «контакт невозможен», — животные, которые вели себя агрессивно, шипели или просто уходили. И наконец, коты, замиравшие на месте или пытавшиеся спрятаться, но не проявлявшие при этом агрессии, вошли в группу «замороженные». В среднем контакт оказался возможен с 60% кошек. Помимо поведенческих тестов, исследователи определяли, сколько квадратных метров приходится на одного зверя в помещении, какова обстановка вокруг приюта, в каком состоянии находятся сами животные.

А кто те люди, отношение которых к кошкам надо проверить? В исследовании участвовали 127 работников приютов. Подавляющее большинство из них — женщины лет 33—34-х. Стаж работы с животными разный, работают по 37 часов в неделю, примерно треть этого времени проводят с кошками (в большинстве приютов есть еще собаки). Работники заполнили анкету, за основу которой также взяли опросник для фермеров, разводящих скот или кур-несушек. Помимо стандартных

<p><b>Положительные черты кошек:</b> Кошки плюшевые Кошки игривы Кошки стремятся учиться</p>
<p><b>Отрицательные черты кошек:</b> Кошки вонючие Кошки шумные Кошки потенциально опасные Кошки грубые Кошки не чистые</p>
<p><b>Эмоциональная связь с кошками, эмоциональная поддержка:</b> Я чувствую себя хорошо среди кошек Кошки принимают меня таким, какой я есть Кошкам можно доверять Я счастлив работать с кошками Кошки понимают, когда я нездоров</p>
<p><b>Служитель должен:</b> Ежедневно заниматься ментальной стимуляцией кошек Не давать кошкам скучать Ежедневно играть с кошками</p>
<p><b>Для кошек важны социальные контакты:</b> Ежедневные контакты с другими кошками Дважды в день — контакт с людьми</p>
<p><b>Работникам приятно:</b> Играть с кошками Проводить ментальную стимуляцию кошек Ухаживать за шерсткой</p>
<p><b>Работники не испытывают дискомфорта:</b> Во время чистки кошачьего жилого уголка Во время дезинфекции кошачьего жилого уголка</p>
<p><b>Наиболее частые занятия при взаимодействии с кошками:</b> Забота о кошках Игра с кошками Стимуляция ментальной деятельности Уход за шерсткой</p>
<p><b>Кошек приходится:</b> Наказывать физически Повышать на них голос</p>
<p><b>Как вы оцениваете взаимодействия с кошками? Они:</b> Спокойные Предсказуемые Ежедневная рутина</p>
<p><b>Во время работы я испытываю:</b> Физический стресс Эмоциональный стресс</p>
<p><b>Работа доставляет удовольствие:</b> На работе весело Очень люблю эту работу</p>

вопросов (пол, возраст, опыт работы с животными, продолжительность рабочего дня и время, проводимое с кошками), нужно было оценить в баллах истинность высказываний, которые характеризовали отношение персонала к кошкам и своей работе (см. таблицу).

Как показало анкетирование (а исследователи проверяли достоверность результатов), сотрудники приютов просто обожают кошек и полностью поддерживают их положительные характеристики. Наименьшее согласие вызвало утверждение, что кошки стремятся к обучению, но они, безусловно, игривы и пушисты. Негативная оценка кошек встречается крайне редко. Чаще

всего жалуются на грубость животных (к сожалению, авторы работы не уточняют, в чем именно она проявляется), и то этот пункт не получал высокой оценки.

Почти половина опрошенных получает от кошек сильную эмоциональную поддержку, правда, не многие склонны им доверять.

Большинство сотрудников убеждено, что с кошками необходимо каждый день играть и общаться; в необходимости их ментальной стимуляции уверены меньше. Персонал отмечает, что общаться с кошками им приятно, куда меньше нравится убирать. Это общение непременно включает кормление, игру, вычесывание. Ментальная стимуляция как вид контакта с животным наименее вероятно (ну не хотят они развивать умственные способности котов).

Сотрудники считают общение с кошками спокойным и предсказуемым, повышают голос редко, наказывают еще реже. Практически все участники любят свою работу, хотя примерно у половины она вызывает физический или эмоциональный стресс.

Как и следовало ожидать, кто любит кошек, тому и работа нравится. Чем дольше сотрудник работает и чем лучше узнаёт кошек, тем более спокойными и предсказуемыми оказываются отношения с ними, тем проще с ними ладить и приятнее у них убирать.

Контактность кошек в разных приютах оказалась очень разной, она варьировала от 38 до 80% и зависела от большой жилплощади в помещении (эти животные не любят скученности), наличия места во дворе, где можно спрятаться — устроить персональное убежище, свежей воды и чистых мисочек (грязи кошки тоже не любят). Главная неожиданность заключалась в том, что отношение персонала на контактность не влияет. Тест не сработал.

В общем, это неудивительно: если верить анкете, доброжелательность персонала зашкаливает. Но исследователи ищут другие объяснения. Можно предположить, например, что кошки за четыре недели пребывания в приюте еще не привыкли к новой обстановке. Собаки за это время привыкают, а кошки продолжают бояться незнакомых людей.

Также нельзя сбрасывать со счетов знаменитую кошачью независимость. Исследователи отмечают, что в приютах кошки реже собак идут на контакт с визитерами. Возможно, дело не только в разнице характеров кошек и собак, но и в условиях их содержания. Почти все собаки в приюте находятся в одиночных клетках, а кошки — в общих комнатах, группами, в которых может быть более десяти животных. Не исключено, что в таких условиях они просто не испыты-



## ДНЕВНИК НАБЛЮДЕНИЙ

вают социального голода и желания немедленно с кем-нибудь пообщаться, хоть визитера обнюхать. Арнт и Трокслер ранее изучали приютских собак и обнаружили, что псы, которых держат группами, реже контактируют с экспериментатором, чем одиночки.

Не исключено также, что кошки во время тестирования испугались человека, который движется прямо на них. Коровам и овцам, кстати, это тоже не нравится, поэтому «фермерский» вариант теста сложнее. Ученые упростили его для удобства применения, и в итоге он перестал работать. Впрочем, неизвестно, как бы он сработал в исходном варианте. Все-таки котов «нельзя считать за домашний скот».

Тем не менее даже в таком виде тест на приближение оказался полезен, поскольку позволяет выявить животных, которых тяжело будет трудоустроить. По данным менеджеров приютов, таких котов в среднем около четверти. На проблемных кошек придется обратить особое внимание: специальные программы для коррекции поведения и просто доброе отношение и регулярное поглаживание творят чудеса!

Австрийские любители животных займутся разработкой другого теста, непонятно только — зачем. Опытный сотрудник, любящий животных, и так скажет, какая кошка быстро найдет новый дом, а какая будет месяцами сидеть в укрытии и шипеть на визитеров, сколько ни чеши ее за ухом и ни развивай ментально.

**Н.Анина**

О жизни кошек «Химия и жизнь» писала десятки раз. Смотрите все материалы в электронном архиве журнала, который автоматически пополняется каждый месяц. Покупайте новый архив на нашем сайте [www.hij.ru](http://www.hij.ru).

# Вопросы пола у журавлей

О.Н.Нестеренко,

Московский зоопарк,

кандидат биологических наук

Т.А.Кашенцева,

Окский государственный биосферный заповедник

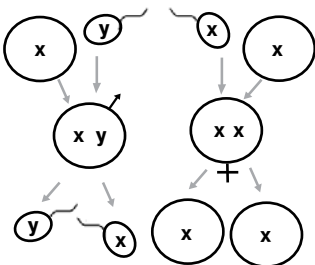
В Питомнике редких видов журавлей Окского государственного биосферного заповедника содержатся все виды журавлей нашей страны. У двух видов, наиболее многочисленных в питомнике, сравнили соотношение полов потомства. Представители одного вида производят на свет равные количества самцов и самок, как и положено; у другого вида вылупляется существенно больше самок. Попробуем отыскать причину.

Влияют ли условия жизни птиц на пол потомства? Те, кто помнят школьную биологию, как правило, сразу отвечают «нет». «Почему?» — «Потому что пол у птиц определяется половыми хромосомами, причем соотношение самок и самцов всегда должно быть 1:1». — «А если по какой-то причине половые клетки, несущие женские и мужские хромосомы, неодинаково успешны, одному типу клеток везет больше, чем другому?» — «Тогда, наверное, да... Но ведь это плохо для популяции? Или от этого бывает какая-то польза?»

Действительно, в природе встречаются отклонения соотношения полов от строгого равенства. Почему это происходит? Могут ли быть причиной внешние условия или же особенности родителей?

## Мальчик или девочка?

Наиболее распространенный (но далеко не единственный) способ определения пола у животных и растений — *генетический (хромосомный)*. У большинства видов животных гены, определяющие пол, расположены на специальных половых хромосомах — зачастую они заметно отличаются друг от друга, так что, взглянув на хромосомный набор в клетке животного, мы можем сказать, самец это или самка. Но есть и виды, у которых определяющие пол гены находятся на аутосомах (неполовых хромосомах), — это более древний вариант детерминации пола.



У большинства млекопитающих половые хромосомы самцов — XY, а самок — XX, соответственно яйцеклетки содержат только X-хромосомы, а сперматозоиды — X либо Y.

Однако у лесных леммингов, например, три половые хромосомы — X, X\* и Y. Лемминг с хромосомами XY — самец, а XX, X\*X и X\*Y — самки. Похожая система у некоторых рыб — меченосца *Xiphophorus milleri* и горного меченосца *X. nezahualcoyotl*: помимо пары половых хромосом XY у них есть дополнительная Y-хромосома, обозначаемая как Y', самки могут быть XX- и XY'-содержащие особи, а самцами — Y'- и XY'-содержащие. Еще один близкий вид, пятнистая пецилия *Xiphophorus maculatus*, может похвастаться тремя разными половыми хромосомами: W, X и Y. Самки — особи с WY, WX или



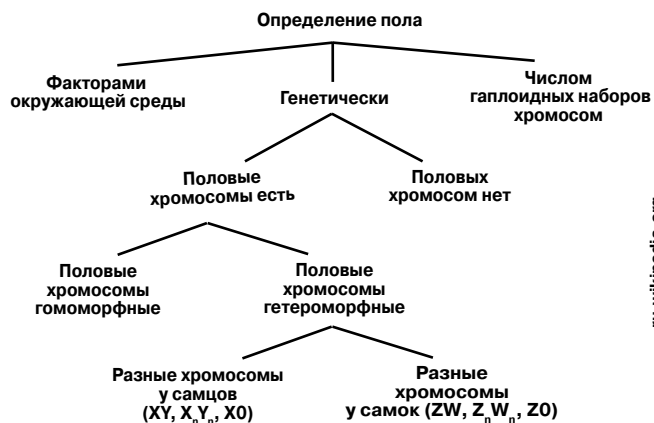
Группа годовалых японских журавлей. Определить пол молодых птиц без анализа ДНК практически невозможно — внешне они не отличаются

XX, а самцы — с YY или XY. Интересно, что YY-самцы жизнеспособны и фертильны, а это говорит о том, что Y-хромосома пецилии не утратила важных генов. Хотя самки WW в природе найдены не были, вполне жизнеспособных рыбок с таким набором получают в лаборатории.

У черного ревуна — южноамериканской обезьяны — четыре половые хромосомы (две пары). А вот у утконоса их 10! Комбинация XXXXXXXXXX дает самку, а XYXYXYXYXY — самца («Nature», 2008, 453, 7192, 175—183, doi: 10.1038/nature06936). У самцов утконоса необычный способ выработки спермы: хромосомы в ней распределяются таким образом, что одни половые клетки содержат цепочку XXXXX, другие — цепочку YYYYY. Когда сперма XXXXX оплодотворяет яйцеклетку, то получают утконосы-самки. Сперма YYYYY обеспечивает рождение утконосов-самцов.

Существует и детерминация пола XO, когда самцы вообще лишены второй половой хромосомы. У обыкновенной бурозубки и мышевидных грызунов *Tokudaia osimensis* и *T. tokunoshimensis* самки имеют две копии половой хромосомы (XX), а самцы — только одну (XO). В таких случаях пол определяется количеством экспрессируемых (активных) генов на половых хромосомах. Похожие механизмы встречаются и у некоторых насекомых, например у одного из видов клопов рода *Protenor*. У самок таких видов во всех половых клетках (гаметах) одна половая X-хромосома, у самцов половина гамет также ее содержит, а другая половина содержит только аутосомы, без половых хромосом. Если гамета самки сливается с «полноценной» гаметой самца, то в клетке-зародыше (зиготе) будут две X-хромосомы, из нее сформируется самка, а в противоположном случае будет всего одна X-хромосома и получится самец. У нематоды *Caenorhabditis elegans*, одного из самых популярных экспериментальных объектов, хромосомный комплект XX характерен для гермафродитов (более 99% популяции), а XO — для самцов.

У многих видов змей самки имеют хромосомы ZW, а самцы ZZ (то есть у самок половые хромосомы разные, у самцов одинаковые). Но есть и такие виды, у которых самцы имеют



ru.wikipedia.org

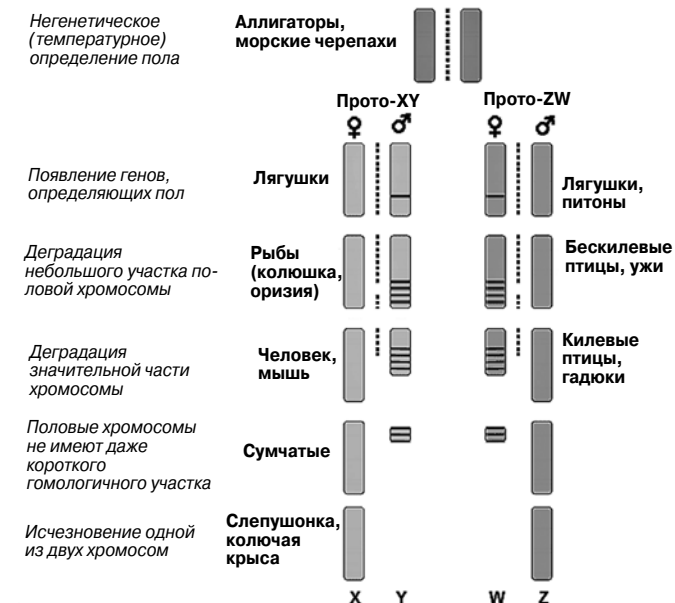


ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

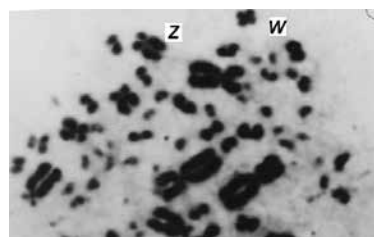
## А вот теперь о птицах

У птиц — хромосомное определение пола, причем гетерогаметны самки: их половые хромосомы сильно отличаются друг от друга и называются ZW. Самцы же гомогаметны и обладают комбинацией ZZ. Правда, это верно только для современных килевых птиц. Нелетающие бескилевые птицы — киви, казуары, страусы — демонстрируют более древний вариант: половые хромосомы у них одинаковы (гомоморфны). Долгое время считали, что половых хромосом у бескилевых вообще нет, а гены, определяющие пол, разбросаны по аутосомам, но потом выяснилось, что это не так.

Половые хромосомы птиц, как и млекопитающих, произошли от аутосом. (Очевидно, это случалось в ходе эволюции несколько раз, независимо в разных группах животных.) У древних видов половые хромосомы были гомоморфными, затем будущая W-хромосома подверглась деградации и уменьшилась (рис. 2). У большинства птичьих самок половая хромосома W значительно меньше Z (рис. 3).



2 Степени вырождения хромосом Y и W у позвоночных. Поперечными линиями обозначены гены, определяющие пол, точками — гомологичные участки



3 Хромосомы самки стерха. W-хромосома (вверху) маленькая, крестообразной формы, слева от нее Z-хромосома

### 1 Разнообразие механизмов определения пола

генотип ZZ, а самки — ZW<sub>1</sub>W<sub>2</sub>, либо самцы — Z<sub>1</sub>Z<sub>1</sub>Z<sub>2</sub>Z<sub>2</sub>, а самки — Z<sub>1</sub>Z<sub>2</sub>W или ZW<sub>1</sub>W<sub>2</sub>. У gekkonov бывает одна или несколько хромосомных рас, различающихся составом хромосом.

У некоторых перепончатокрылых, например муравьев и пчел, царица откладывает яйца двух типов: гаплоидные, неоплодотворенные, и диплоидные. Из гаплоидных развиваются самцы, а из диплоидных — самки. Такой механизм называется гаплодиплоидным: пол зависит от количества хромосомных наборов, то есть здесь природа «жонглирует» уже не половыми хромосомами, а целыми геномами.

Интересный и явно древний способ замечен у зеленого меченосца *X. hellerii* (род *Xiphophorus* не перестает нас удивлять): у него нет половых хромосом и дифференцировка пола запускается работой комплекса аутосомных генов под влиянием факторов внешней среды. Любители рыбок хорошо знают, что при переизбытке в аквариуме самок этого вида некоторые из них могут превратиться в самцов.

Существует довольно много видов, у которых нет половых хромосом, а пол определяется внешними условиями, например температурой. Так обстоит дело у многих пресмыкающихся: всех видов крокодилов, большей части видов черепах, некоторых ящериц, а также гаттерий. Точнее, важна температура инкубации яиц в определенный период. Так, у черепах при относительно низких температурах получаются самцы, при высоких — самки, у гаттерий — наоборот; бывают и другие варианты. Однако и сама температура инкубации зависит от целого ряда факторов: в частности, от местоположения гнезда и от того, насколько глубоко в нем лежит яйцо.

Интересно, что у некоторых видов сцинковых и агамовых есть половые хромосомы, однако пол может меняться при воздействии на яйца определенных температур. Видимо, это переходная форма от исключительно температурозависимого определения пола к хромосомному.

Разнообразие механизмов определения пола в общем виде представлено на рис. 1. Пол может определяться внешними факторами (температурой, как у рептилий), пloidностью хромосомных наборов (как у муравьев и пчел) либо специфическими генами. Эти гены расположены на аутосомах или половых хромосомах; второй вариант — более прогрессивный. (Например, у птиц, так же, как у рептилий и некоторых других низших позвоночных, развитием самцов руководит ген *DMRT1*, находящийся на Z-хромосоме, а у млекопитающих за «мужественность» отвечает ген *SRY* на Y-хромосоме.) Половые хромосомы могут быть одинаковыми по размерам и форме — гомоморфными. Однако в процессе эволюции Y- и W-хромосомы теряли активные гены, становились меньше, поэтому у многих видов половые хромосомы существенно различаются и называются гетероморфными. Полная утрата Y- или W-хромосомы приводит к типам X0 или Z0.

«Annual Review of Genetics», 2008, 42, 565–586

«Химия и жизнь», 2017, № 3, www.hji.ru

Итак, пол потомства у птиц определяет мать (а не отец, как у большинства млекопитающих, и у людей в том числе). Теоретически половина яйцеклеток должна нести W-хромосому, а половина — Z, значит, в потомстве должно быть примерно равное количество самцов и самок. Но когда с помощью ДНК-анализа изучили реальное соотношение полов у птенцов в природе и в неволе, оказалось, что у некоторых видов оно отклоняется от равного. До появления современных ДНК-технологий заметить это было невозможно, потому что около 60% видов птиц, даже становясь взрослыми, не имеют выраженного полового диморфизма, а разнополые птенцы практически не отличаются друг от друга у всех видов.

Иногда смещение равновесия полов объяснялось большей смертностью птенцов какого-то одного пола в неблагоприятных условиях. Но преобладание того или иного пола в потомстве может наблюдаться еще при вылуплении птенцов и даже в эмбриональном периоде.

Следует уточнить, что биологи различают первичное, вторичное и третичное соотношение полов. Первичное наблюдается в зародышах (зиготах) после оплодотворения, вторичное — при рождении, третичное — у зрелых, способных размножаться особей популяции. Понятно, что труднее всего объяснить отклонение в первичном половом соотношении. Но и с отклонением во вторичном не все просто — во многих случаях известно, что оно не связано с большей эмбриональной смертностью одного из полов.

Исследования последних лет выявили отклонения от равного соотношения полов при вылуплении в природных условиях у птенцов большой синицы, лазоревки, обыкновенной пустельги и др. У большой синицы в конце сезона размножения в потомстве преобладают самцы, а у обыкновенной пустельги, наоборот, количество вылупляющихся самцов уменьшается («Philosophical Transactions B», 2002, 357, 1419, 373—380, doi: 10.1098/rstb.2001.0927).

Иногда удавалось установить связь преобладания в потомстве определенного пола с условиями жизни родителей. Серая неясыть в годы обилия полевков производит больше самок. Это своеобразная адаптация, так как самки крупнее самцов и потому нуждаются в большем количестве корма («Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences», 1997, 264, 1385, 1111—1116, doi: 10.1098/rspb.1997.0153).

Изучая это явление экспериментально, ученые смогли добиться смещения пропорции полов у птенцов некоторых видов в ту или иную сторону в зависимости от внешних условий. Так, у зебровой амадины, если родители получали много разнообразной пищи, в потомстве наблюдался перевес в пользу самок. У этих птиц самки в неблагоприятные годы сильнее страдают от плохих условий, чем самцы. Поэтому «перепроизводство» самок в хорошие, обильные годы может быть выгодно для сохранения вида в природе («Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences», 2004, 271, Suppl 5, S286—S289; doi: 10.1098/rsbl.2003.0154)

У какапо (редкого вида попугаев, обитающего в Новой Зеландии, охраной которого занимается международная группа ученых), наоборот, при обильном кормлении птиц вылупляется больше самцов. Самцы какапо гораздо крупнее самок, им требуется больше пищи. Исследователи обнаружили, что самки этого вида, весящие менее полутора килограмма, не участвуют в размножении. Чтобы обеспечить размножение всех самок, их стали подкармливать, и тогда в потомстве какапо стали преобладать самцы. Какапо — полигамный вид: птицы не образуют пары, и один самец вступает во временные связи с несколькими самками, поэтому большое количество самцов невыгодно для сохранения вида. Пришлось разработать специальный режим подкормки, при котором все самки участвуют в размножении, но не производят сыновей больше, чем дочерей: подкармливали только тех самок, чей



а



б

4  
VIP-обитатели Окского биосферного заповедника: а — самка японского журавля рядом с гнездом; б — стерх

декабрьский вес не превышал 1,5 килограмма, а вот после спаривания дополнительное питание получали все самки. В результате преобладание сыновей в потомстве нивелировалось («Biological Conservation», 2002, 107, 13–18; «Nature», 2002, 419, 265–266, doi: 10.1038/419265a, «Biology Letters», 2006, 2, 229–231, doi: 10.1098/rsbl.2005.0430).

## Почему мы изучаем журавлей

Московский зоопарк многие годы сотрудничает с питомником редких видов журавлей Окского государственного биосферного заповедника в работе по изучению и охране редких журавлей. Зоопарк — один из инициаторов создания комплексной международной научно-производственной программы Евроазиатской региональной ассоциации зоопарков и аквариумов «Сохранение журавлей Евразии», стартовавшей в 2005 году. Так как почти все виды журавлей в мире стали редкими, их охрана и разведение в неволе — задача неотложная. Основные причины уменьшения их численности — низкая плодовитость (самки откладывают только два яйца), деградация мест обитания, беспокойство птиц в местах гнездования из-за освоения человеком новых территорий, пожары.

В лаборатории Московского зоопарка пол журавлей сначала определяли по хромосомным препаратам, а с 2001 года перешли на молекулярную диагностику. Эта процедура позволяет правильно формировать пары. Хотя в питомнике разводят многие виды журавлей, больше всего птенцов получили от стерхов и японских журавлей, что дало нам возможность накопить данные о соотношении полов у птенцов этих видов.

Японский журавль *Grus japonensis* — самый крупный из семи видов журавлей фауны России: его рост около 150 см, масса — 6–9 кг (рис. 4а). По праву его можно отнести к самым красивым журавлям Евразии. Японские журавли формируют две популяции: мигрирующую — на континентальном Дальнем Востоке — и оседлую — в Японии. Стерхи, или белые сибирские журавли (*Grus japonensis*), — эндемики России, обитают только в тундрах и лесотундрах нашей страны (рис. 4б). Известны две изолированные тысячами километров друг от друга популяции: западносибирская — на территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского АО и Тюменской области — и восточносибирская — в Якутии. Особое беспокойство вызывает западносибирская популяция, общая численность которой — не более 20 птиц.

Именно для разведения стерхов и последующей реинтродукции потомства в 1979 году создали питомник редких видов журавлей в составе Окского заповедника. Однако сейчас там содержат и разводят представителей всех видов журавлей, обитающих на территории нашей страны.

Так вот, мы выяснили, что в потомстве японских журавлей преобладают самки. С 1984 по 2009 год от семи пар японских журавлей получили 61 самца и 105 самок. В то же время стерхи произвели потомство в соотношении примерно 1:1 — от 15 пар стерхов за 21 год получили 126 самцов и 129 самок. Данные включают и результаты анализа пола некоторых погибших эмбрионов.

Мы попробовали объяснить это явление, исходя из гипотезы Роберта Трайверса и Дена Уилларда об адаптивном соотношении полов потомства («Science», 1973, 179, 4068, 90–92, doi: 10.1126/science.179.4068.90). Эту гипотезу можно сформулировать так: *при хороших условиях самки продуцируют больше потомства того пола, который больше страдает при плохих условиях*. Продукция яиц и выращивание птенцов — это серьезные затраты для родителей. Поэтому для выживания вида выгоднее вкладывать силы в производство потомства того пола, который при данных условиях имеет больше шансов выжить и в свою очередь оставить потомство. Сами авторы в статье 1973 года утверждали, что в благопри-

ятных условиях будет преобладать мужской пол, а в неблагоприятных женский — конкуренция между самцами обычно выше, слабый самец может быть полностью отстранен от размножения, тогда как у слабой самки есть шанс на место в гареме победителя. Именно такое смещение наблюдали у какапо, однако примеры с серой неясытью и зебровой амадиной показывают, что если в плохие годы самки страдают сильнее, чем самцы, то ситуация может быть обратной.

Мы проанализировали особенности развития птенцов стерха и японского журавля: есть ли отличия, которые делают птенцов какого-то одного пола более уязвимыми в неблагоприятных условиях? Действительно, наши многолетние наблюдения в питомнике показали, что птенцы-самки японских журавлей медленнее растут, менее активны и в целом слабее самцов. Поэтому мы предположили, что в неблагоприятные годы смертность самок выше. Значит, для выживания вида японским журавлям нужно это компенсировать — в благоприятные годы производить больше самок.

Но почему такого смещения в соотношении полов не наблюдается у стерхов? Возможно, потому, что у их птенцов ярко выражена внутривидовая агрессивность. Вылупляясь стерхи с разницей в два дня, и до появления второго птенца первый успевает подрасти и окрепнуть, что делает его лидером в конкуренции за корм. Таким образом, чаще всего выживает старший птенец — независимо от пола. В природе в благоприятные годы нередко можно увидеть японских журавлей с двумя птенцами, стерхов — обычно только с одним.

## Как делаются половые клетки

Можно предположить, что у японских журавлей есть некие биологические механизмы, в благоприятные годы смещающие половой баланс потомства в сторону самок. Конечно, этот вопрос требует дальнейшего изучения и особенно — исследования соотношения полов у птенцов журавлей в природе.

Возможно ли существование таких механизмов в принципе? Мы помним, что при образовании гамет парные аутосомы и половые хромосомы расходятся в разные клетки равномерно. Что может нарушить это образцовое расхождение?

Процессы, приводящие к нарушению сегрегации (то есть собственно расхождения во время клеточного деления) половых хромосом, еще не до конца изучены, но за последние годы появилось много интересных данных об этом, а неравная передача половых хромосом у гетерогаметных видов даже получила собственное название — драйв половых хромосом.

Для начала разберемся, как протекает нормальный мейоз — деление клетки, проходящее с уменьшением числа хромосом в два раза. Мейоз необходим для образования половых клеток: когда мужская и женская клетки сольются, нормальное соотношение восстановится.

Самая сложная и длительная его стадия — *профаза*. Для простоты мы опишем лишь основные ее этапы. Хромосомы между делениями клетки находятся в «распакованном» виде и представляют собой длинные тонкие нити. Перед началом



деления ДНК копируется, так что каждая хромосома состоит из двух сестринских нитей — хроматид. Но раскрученную ДНК нельзя аккуратно перемещать — поэтому начинается спирализация хромосом, их утолщение и укорочение (рис. 5).

Гомологичные (парные) хромосомы сближаются и конъюгируют: центромера к центромере, нить к нити. Центромера — особый участок хромосомы, со специфической последовательностью и структурой; он необходим и для конъюгации хромосом, и для их последующего расхождения. Сдвоенные хромосомы — каждая из четырех нитей — называют бивалентами. Затем происходит дальнейшая конденсация хроматина и кроссинговер — обмен гомологичными участками; благодаря кроссинговеру возникают новые комбинации генов. После этого хромосомы немного ослабляют «объятия», хроматин слегка и ненадолго деконденсируется, и в это время успевает экспрессироваться часть генов. К концу профазы хромосомы еще больше спирализуются, ядерная оболочка растворяется, и начинается формирование веретена деления.

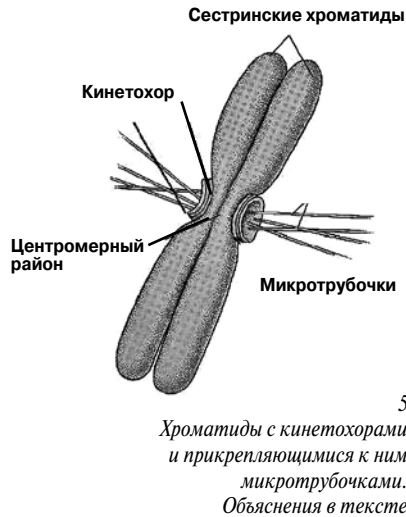
На следующей стадии, в *метафазе*, биваленты хромосом располагаются по экватору клетки. К ним прикрепляются нити веретена деления: между двумя полюсами клетки образуется система микротрубочек, микротрубочки присоединяются к кинетохорам — специальным белковым структурам в области центромер. Кинетохоры, подобно двигателям, обеспечивают отталкивание пары сестринских хроматид от гомологичной и ее движение к полюсу по микротрубочкам, как по рельсам.

Далее в *анафазе* хромосомы расходятся к различным полюсам клетки, так что в дочерние клетки попадет только одна из пары гомологичных хромосом. В *телофазе* первого мейотического деления полярно расположенные хромосомы, как и прежде, состоят из двух сестринских хроматид; веретено деления разрушается, вокруг каждого из наборов хромосом формируется ядерная оболочка, затем разделяется цитоплазма, и образуются две дочерние клетки. При этом хромосомы постепенно деспирализуются, но репликации ДНК не происходит.

Второе мейотическое деление мы не будем разбирать подробно. Главное, что завершается оно расхождением к полюсам, а затем по разным клеткам сестринских хроматид. Таким образом, при мейозе из одной диплоидной клетки образуется четыре гаплоидные.

## Что может пойти не так

А теперь перейдем к нарушению сегрегации. Драйв половых хромосом встречается у самых разных живых существ. Причиной могут быть генетические, эпигенетические и цитологические (клеточные) механизмы. К генетическим механизмам относится нарушение сегрегации, которое вызывают особые аллели — варианты того или иного гена. Если такие гены «нарушители» находятся на одной из половых хромосом, они мешают производству жизнеспособных гамет, несущих другие половые хромосомы, и увеличивают возможность передать свои копии следующему поколению — частный слу-

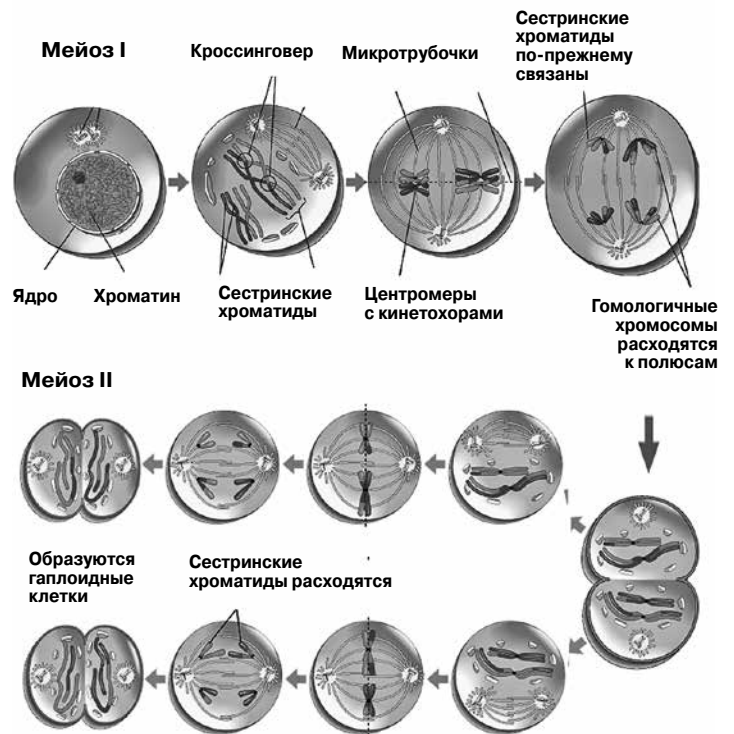


чай концепции «эгоистичного гена» Ричарда Докинза. В результате смещается соотношение полов в потомстве («Annual Review of Ecology and Systematics», 2003, 32, 1, 25—49, doi: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.113958, «Heredity (Edinb)», 2010. 104, 100—112; doi: 10.1038/hdy.2009.104).

Гены — нарушители сегрегации были изучены у некоторых видов млекопитающих. У этих видов они действовали во время сперматогенеза — хроматиды Y-хромосомы не расходились, или X-хромосома оказывалась поврежденной, в результате не формировались половые клетки с Y- или X-хромосомами соответственно и рождались только самки либо только самцы. У некоторых видов леммингов был отмечен драйв половых хромосом у самок во время оогенеза (как мы помним, у леммингов самки могут быть гетерохромосомными), то же явление наблюдается и у бабочек.

Молодая наука эпигенетика также описывает возможные механизмы драйва половых хромосом. Она изучает закономерности наследования, не связанные с изменениями последовательности ДНК. Эпигенетические процессы, такие как метилирование ДНК и деацетилирование гистонов, изменяют активность генов, в частности метилирование ее обычно подавляет. А на эпигенетические модификации хроматина воздействуют внешние факторы. Для нас сейчас важно, что эпигенетическая маркировка половых хромосом — например, метилирование центромеры одной из них — может влиять на сегрегацию («Biotechnologia Acta», 2013, 6, 62—72).

К драйву половых хромосом могут приводить и цитологические механизмы, задействованные в регуляции мейоза. Интересно, что и цитологические, и эпигенетические механизмы у птиц развиты лучше, чем у млекопитающих («Philosophical Transactions R. Soc. B», 2008, 363, 1675—1686, doi: 10.1098/rstb.2007.0006). Причины — большая разница в размерах, составе и форме половых хромосом, в размерах их белковых тел (комплексов) и др. Например, поскольку W-хромосома меньше Z, группа белков, отвечающая за захват микротрубочек, тоже меньше, и это может способствовать нарушению сегрегации. Возможно, влияет и разница в положении цен-



6  
Основные этапы мейоза

тромеры (W-хромосома у птиц обычно почти крестообразная, а у Z-хромосомы есть короткие и длинные плечи). По крайней мере, подобное явление известно в других таксонах. Так, у дрозофил в гаметы предпочитают поступают хромосомы с более центральным положением центромеры, у обыкновенной полевки — наоборот. У птиц разница в положении центромер половых хромосом очень велика, и можно предположить, что это дает особенно большие возможности для смещения полов у потомков.

Важно и то, что поло-  
определяющее мейотическое деление ооцитов у птиц происходит перед овуляцией и оплодотворением. Напомним, что мейоз завершается образованием четырех гаплоидных клеток, и если это сперматогенез, то получится четыре сперматозоида. Однако при созревании ооцитов зрелая яйцеклетка образуется лишь из одной клетки; другие, называемые полярными тельцами, гораздо меньше по размеру и обычно вскоре погибают (рис. 7).

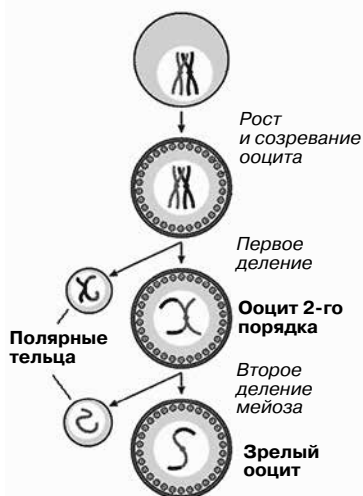
Тонкие механизмы регуляции мейоза могут влиять на то, куда попадут те или иные половые хромосомы — в яйцеклетку или в полярные тельца. Это зависит, например, от положения хромосом в зародышевом пузырьке (диплоидном ядре ооцита первого порядка) перед разрушением его оболочки. А на движение половых хромосом в ядре и их положение в зародышевом пузырьке, в свою очередь, могут влиять разница в строении теломер (концевых участков хромосом) и разница в длине половых хромосом. Работа же фермента теломеразы, достраивающего теломеры, сильно зависит от гормональной сигнализации — в частности, под воздействием стрессовых гормонов активность этого фермента снижается. Такой может быть причинно-следственная связь между материнским стрессом и соотношением полов в потомстве.

Мы уже упоминали, что разница в размерах половых хромосом и белковых тел на Z- и W-хромосомах способна влиять на прикрепление микротрубочек к кинетохору, а значит, и на их движение к полюсам клетки. Само движение хромосом происходит с помощью цитоскелета клетки, а активность его компонентов (актиновых филаментов и микротрубочек) находится под сильным влиянием половых гормонов.

Еще один возможный механизм, направляющий хромосомы в полярное тельце (то есть «мимо цели»), — поворот веретена деления после прикрепления к нему хромосомом. Такой механизм не описан у птиц, но описан у других групп животных. Поворот веретена регулируется цитоскелетом, следовательно, и материнскими гормонами, влияет на него также разница в размерах и эпигенетической маркировке половых хромосом.

Разумеется, причуды формирования пола у пернатых нуждаются в дальнейшем изучении, и нам предстоит еще долгий путь к окончательному пониманию его механизмов. Кроме того, необходимо больше изучать половой состав природных популяций птиц, оценивать соотношение полов птенцов в

**Ооцит 1-го порядка**  
(мейоз остановился в начале первого деления)



7  
*Оогенез. Зрелой яйцеклеткой (ооцитом) становится лишь одна гаплоидная клетка, хотя в результате мейоза их должно было образоваться четыре*



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

природе и в неволе, определяя при этом факторы, влияющие на смещение полового баланса. Уже есть исследования, связывающие смещение соотношения полов у потомства с яркостью оперения самца или другими его качествами. Например, у гульдовых амадин заподозрили существование связи между полом птенцов и окраской головы самца! Черноголовая самка, спариваясь с черноголовым самцом, производит почти равные количества сыновей и дочерей, а при спаривании с красноголовым доля сыновей в потомстве может достигать 70%. Однако подобные данные требуют проверки.

Исследование вопросов, о которых рассказано в этой статье, чрезвычайно важно не только для понимания эволюционных процессов, но и для преодоления множества препятствий, связанных с разведением животных в неволе и природных условиях. Возможность управлять соотношением полов облегчит разведение редких видов, чтобы затем по-полнять угасающие природные популяции.

### Литература

Постельных К.А., Кашенцева Т.А. Рост японского журавля в постэмбриогенезе. Сб. труд. науч. практ. конф., посвященной 70-летию Окского заповедника. Рязань, 2005.

Olga N. Nesterenko, Tatyana A. Kashentseva. Female-Biased Sex Ratio of Captive Red-Crowned Cranes. Proceedings of the VII European Crane Conference. — Breeding, resting, migration and biology. 2013, 123—126.

Нестеренко О.Н., Кашенцева Т.А. Преобладание самок в потомстве японских журавлей и его возможный адаптивный характер. Труды Окского государственного природного биосферного заповедника. 2015, 34, 250–254.



О жизни птиц и, в частности, журавлей, «Химия и жизнь» писала десятки раз. Смотрите все материалы в пополняемом электронном архиве журнала

**Купить архив можно на нашем сайте [www.hij.ru](http://www.hij.ru).**



**Если вы  
скачали этот  
номер  
журнала  
Химия и  
жизнь  
с бесплатного  
сайта,  
то**

**оплатить труд журналистов, редакторов,  
художников и корректоров вы можете  
по адресу:**

**[http://www.hij.ru/buy\\_subscribe/  
kiosk\\_onpayvznos.php](http://www.hij.ru/buy_subscribe/kiosk_onpayvznos.php)**

**Если вам  
надоело  
скачивать  
случайные  
номера  
журнала  
Химия и  
жизнь  
с бесплатного  
сайта,  
то**



**с любого номера вы можете подписаться  
на бумажную или электронную версию  
журнала по адресу**

**[http://www.hij.ru/buy\\_subscribe/](http://www.hij.ru/buy_subscribe/)**



# Привлекательность фитнеса

Кандидат биологических наук

**Н.Л.Резник**

*Естественный отбор для рода Ното никто не отменял. А если так, должны иметься признаки, позволяющие с первого взгляда оценить силу и здоровье потенциально-го брачного партнера. Таким маркером годности может служить привлекательное лицо. Или не может?*

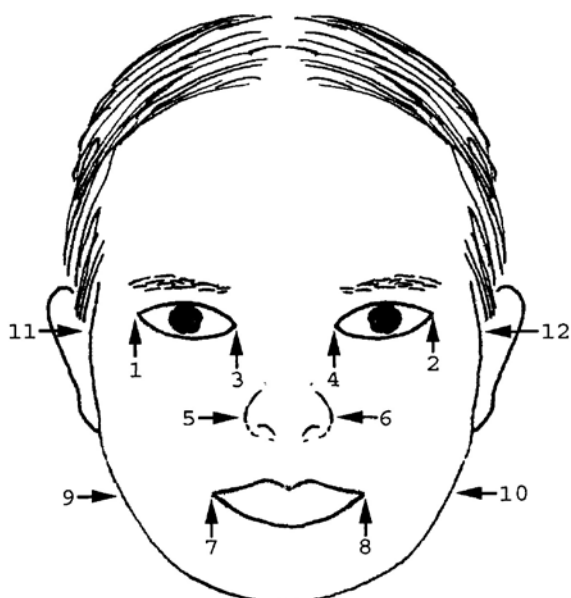
## Фейсконтроль

Английское слово fitness имеет несколько значений. Одно из них — быть физически здоровым, годным, соответствовать. Для достижения должного соответствия многие люди занимаются фитнесом, это понятие даже переключалось на русский язык. Fitness также переводится как «приспособленность», та самая, которая обеспечивает выживание в ходе естественного отбора. С биологической точки зрения приспособленнее всех тот, кто оставил больше жизнеспособных, плодovitых потомков. Существуют маркеры, помогающие быстро оценить приспособленность потенциального полового партнера. У приматов нет такого пышного хвоста, как у павлина, или мощных ветвистых рогов. Первое, что обращает на себя внимание — лицо. Оно обладает великолепно развитой мимической мускулатурой и вообще чрезвычайно

выразительно. Люди практически безошибочно определяют по лицу возраст и состояние здоровья собеседника. Многие исследователи полагают, что именно лицо человека служит показателем его физических кондиций.

Сторонники этой точки зрения уверяют, что люди во все времена считали привлекательными одни и те же черты: большие глаза, высокие скулы, маленький подбородок у женщин и выраженная челюсть у мужчин. И сколько бы народная молва ни уверяла, что с лица не воду пить, ведь смотрят, смотрят на него! Однако гипотеза о лице как маркере приспособленности нуждается в доказательствах, и в последнее время появляется довольно много исследований, посвященных этой проблеме.

Несколько лет назад группа немецких психологов пыталась найти ключевой признак привлекательности лица (далее мы для краткости будем называть ее просто привлекательностью), позволяющий судить о приспособленности человека («Human Nature», 2004, 15, 147—167, doi: 10.1007/s12110-004-1018-4). В этом эксперименте приняли участие 84 здоровые девушки. Даже простуда была исключена — люди от насморка дурнеют. Девушек сфотографировали без очков и косметики, с подобранными волосами и попросили взрослых мужчин, незнакомых со студентками, оценить фотографии по семибальной шкале. Лица, которые эксперты признали более привлекательными, принадлежали более приспособленным девушкам (для определения их физического развития использовали специальный тест, состоящий из шести упражнений). Исследователи предполагали, что показателем



1  
По этим меткам определяют симметрию лица

физического развития может служить вертикальная асимметрия лица (рис. 1). Отчасти их догадка подтвердилась: симметрия коррелирует с физическим здоровьем, асимметрия снижает привлекательность. Однако в случаях, когда мужчинам показывали только половинки девичьих лиц, так что привлекательность можно было оценить, а симметрию — нет, привлекательность все равно коррелировала с приспособленностью. Симметрия, стало быть, не служит показателем приспособленности, а что служит, так и осталось неизвестным.

Немецкие психологи тестировали женщин, потому что среди них легче найти добровольцев. Однако позже они все-таки провели похожее исследование с мужчинами и выяснили, что у мужчин в роли индикатора физического здоровья выступает привлекательность тела, а не лица («Evolution and Human Behavior», 2007, 28, 106—111. doi:10.1016/j.evolhumbehav.2006.09.001).

Это логично. Приспособленность подразумевает не только хорошее состояние иммунной системы и способность справляться со стрессами, но и атлетизм. Без выносливости, силы и ловкости нельзя было ни воевать успешно, ни охотиться, ни землю вспахать, ни стадо пасти. В наше время показателем хорошей физической формы нередко служат занятия спортом, а успех в этой области требует соответствующих наследственных задатков. Поэтому профессиональные спортсмены должны обладать наследственным физическим здоровьем, и в этом случае именно на лицах атлетов имеет смысл искать признаки приспособленности. Ее мериллом будет спортивный успех.

Так рассуждали психологи из Канады, Великобритании и Нидерландов, избравшие в качестве объекта исследования квотербеков Национальной футбольной лиги (НФЛ) («Personality and Individual Differences», 2010, 48, 112—116, doi:10.1016/j.paid.2009.09.003). Квотербек — лидер нападающих в американском футболе. Девушкам показывали взятые из Интернета фотографии лиц нескольких десятков квотербеков и просили оценить их привлекательность. Уровень атлетизма спортсменов, приравненного в данном случае к их приспособленности, определяли по пасовому рейтингу — это официальный рейтинг квотербеков, принятый в НФЛ, его рассчитывают по сложной формуле в зависимости от количества и результативности разных действий, совершаемых футболистом во время игры.

Многие специалисты считают этот показатель ненаучным, и авторы исследования согласны с ними. Пасовый рейтинг не отражает многих способностей игроков, в том числе их умения бегать. Кроме того, американский футбол — игра настолько командная, что результативность конкретного игрока оценить практически невозможно, она складывается из совместных усилий всех футболистов. Однако другие рейтинги сложнее рассчитать, и они, в отличие от пасового, еще не приобрели официального статуса. Так что пришлось обходиться тем, что есть.

Как ученые и ожидали, девушки находили более привлекательными лица более атлетичных, то есть высоко-рейтинговых футболистов. Важный физиологический показатель атлетизма — уровень тестостерона. Разница в его концентрации должна отражаться и на лицах: у мужчин с высоким содержанием гормона крупные челюсти и надбровные дуги. По мнению авторов работы, девушки прочли по мужественным лицам квотербеков уровень их тестостерона и определили таким образом степень атлетизма. Проверить эту гипотезу не было возможности, потому что содержание гормона в крови футболистов не определяли. Однако ученые убеждены, что их результаты представляют чистейший пример связи приспособленности с привлекательностью.

Эстафету подхватил эволюционный биолог из Цюрихского университета Эрик Постма, работавший с группой велосипедистов — участников гонки «Тур де Франс» 2012 года («Biology Letters» 2014, 10, 20130966, doi:10.1098/rsbl.2013.0966). Фотографии гонщиков он взял с официального сайта, где они были размещены за день до начала гонок. При этом ученый исключил из исследований спортсменов, не добравшихся до финиша, а также гонщиков, сфотографированных в кепках, солнечных очках на лбу (среди них оказались и победитель гонки Бредли Уиггинс со своей командой), вполоборота, при неудачном освещении, с необычной прической или неожиданным выражением лица. В результате из 198 участников осталось 104, из которых Эрик Постма для анализа случайным образом выбрал 80.

Исследователь проводил онлайн-опрос, фотографии оценили 816 человек, не знавших спортсменов в лицо, из них 72% женщин. Большинство людей с высшим образованием, многие со степенью. Участники опроса сочли более привлекательными лица гонщиков, показавших лучший результат, причем острее их неотразимость почувствовали женщины, не применявшие гормональные контрацептивы. Возраст, национальность и вес спортсменов не повлияли на корреляцию между успехом и привлекательностью.

Постма решил, что, хотя успех в гонке складывается из многих факторов, главный из них — хорошая выносливость, и привлекательность лица свидетельствует о ее высоком уровне. Выносливость была жизненно необходима древним людям, которым приходилось преодолевать пешком большие расстояния во время охоты или для других целей. Безусловно, это качество стало одним из на-



правлений отбора. Осталось лишь определить механизм, определяющий связь хорошей выносливости с привлекательностью черт. И тут возмутились физиологи.

## В поисках биологического смысла

Два американских специалиста в области физиологии и спортивной медицины, доктор Джеймс Смолига из университета Хай-Пойнт и Джеральд Заворски из университета штата Джорджия, написали статью под названием «Лица и фитнес: привлекательные эволюционные отношения или некрасивая гипотеза?» («*Biology Letters*», 2015, 11, 20150839, doi: 10.1098/rsbl.2015.0839). Авторы отмечают, что наличие статистической зависимости между двумя показателями, весьма слабой, к стати, не означает существование между ними причинно-следственной связи.

По мнению ученых, результаты исследований, проводимых среди атлетов, нельзя переносить на все человечество, поскольку элитные группы профессиональных спортсменов лишены естественного разнообразия популяции *Homo sapiens*. Слабое место подобных экспериментов — отсутствие внешнего контроля. Добравшиеся до финиша участники «Тур де Франс» (в 2012 году таких оказалось 164 человека) составляют примерно две десятитысячных процента от мужского населения наиболее развитых стран в возрасте от 20 до 34 лет. Один из показателей выносливости — скорость потребления кислорода, которая у профессиональных велосипедистов равна в среднем 73 мл/кг/мин, что почти в два раза больше, чем у обычных мужчин того же возраста (44 мл/кг/мин). Если приравнять приспособленность к выносливости, а выносливость — к скорости потребления кислорода, окажется, что даже самый распоследний участник «Тур де Франс» предпочтительнее среднего молодого человека. А ведь этот далеко идущий вывод никто не проверял. Между тем нельзя исключить, что рядовой гражданин понравится девушкам больше, чем спортсмен, и отбор, стало быть, действует против худощавых людей с высокой скоростью потребления кислорода.

Нет, нет, что вы! Эволюция не может противодействовать человеческой выносливости. Но тут уместно заметить, что выносливость бывает разная. Исследователи ссылаются на Лэнса Армстронга, легендарного велогонщика, который семь раз подряд (1999—2005) побеждал в «Тур де Франс». В 2007 году он пробежал Нью-Йоркский марафон, где, несмотря на свою исключительную выносливость, занял лишь 232-е место (2 часа 46 минут 33 секунды). Будь отбор марафонцев

2

*Райан Рейнольдс, Лэнс Армстронг и Эрик Постма.  
Чье лицо кажется вам более привлекательным?*

так же строг, как для «Тур де Франс», куда допускают около 200 атлетов, Армстронг не смог бы даже выйти на старт. Таким образом, один из самых результативных велогонщиков должен уступать по выносливости (и привлекательности?) многим марафонцам. В то же время он, безусловно, выносливее известного актера Райана Рейнольдса, признанного самым сексуальным мужчиной 2010 года и пробежавшего Нью-Йоркский марафон с результатом 3 часа 50 минут 22 секунды (7993-е место в 2011 году). Привлекательность души Рейнольдса и волевого спортсмена Армстронга никто не сравнивал (рис. 2).

Честно говоря, это рассуждение Смолиги и Заворски хоть и остроумно, однако небесспорно, потому что Лэнс Армстронг, побеждая на велогонках, принимал допинг, за что потом и поплатился пожизненной дисквалификацией. Рейнольдс же хорошо известен киноманам, хотя по правилам эксперимента люди, оценивающие привлекательность лиц, не должны знать, кому они принадлежат.

Но продолжим разговор об успехах в «Тур де Франс» как критерии приспособленности. Длительная ходьба или бег и велоспорт требуют разных качеств, недаром между представителями разных видов спорта существует заметная антропометрическая разница. Маловероятно, чтобы природа в ходе эволюции предпочла велосипедный фенотип, поскольку в те далекие времена для гоминид более ценным было умение хорошо ходить, а не ездить на еще не изобретенном велосипеде.

Далее. Доказывая, что привлекательность лица связана с физической формой, исследователи не утруждают себя объяснением механизма этой связи. Предположив, а не доказав, что у лучших квотербеков выше уровень тестостерона, немецкие психологи притянули сюда известную слабую связь между уровнем тестостерона и привлекательностью и объединили с рейтингом игрока — показателем, не позволяющим судить о его личных успехах. И на этом основании исследователи утверждают, что уровень тестостерона определяет приспособленность футболистов, о которой можно судить по чертам лица! Эта гипотеза построена на песке.

Даже если отвлечься от биологической осмысленности результатов, исследования связей между привлекательностью и некоторыми физическими характеристиками спортсменов приводят к противоречивым результатам. Например, привле-

кательность вратарей американского футбола, оказывается, тоже зависит от их результативности. Голкиперы должны хорошо прыгать вверх, однако они плохие спринтеры, а это с эволюционной точки зрения никуда не годится. Согласно статистике, и футбольные, и хоккейные вратари привлекательнее других членов команды, однако футбольные голкиперы относительно высокие, а хоккейные обычно ниже других игроков. При этом вратари в обоих видах спорта обладают меньшей выносливостью, чем другие члены команды, что полностью противоречит выводам Эрика Постмы, согласно которым девушки любят людей с мощной дыхалкой. А еще, если привлекательность действительно связана с высоким уровнем тестостерона, все участники «Тур де Франс» должны быть исключительно некрасивы, поскольку велотренировки снижают уровень тестостерона у профессиональных гонщиков. Более того, у велосипедистов высокого класса уровень этого гормона достоверно ниже, чем у нетренированных мужчин из контрольной группы.

В общем, для каждого вида спорта необходимы определенные качества, и нет оснований считать, что именно они обеспечивают какие-то преимущества в эволюционной биологии и социальном поведении всего человечества.

В заключение Джеймс Смолига и Джеральд Заворски отмечают, что попытки связать концепции эволюционной биологии с современными видами спорта и физической активности интересны, но дизайн экспериментов обычно хромает. Наличие связи между биологическими качествами и привлекательностью лица исключить нельзя, но, чтобы ее доказать, исследователям нужно обращать внимание на биологический смысл описываемых явлений и опираться на доказанные, а не предполагаемые связи. Критерии, которые они при этом используют, должны объективно оценивать качества спортсмена, не зависящие от других членов команды, как это имело место в случае с квотербеками. И работать надо с гетерогенной выборкой, иначе нельзя с уверенностью утверждать, что результат распространяется на все человечество или, по крайней мере, значительную его часть, а не ограничен узким кругом атлетов, посвятивших себя одному виду спорта.

А главное, обсуждаемые признаки должны наследоваться. Рейтинг спортсменов, будь то велогонщики или квотербеки, не врожденный, он представляет собой результат упорных тренировок, проводимых на должном техническом уровне, и, следовательно, не имеет отношения к приспособленности. Вопрос о том, наследуется ли воля к победе, ученые не обсуждают.

## Атлетизм по наследству

Больше всего от критиков досталось Эрику Постме, и он ринулся в бой («Biology Letters», 2016, 12, 20160068, doi:10.1098/rsbl.2016.0068). Он и не отрицает, что гонщики «Тур де Франс» — особая выборка, мысль эта тривиальна. Зато у этой выборки есть очень ценное свойство. Развитие каждого признака в той или иной степени определяют генотип и среда. Спортивные успехи зависят от таланта атлета, его физических качеств, определяемых генами, и от количества и качества тренировок — это средовой, ненаследуемый компонент. Участники «Тур де Франс» — гонщики высочайшего уровня. Чтобы его достичь, они должны тренироваться изо всех сил и использовать новейшие методики. То есть, по мысли Постмы, все они испытывают одинаковое влияние среды, и различия между ними почти исключительно генетические. Если это действительно так, их успех имеет наследственную природу, поэтому сообщество профессиональных спортсменов представляет более яркую модель действия отбора, чем разнородная популяция, которая включает и домоседов, и атлетов. Изучение взаимосвязи между привлекательностью



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ЛЮБВИ

и приспособленностью в масштабах всего человечества — задача увлекательная, но принципиально иная, и неправильно отвергать результаты исследования на том основании, что оно не охватывает всю популяцию.

Эрик Постма согласен, что влияние полового отбора на физическую выносливость, а выносливости — на привлекательность лица требует дополнительных исследований, и ему очень жаль, что уважаемые коллеги надавали столько неправильных рекомендаций, которые этим исследованиям ничуть не помогут и еще, чего доброго, собьют кого-нибудь с истинного пути.

Джеймс Смолига и Джеральд Заворски откликнулись немедленно («Biology Letters», 2016, 12, 20160856, doi:10.1098/rsbl.2016.0856). Они еще раз подчеркнули, что оценка выносливости, которую проводит Эрик Постма, субъективна, поскольку отличные велосипедисты не самые лучшие бегуны. На другие замечания исследователей относительно противоречивых результатов, отсутствия объясняющих взаимную связь биологических механизмов, влияния команды на достижения оцениваемого атлета Постма также не ответил. Однако основная его ошибка заключается в переоценке генетического разнообразия спортсменов. Последние данные эти умозаключения не подтверждают.

Пока они препирались, британские исследователи Колин Моран из Стерлингского университета и Янис Питсиладис из университета Брайтона показали, что чемпионами «Тур де Франс» становятся, а не рождаются («Journal of Sports Sciences» 2016, 6, 1—9. doi:10.1080/02640414.2016.1215494). Согласно данным, полученным в ходе близнецовых и семейных исследований, примерно 50% различий в таких признаках, как врожденный талант к велоспорту или реакция организма на тренировки, определены генетически. Ученым известно около 200 генов, влияющих на физические преимущества. Однако разнообразие этих генов объясняет лишь 1—2% успеха спортсменов высокого класса. Очевидно, до вершины спортивной пирамиды добираются только люди с определенной генетической предрасположенностью, и дальнейший их рейтинг зависит от тренировок, опыта и материальных ресурсов, то есть средовых, ненаследуемых факторов. Что касается генов, определяющих успех элитных спортсменов, их влияние на привлекательность не доказано. И в этом случае сравнение гонщиков «Тур де Франс» не имеет эволюционного смысла.

Отсюда не следует, конечно, что внешние признаки человеческой приспособленности вообще изучать невозможно. Можно и нужно. Только Джеймс Смолига и Джеральд Заворски призывают эволюционных биологов и статистиков привлекать к своей работе специалистов по спортивной физиологии. Это поможет избежать ошибок. На этом дискуссия пока завершилась.



# Машина пространства



flickr.com / Timo Newton-Syms

**Т**о, что технический прогресс отменяет расстояния, стало общим местом еще во времена Жюль Верна. Но до самого недавнего времени еще как-то сохранялась иерархия доступных областей пространства — свой дом, свой двор, своя улица, свой город, своя страна. Пусть для путешествия на другой конец города вместо длительной поездки в тряской пролетке можно воспользоваться скоростным поездом

метро, а для того, чтобы попасть на другой континент, — самолетом, все равно поездка на другой конец города субъективно воспринималась как более дальняя, чем поход в ближайший продуктовый магазин, а путешествие в отпуск на море — как что-то несоизмеримое с поездкой на выходные на дачу. Пусть даже полет на самолете в Крым занимает меньше времени, чем поездка через пробки в дачный поселок в сотне километров от дома,

все равно остаются сборы, ожидание регистрации, а в случае поездки за границу — языковой барьер.

Аналогично с уменьшением расстояния меняется и степень контроля над своим окружением. Своя квартира — это своя крепость, куда даже представители власти без ордера войти могут только с разрешения хозяина, свой дом — это товарищество собственников жилья, на собрании которого есть большие шансы быть услышанным, своя страна — ну во

в любом случае можно проголосовать за того или иного кандидата.

Интернет эту иерархию расстояний отменил, сработав как своего рода «машина пространства», превратившая Землю в точку.

Для того чтобы отправить эту статью в редакцию журнала, расположенную менее чем в пяти километрах от моего рабочего места, я сначала отправлю ее на свой почтовый сервер в Германии, оттуда она отправится на почтовый сервер gmail в Америке и только потом попадет в редакцию.

Большая часть пользователей и не задумывается о том, где территориально находятся те интернет-серверы, услугами которых они пользуются. Мы выбираем сервер по его функциональности, может быть, цене (хотя в очень многих случаях цена равна нулю), а вовсе не по его географической близости. Любая точка Земли в Интернете достаточно близка, чтобы расстояния можно было игнорировать.

Канадский философ и филолог Маршалл Маклюэн еще в 60-х годах, когда не существовало никакого Интернета, а было только радио и телевидение, описывал мир, превратившийся в «глобальную деревню», мир, в котором все знают обо всех, примерно так же, как соседи по деревенской улице.

До проникновения Интернета в массы, то есть примерно до появления социальных сетей в первом десятилетии этого века, метафора глобальной деревни была некоторым преувеличением. Скорее можно было говорить о «глобальном театре», в котором знаменитости на сцене видны всем, а зрители скрыты в полумраке зрительного зала. Для того чтобы стать интересным всем, нужно было попасть в телевизор.

В эпоху блогов и социальных сетей это уже не так. Сейчас действительно любой человек может опубликовать подробности своей личной жизни для всех читателей мира. Вот, скажем, замечательный фотограф Игорь Шпиленок публикует фотографии живой природы откуда-нибудь из сторожки заповедника в Брянском лесу или на Камчатке, и их тут же могут увидеть тысячи друзей и подписчиков.

Но практика показала, что глобальной деревни все равно не получается. Английский антрополог Робин Данбар, изучая обезьян, вывел зависимость размера группы приматов, связанных тесными социальными связями, от сложности мозга. Для человеческого мозга у него получилось, что размер группы, способной существовать на связях вида «каждый с каждым», без явной иерархии, не превосходит 150—200 человек (это и есть «число Данбара», часто упоминаемое в научных и популярных статьях о человеческом общении).

Так оно в общем и выходит. Когда нет необходимости группироваться в физическом пространстве, люди начинают группироваться по интересам. И если размер участников какого-то онлайн-сообщества превосходит число Данбара, сообщество либо разделяется на части, либо заводит иерархию, а недовольные своим местом в ней — отделяются.

К сожалению, группы, функционирующие в пространстве интересов, сильно отличаются от групп, функционирующих в физическом пространстве. Поскольку большая часть человеческой жизни все равно проходит в физическом пространстве, виртуальные группы не способны навести порядок вокруг себя, избавиться от мусора в подъездах, уличной преступности и тому подобных неприятностей. Потому что эти неприятности возникают слишком далеко от того места, где встречаются члены группы, хотя и рядом с каждым из них.

До сих пор эффект уничтожения пространства работал только в области коммуникаций между людьми. Ситуация начинает меняться тогда, когда возможность подключения к глобальной Сети получают не только люди, но и бытовые предметы. Так называемый Интернет вещей приводит к эффектам, которые не могли себе представить даже фантасты 50-х годов. Они предполагали, что у «умного дома» должен быть единый центр, электронный мозг, или, в современной терминологии, сервер, на который замкнуты все бытовые устройства. Но в мире, где расстояния уничтожены, каждое бытовое устройство предпочитает взаимодействовать не с соседями по дому, а с сервером своего производителя. И уже серверы между собой где-то там, «в облаке», договариваются, каким образом обеспечить связь между устройствами, физически расположенными в одной комнате.

Последствия для приватности и безопасности понятны. Уже был случай, когда главным свидетелем обвинения против человека послужил вживленный в его же организм кардиостимулятор — получив записи изменения сердечного ритма погорельца, полиция смогла доказать, что рассказанная им история пожара — ложь [1].

Еще интереснее другой судебный прецедент в США, когда суд признал, что удаленное проникновение в домашний компьютер подозреваемого не является нарушением известной «четвертой поправки», запрещающей обыски без ордера [2].

Таким образом, действие «машин расстояний» приводит к тому, что наш дом превращается в общественное место. Все, что мы говорим в тиши своей



## МЫСЛИ О БУДУЩЕМ

гостиной, может быть подслушано умным аудиоплеером, вроде Amazon Echo, и отправлено на сервер производителя (вроде бы с благой целью — распознать голосовую команду), а там попасть в руки охранителей чего-нибудь. И такой прецедент уже был: полиция подозревала, что Amazon Echo стал свидетелем убийства, и затребовала от компании-производителя аудиозапись [3]. Но данное конкретное устройство начинает передавать данные на серверы только после того, как самостоятельно распознает ключевое слово-обращение, поэтому получить свидетельские показания не удалось.

Впрочем, пока что большая часть проблем возникает у людей оттого, что они сами публикуют на открытых ресурсах нечто, по их мнению, абсолютно нормальное и ни в какой букве не противозаконное, не ожидая, что на этот ресурс внезапно забредет какой-нибудь фундаменталист, который не просто оскорбится, а не поленится еще и донос написать.

Короче говоря, нам еще долго предстоит привыкать к тому, что мы теперь живем в мире, где расстояния уничтожены, и выстраивать систему взаимодействия так, чтобы не толкать друг друга в образовавшейся от этого «тесноте».

**Виктор Вагнер**

1. <http://www.networkworld.com/article/3162740/security/cops-use-pacemaker-data-as-evidence-to-charge-homeowner-with-arson-insurance-fraud.html>
2. <https://www.eff.org/deeplinks/2016/06/federal-court-fourth-amendment-does-not-protect-your-home-computer>
3. <https://www.engadget.com/2016/12/27/amazon-echo-audio-data-murder-case/>



# Молнии шаровые, но разные

Доктор физико-математических наук

**А.И. Григорьев**

*Шаровая молния — явление удивительное и до сих пор не понятное, несмотря на потенциальную практическую значимость (слышали что-нибудь о стабильной плазме?). Ее пытаются создавать экспериментально и строят теории, но ценным источником информации остаются рассказы очевидцев.*

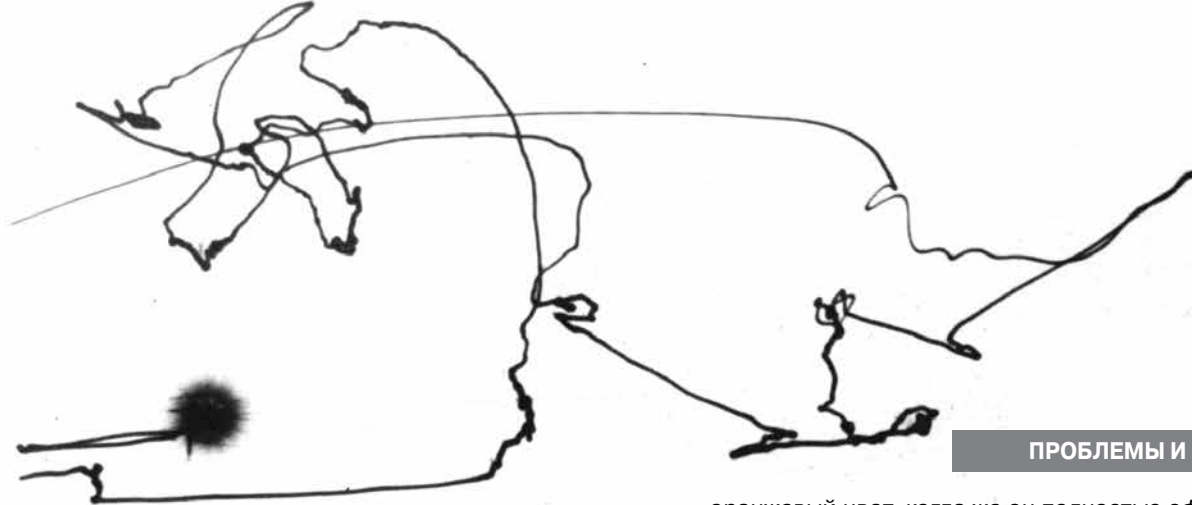
## Совсем немного истории

Шаровая молния, как явление, связанное с грозой, известна с античных времен. Первую дошедшую до нас гипотезу о ее происхождении высказал один из создателей так называемой лейденской банки, первого конденсатора, накопителя электрической энергии, — Питер ван Мушенбрук (1692—1761). Он предположил, что это сгустившиеся в верхних слоях атмосферы болотные газы, которые воспламеняются, спускаясь в нижние.

В 1851 году появилась первая книга, целиком ей посвященная, — автором был один из крупнейших французских физиков, почетный член Петербургской академии наук Франсуа Араго. Он назвал ее «самым необъяснимым физическим явлением», и сделанный им обзор свойств и представлений о ее природе инициировал появление потока теоретических и экспериментальных исследований этой формы грозового электричества.

До пятидесятих годов XX века шаровая молния (ШМ) привлекала к себе внимание лишь как непонятный геофизический феномен, о ней писали статьи и книги, но исследования носили в основном феноменологический характер. Однако когда развернулись работы в области физики плазмы и ее многочисленных технических и технологических приложений, тема приобрела прагматический оттенок. Стабилизация плазмы всегда была для физики важной задачей, а ШМ, объект, вроде бы плазменной природы, автономно существует и интенсивно светится десятки секунд. Потому с историей ее исследований связаны имена многих известных ученых, занимавшихся физикой плазмы. Например, один из основателей советской физики Петр Леонидович Капица (1894—1984) опубликовал статью «О природе шаровой молнии» (1955), в которой предложил идею о внешней подпитке энергией, и в последующие годы ее развивал, видя в шаровой молнии прообраз управляемого термоядерного реактора.

Библиография по ШМ к настоящему времени насчитывает более двух тысяч научных статей, только за последние сорок лет вышло около двух десятков книг и подробных обзоров. Начиная с 1986 года в России и за рубежом регулярно проводятся симпозиумы, семинары и конференции, посвященные ШМ, по этой теме в РФ защищено несколько кандидатских диссертаций и одна докторская. Ей посвящены тысячи экспериментальных и теоретических исследований, она попала даже в школьные учебники. Объем накопленных феноменологических сведений весьма велик, но понимания строения и происхождения по-прежнему нет. Она уверенно лидирует в списке малоизученных, непонятных, таинственных и опасных явлений природы.



*Траектории движения двух шаровых молний, снятые на длинной выдержке: одна тихо погасла, а другая взорвалась. По соотношению диаметра траектории с диаметром пятна взрыва можно оценить плотность энергии, запасенной в шаровой молнии, — около 3 кДж/см<sup>3</sup>*

## Усредненный портрет

Опубликованные книги содержат различной строгости и глубины обзоры теоретических и экспериментальных исследований ШМ, причем сами данные приводятся чаще всего в усредненном виде. Научная литература содержит множество таких «усредненных портретов», на основе которых появляются новые теоретические модели и новые варианты старых теоретических моделей. Но эти портреты далеки от оригиналов. Характерная черта ШМ — значительный разброс параметров, более того, их изменчивость в ходе существования феномена.

Вот почему любые попытки теоретического и экспериментального моделирования на основе перечней свойств «средней» ШМ обречены на неудачу. При существующем положении дел большинство авторов моделирует просто нечто сферическое, светящееся и долго существующее. Между тем, по сообщениям наблюдателей, яркость варьирует от тусклой до ослепительной, цвет ее может быть любым, также изменяется и цвет ее полупрозрачной оболочки, о которой иногда сообщают респонденты. Скорость движения меняется от сантиметров до десятков метров в секунду, размеры от миллиметров до метра, время существования — от единиц секунд до сотни. Когда речь заходит о тепловых свойствах, оказывается, что иногда она касается людей, не вызывая ожогов, а в некоторых случаях зажигает стог сена под проливным дождем. Электрические свойства столь же причудливы: она может убить животное или человека, коснувшись его, или заставить светиться включенную электролампочку, а может вообще не проявлять электрических свойств. Причем свойства ШМ с заметной вероятностью меняются в процессе ее существования. По результатам обработки 2080 описаний, с вероятностью 2—3% изменяются яркость и цвет, примерно в 5% случаев — размер, в 6—7% — форма и скорость движения.

В этой статье представлена короткая подборка описаний поведения ШМ в естественных условиях, акцентирующих внимание на тех ее свойствах, которые не вошли в усредненные портреты.

## Оранжевая, лимонная, зеленая, голубая...

**Наблюдатель Тараненко П.И., 1981 год.**

*«...светящийся шарик, выплывающий из гнезда розетки. За время порядка двух-трех секунд он проплыл немного в плоскости гнезд розетки, удалившись от стены примерно на один сантиметр, затем вернулся и пропал во втором гнезде розетки. В начальной фазе, при выходе из гнезда, шар имел густо-*

*оранжевый цвет, когда же он полностью сформировался, то стал прозрачно-оранжевым. Затем при движении шара его цвет изменился на желто-лимонный, разбавленно-лимонный, из которого вдруг высветился пронзительно сочно-зеленый цвет. Кажется, именно в этот момент шарик повернул назад к розетке. Из зеленого цвет шарика стал нежно-голубым, а перед самым входом в розетку — тускло-серо-голубым».*

Удивительна способность ШМ изменять форму. Если сферичность обеспечивается силами поверхностного натяжения, то можно ожидать изменений ШМ, связанных с капиллярными осцилляциями возле равновесной сферической формы, или изменений при нарушении устойчивости ШМ, то есть перед разрядом на проводник или перед взрывом, что, собственно говоря, и отмечается в наблюдениях очевидцев. Но, как ни странно, чаще наблюдаются взаимопревращения ШМ из сферической формы в ленточную и обратно. Вот два примера таких наблюдений.

**Наблюдатель Мысливчик Е.В., 1929 год.**

*«Из соседней комнаты выплыл серебряный шар диаметром примерно тринадцать сантиметров, без какого-либо шума вытянулся в "толстую змею" и проскользнул в дыру для болта от ставни на двор».*

**Наблюдатель Ходасевич Г.И., 1975 год.**

*«После близкого разряда молнии в комнате возник огненный шар диаметром около сорока сантиметров. Медленно, в течение примерно пяти секунд, вытянулся в длинную ленту, которая улетела через форточку на улицу».*

Видно, что ШМ вполне уверенно чувствует себя в ленточной форме, которую принимает при необходимости пройти через узкое отверстие. Это плохо укладывается в представление о поверхностном натяжении как о главном факторе, определяющем форму. Такого поведения можно было бы ожидать при малом коэффициенте поверхностного натяжения, но ШМ сохраняет форму и при движении с большой скоростью, когда аэродинамическое сопротивление воздуха деформировало бы сферу, если бы силы поверхностного натяжения были слабыми. Впрочем, наблюдатели сообщают и о весьма разнообразных формах, которые принимает ШМ, и о колебаниях поверхности.

**Наблюдатель Кабанова В.Н., 1961 год.**

*«В комнате, перед закрытым окном, я заметила висящий светящийся голубой шар диаметром около восьми сантиметров, он менял свою форму, как меняет форму мыльный пузырь, когда на него дуют. Он медленно поплыл в сторону электророзетки и в ней исчез».*

**Наблюдатель Годенов М.А., 1936 год.**

*«Я увидел, как по полу прыгает, удаляясь в угол сеней, огненный шар размером чуть меньше футбольного мяча. С каждым ударом о пол этот шар будто сплюскивался, а потом снова принимал круглую форму, от него отскакивали и тут же исчезали маленькие шарики, а шар становился все меньше и, наконец, исчез».*

Таким образом, теоретические модели шаровой молнии должны учитывать изменчивость ее свойств, что существенно усложняет проблему. А как обстоит дело с экспериментом?

## Нечто круглое и светящееся

За последние годы в этом направлении кое-что сделано. Во всяком случае, нечто шарообразное и светящееся нужного размера удалось получить, причем нескольким группам исследователей независимо друг от друга. О тех или иных свойствах вопрос пока не ставился: тут вообще бы получить что-то типа ШМ.

Во Владимирском государственном университете, под руководством профессора В.Н.Кунина, который пытался в лабораторных условиях воспроизвести разряд, подобный молнии по силе тока, стабильно получали из разрядной плазмы, образующейся при электровзрыве медной фольги, светящиеся шарообразные объекты диаметром 20—30 см, со временем жизни около одной секунды. Г.Д.Шабанов (Петербургский институт ядерной физики РАН) стабильно производит светящиеся шары с тем же временем жизни при существенно меньших токах и на совсем простом оборудовании. В Санкт-Петербургском госуниверситете этим успешно занимались С.Е.Емелин и А.Л.Пирозерский. Но во всех случаях время жизни подобных объектов — около секунды, а их полная энергия ничтожно мала: ее не хватает даже для того, чтобы прожечь газету. Реальная ШМ может убивать людей и животных, со взрывом рушить дома, ломать деревья, вызывать пожары.

То, что получается во всех этих экспериментах, конечно, не ШМ, но что-то похожее. Эти объекты принято называть «долгоживущими плазменными образованиями». Долгоживущие они по сравнению с обычным ионизированным воздухом, который при этом объеме прекратил бы свечение за микросекунды.

## Рождение и смерть

Среди 5315 ранее неизвестных описаний ШМ, собранных в Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова А.И.Григорьевым и С.О.Ширяевой, в 1138 случаях очевидцы видели таинство рождения ШМ. Различные варианты рождения встречаются с вероятностью: около 8% — в канале разряда линейной молнии; с той же вероятностью — в месте удара линейной молнии; в облаках — 4%; на металлическом проводнике — 66%; просто наблюдение зарождения вроде бы «из ничего» — 13%.

По тому же массиву данных мы оценили вероятности реализации различных путей исчезновения шаровой молнии. Полу-

чили следующие цифры: в примерно 40% случаев — она просто ушла из поля зрения; в 26% ее существование окончилось самопроизвольным взрывом; в 8% она ушла (разрядилась) в землю; в 6% — ушла в проводник; с такой же вероятностью она рассыпается на искры; в 13% тихо гаснет; а в 1% описаний из-за неосторожности очевидца существование шаровой молнии закончилось спровоцированным взрывом.

Интересно сравнить статистические данные о том, как прекратилось существование ШМ для тех из них, что возникли на проводниках (а таких в нашем собрании набралось 746 штук), с данными, в которых селекция по месту зарождения не сделана. Оказывается, что ШМ, зародившаяся на проводнике, заметно реже кончает свое существование взрывом, а чаще уходит в проводящую среду или тихо гаснет. Вероятности, с которыми это происходит, следующие: в 33% случаев — она уходит из поля зрения; в 20% существование окончилось самопроизвольным взрывом; в 10% она ушла (разрядилась) в землю; в 9% ушла в проводник; в 7% рассыпалась на искры; в 20% тихо погасла; в 1% — спровоцированный взрыв.

Возможно, что шаровые молнии, зародившиеся на проводниках, имеют меньшую энергию и больший электрический заряд, чем порожденные непосредственно линейной молнией, но расхождение в полученных численных значениях может происходить от малой статистики и разброса условий наблюдения. Но для шаровой молнии, появившейся в помещении из телефона или розетки, вероятность снова уйти в проводник или в землю больше, чем для ШМ, родившейся в облаке или в канале разряда линейной молнии и летящей по ветру.

## Искры, нити и зерна

С вопросом о внутреннем строении шаровой молнии естественно обратиться к людям, видевшим ее вблизи, на расстоянии порядка метра. Таких около 35%, примерно в половине случаев очевидцы сообщают о внутренней структуре — и это при том, что ШМ имеет весьма дурную репутацию. Можно понять, почему очевидцы не всегда в состоянии ответить на столь простой вопрос: при неожиданном появлении опасной гостьи не каждый захочет и сумеет заняться скрупулезными научными наблюдениями. Да и не всегда, по-видимому, внутри ШМ удастся что-либо разглядеть. Тем не менее вот два примера.

### Наблюдатель Лиходзеевская В.А., 1950 год.

*«Я оглянулась и увидела ослепительно-яркий шар величиной с футбольный мяч кремового цвета. Он был похож на клубок ярких ниток или, скорее, на сплетение тонкой проволоки».*



*Долгоживущее плазменное образование, которое получили при сильноточном испарении медной фольги В.Н.Кунин и Л.В.Фуров (ВлГУ)*



*Долгоживущее плазменное образование в экспериментах Г.Д.Шабанова. На заднем плане сам экспериментатор*

### **Наблюдатель Журавлев П.С., 1962 год.**

*«В полутора метрах я увидел белый шар 20—25 сантиметров, висевший на высоте полутора метров. Он светился как лампочка в 15 Вт. Шар казался состоящим из шевелящихся маленьких бело-красноватых искорок».*

В описаниях, упоминающих внутреннюю структуру шаровой молнии, можно выделить наиболее часто повторяющиеся элементы — хаотически движущиеся световые точки, светящиеся переплетенные линии, маленькие движущиеся и светящиеся шарики. Если сопоставить эти данные с сообщениями о том, что ШМ при внешних воздействиях рассыпается на искры и шарики, то представления о шариках и искрах (микрошариках) как об элементарных кирпичиках, из которых состоит ШМ, получают дополнительное подтверждение. Остается неясным, какие силы удерживают вместе эти «кирпичики», не давая им разлететься, но не мешая им свободно перемещаться в объеме шаровой молнии, и как происходит ее распад на элементарные шарики при ударе.

Совсем загадочные случаи — прохождение шаровой молнии сквозь стекло, после которого не остается отверстия. Таких наблюдений немного, среди 5315 описаний, собранных нами, их всего лишь 42. Есть подобные описания и в литературе, причем среди наблюдателей были и пилоты самолетов, и сотрудники метеостанций; иногда наблюдателей было несколько. Может быть, ШМ не проходит сквозь стекло, а ее электрическое поле вызывает возникновение подобного объекта по другую сторону стекла?

### **Расчет по наблюдениям**

Шаровую молнию примерно в 5% случаев видят падающей из грозовых облаков, в 0,5% видят поднимающейся к облакам, а в 75% наблюдений она плывет в атмосфере. Напрашивается вывод, что она может быть как легче воздуха, так и тяжелее, но в большинстве случаев ее плотность приблизительно та же. Однако на плавучесть шаровой молнии влияет не только сила Архимеда, как на воздушный шар. Известно, что она может менять направление движения, гнаться за подвижными объектами, убивать людей и животных электрическим зарядом. Вот два примера.

#### **Наблюдатель Креловская К.М., 1920 год.**

*«Вечером я гуляла и побежала в сторону деревни, собака за мной. Тут раздался грохот грома, и вслед за нами помчался маленький блестящий шарик. Через несколько секунд шар нагнал собаку, коснулся ее, раздался оглушительный треск. Собака упала. Шкура на ней обуглилась».*

#### **Наблюдатель Красулина М., 1954 год.**

*«В дом влетел огненный шар около 30 сантиметров в диаметре, яркий как лампочка в 100 Вт. Ударился в зеркало, которое висело напротив окна, отскочил от него и попал в грудь молодой женщины. Она тут же умерла».*

Итак, у шаровой молнии есть электрический заряд, она движется в приземном электрическом поле, напряженность которого в ясную погоду такова, что разность потенциалов между подошвами ног и головой человека составляет около 200 вольт. В грозовую погоду напряженность увеличивается примерно в 100 раз. Из сказанного следует, что на ее движение влияют электрические поля. И в самом деле, с вероятностью примерно 4% ее видят двигающейся вдоль проводов электричества.

Добавив к этим соображениям представления об устойчивости заряженной поверхности жидкости и критериях электрического пробоя атмосферы, мы получили возможность оценить величину заряда шаровой молнии, которая оказалась порядка единиц микрокулонов. Много это или мало? Во всяком случае, электрической энергии, запасаемой в шаровой молнии при таком заряде, достаточно, чтобы убить человека. Проведенные расчеты показали, что шаровые молнии, возникающие у поверхности земли, имеют большие электрические заряды, чем возникающие в грозовых облаках.



### **ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ**

Из приведенных выше соображений удалось оценить и другие свойства ШМ. Так, плотность ее вещества отличается от плотности воздуха примерно на 1%, а поверхностное натяжение приблизительно такое же, как у воды. Также удалось выяснить, что все свойства шаровой молнии связаны между собой и что ее радиус не может быть больше метра. Все сообщения о многометровых радиусах ошибочны; такие размеры всегда выводятся из оценок угла, под которым светящийся объект наблюдают издали, а при этом неизбежна большая ошибка.

### **Выжившие**

Контакт с шаровой молнией бывает и не смертельным, однако такие случаи крайне редки. Вот два примера.

#### **Наблюдатель Васильева Т.В., 1978 год.**

*«Одновременно с грохотом близкого разряда молнии на выключателе появился светящийся шар величиной с человеческую голову и загорелся выключатель. У меня мелькнула мысль, что если загорятся обои, то сгорит и наш деревянный дом. Я с размаху ударила ладонью по шару и выключателю. Шар сразу же распался на множество мелких шариков, упавших вниз. На оставшейся половине выключателя появился огненный шарик величиной с кулак. Через секунду этот шарик исчез. Рука у меня сгорела до кости».*

#### **Наблюдатель Базаров М.Я., 1956 год.**

*«От заслонки трубы на подушку упал неяркий красный шар размером с мяч 25 сантиметров. Он медленно скатился по подушке на шерстяное одеяло, которым я был укрыт. Мать, увидев это, голыми руками стала его забивать. От первого удара шар рассыпался на множество мелких шариков. За считанные секунды, ударяя по ним ладонями, мать загасила их. Ожогов у нее на руках не осталось. Только с неделю пальцы ее не слушались».*

Свидетельства уникальные — подобных случаев известно совсем немного. Чаще всего шаровая молния на попытки прикоснуться к ней отвечает электрическим разрядом либо взрывом. И в том, и в другом случае последствия могут быть летальными.

### **Кто слушал и кто рассказывал**

Основной источник новой информации о шаровой молнии — описания очевидцев ее появления в естественных условиях. Насколько востребован этот источник информации?

В мировой практике сбор описаний шаровой молнии дело не новое, достаточно вспомнить Франсуа Араго (1859), Вальтера Бранда (1923), Дж.Ранда Мак-Нэлли (1960), Уоррена Рейли (1966), Джорджа Эджели (1987). Но во всех случаях речь шла о десятках и сотнях описаний. Только в Японии, где шаровая молния расценивается как мистический объект, Оцуки Ёсихико в конце прошлого века собрал около трех тысяч описаний.

В СССР собирать описания шаровых молний с целью получения новых сведений об этом непонятном феномене начал И.П.Стаханов (1928—1987), профессионально занимавшийся плазмой. Еще раньше это попытался сделать И.М.Имянитов (1918—1987), областью интересов которого было атмосфер-

ное электричество; он написал книгу о шаровой молнии, но не довел до логического завершения идею анализа данных, которые сообщают наблюдатели. И.П.Стаханов первым начал систематическую обработку свидетельств очевидцев — у него был массив в полторы тысячи описаний. Полученные данные он обобщил в своих книгах. Мы занялись сбором сообщений о шаровых молниях лет на десять позже него, но собрали около шести тысяч описаний и применили компьютерную обработку данных.

Поиск очевидцев появления ШМ в естественных условиях, сбор информации и подготовка этой информации, рыхлой, расплывчатой и неточной, к обработке — это наиболее времязатратная и психологически трудоемкая часть нашей работы. Респонденты часто сообщают о трагических событиях, которым невозможно не сопереживать. Обработка полученной информации на компьютере — работа непродолжительная и приятная часть. Далее мы пишем популярную статью о ШМ для газеты или научно-популярного журнала, а в конце даем контактный адрес для очевидцев. Через полгода-год начинают приходить письма. Авторам мы отсылаем анкету с вопросами, затем сравниваем ответы с данными, сообщенными в первом письме. Разброс бывает значительный, это позволяет оценить достоверность сообщений. Из средств массовой информации данных не берем, их достоверность низка.

А можно ли верить информации о свойствах ШМ, полученной от очевидцев? Типичная реакция на появление шаровой молнии — страх. Психологи утверждают, что необычные, опасные, яркие явления запоминаются хорошо и надолго, но часто в искаженном виде. С таким эффектом регулярно приходится сталкиваться следователям, опрашивающим свидетелей трагических происшествий. Свидетели, одновременно наблюдавшие событие, дают различные, часто взаимоисключающие описания происшествия, но любой из них готов поклясться в истинности своих показаний. Что же, подобные помехи приходится учитывать.

Кажется, что достоверность информации, получаемой от очевидца, должна зависеть от его образования, возраста, времени, прошедшего с момента события, от пола. Как ни странно, это оказалось не так. С самого начала статистической обработки мы задались вопросом: кто наши респонденты? Прежде всего нас интересовали их возраст и образование. Выяснилось, что в момент наблюдения только 34% очевидцев были младше 16 лет, 21,5% имели высшее образование, 30,8% — среднее, 14% — восьмилетнее, остальные — начальное. Мы обсчитали по отдельности данные, полученные у всех этих групп, и, к своему удивлению, обнаружили, что независимо от возраста и образования при усреднении по каждой группе описываемые шаровые молнии выглядят одинаково.

Психологи нас предупреждали, что необходимо с осторожностью относиться к информации, получаемой от женщин, так как женское восприятие отличается повышенной эмоциональной



*Тополь, которого на уровне верхнего края отщепила коснулась ШМ радиусом 25 см и со взрывом отщепила часть ствола. Куски дерева весом до 25 кг отбросило на расстояние до 30 м.*

окраской и часто искажает сведения, которые они сообщают. Среди наших респондентов представительниц прекрасного пола оказалось 51,2%. Но сравнение их рассказов с рассказами мужчин продемонстрировало независимость среднестатистической информации от пола респондентов.

В одном наши ожидания оправдались: данные, полученные от людей, не видевших лично шаровой молнии, но сообщавших о ней со слов очевидцев (а таких набралось примерно 8%), отличались от тех, которые дают сами очевидцы. В этой группе респондентов каждый двадцатый сообщил о трагическом случае, произошедшем по вине ШМ, и каждый пятнадцатый — о взрывах, приведших к разрушениям. Среди непосредственных очевидцев о несчастных случаях написал только каждый сотый, а о разрушениях — каждый восьмидесять пятый. Это естественно — рассказ с большей вероятностью будут пересказывать, если он поражает и запоминается. В остальном люди, сами не видевшие шаровой молнии, описывают ее так же, как «Советский энциклопедический словарь» или учебник физики для девятого класса школы: схематично, без указания деталей. Что лишний раз подтверждает справедливость пословицы: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать».

Вот, пожалуй, и все, что можно рассказать в рамках журнальной статьи. Главный вывод для исследователей этого явления природы: шаровые молнии разнообразны и крайне изменчивы, что необходимо учитывать при моделировании. Как говорил один выдуманный литературный классик, «понять — значит упростить». Но и в сложности реальных феноменов есть особая притягательность.

**Уважаемый читатель!** Если Вам приходилось встречаться с шаровой молнией, напишите, пожалуйста, об этом по адресу: 150000, г. Ярославль, ул. Советская, 14, ЯрГУ им. П.Г. Демидова, «ШМ»; электронный адрес grig@uniyar.ac.ru. Этим Вы поможете в изучении во многом еще непонятого и таинственного явления природы. Большой интерес представляют также предметы, находившиеся в контакте с шаровой молнией или поврежденные ею, и фотографии этой редкой разновидности молнии.

#### **Если вы увидите шаровую молнию рядом...**

...будьте бдительны. Помните, что при размере в футбольный мяч в ней может содержаться столько же энергии, сколько выделяется при взрыве десятка килограммов тола. Поэтому, если она случайно залетит в комнату, обращаться с ней нужно осторожно, примерно как со злой собакой: лучше всего побыстрее оставить ее одну. Но и убежать не следует, так как она может быть увлечена потоками воздуха. Ни в коем случае не нужно касаться ее руками или какими-либо предметами или пытаться выгнать ее на улицу. Это может привести к взрыву. Кроме того, она обладает большим электрическим зарядом, известно много случаев, когда именно зарядом она убивала людей и животных. Неосторожным наблюдателям шаровая молния может причинить ничуть не меньше неприятностей, чем обычная линейная, возможности которой всем хорошо известны.



15-я Юбилейная международная выставка  
лабораторного оборудования  
и химических реактивов

**11-13 апреля 2017 года**  
**Москва, КВЦ «Сокольники»**



Организатор  
Группа компаний ITE  
+7 (499) 750-08-28  
analitikaexpo@ite-expo.ru

Забронируйте стенд на сайте  
**analitikaexpo.com**

# Электросталь: не только сталь

13 марта 2017 года в день столетия Февральской революции отмечает свое столетие крупнейший промышленный центр Подмосковья — Электросталь

Двадцать восьмого февраля 1917 года по старому стилю выпустил первую продукцию завод по производству снарядов, построенный в поселке Затишье вблизи от Богородска (ныне Ногинск). А вскоре дал первый металл и металлургический завод, построенный в этом же поселке по последнему слову техники.

Заводы в Затишье были одним из главных стержней промышленно-финансовой империи, которую возглавлял крупнейший российский капиталист Николай Александрович Второв (1866—1918). Второва называли «русским Морганом», по оценкам экспертов, он был самым богатым человеком России. Что не помешало ему после победы Октябрьской революции перейти на сторону большевиков. Наверное, ему было жаль терять огромное богатство, но уж очень соблазнил размах деятельности в новой России.

В мае 1918 года Н.А.Второв был убит при невыясненных обстоятельствах. Председатель ВЧК Ф.Э.Дзержинский, опасаясь антиправительственных выступлений, предлагал похоронить бывшего миллионера тихо, с участием лишь узкого круга родственников, однако Ленин дал указание устроить похороны по высшему разряду. В одной колонне за гробом шли недобитые буржуи, рабочие и комиссары в кожаных куртках. Это, по-видимому, была последняя идилия подобного рода.

В 1930-х годах в построенной накануне революции 1917 года штаб-квартире империи Второвых в Зарядье разместился главный штаб индустриализации



Н.А.Второв



И.Ф.Тевосян



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

СССР — Народный комиссариат тяжелой промышленности. Кабинет Второва занял товарищ Орджоникидзе. А в особенности Н.А.Второва в Спасопесковском переулке близ Арбата разместились резиденция посла США в СССР.

Второв был не единственным российским капиталистом левых убеждений. Еще в царское время революционное движение финансировали текстильный фабрикант из Орехова-Зуева Савва Тимофеевич Морозов (1862—1905), бакинский нефтяной король Александр Иванович Манташев (1842—1911). Что заставляло этих и других российских миллионеров (а были и другие) сотрудничать с революционным движением? Наверное, понимание того, что традиционные для России формы капитализма не смогут решить задачи модернизации страны и нужны какие-то принципиально иные решения.

После запуска двух крупнейших заводов тихая жизнь в Затишье кончилась, и вскоре поселок получил статус города и новое название «Электросталь».

Название было выбрано не без задней мысли: оно создавало впечатление, что главное в городе — электрометаллургический завод «Электросталь». Этот завод действительно играл важнейшую роль в российской промышленности, выпускал широкий ассортимент специальных сталей. Но главным предприятием города был и остается созданный на базе завода по производству снарядов «завод № 12». В годы Великой Отечественной войны он выпускал «катюши», а после войны стал одним из головных предприятий советской атомной промышленности. В настоящее время этот завод рассекречен, хотя продолжает носить никого не обманывающее конспиративное название «Электростальский машиностроительный завод» (ЭлеМаш). Никакого отношения к машиностроению его продукция, конечно, не имеет: завод выпускает тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) для атомных электростанций. В 1991 году был создан государственный концерн «ТВЭЛ», и ЭлеМаш стал его главным предприятием.

Впрочем, есть в Электростали и настоящее машиностроительное предприятие — Электростальский завод тяжелого машиностроения (ЭЗТМ).

На фото сверху — расположенный в Электростали памятник ликвидаторам последствий аварий на атомных объектах



*З.В.Ершова, «советская мадам Кюри»*

Он создан на базе эвакуированного из Донбасса в Электросталь в годы Великой Отечественной войны Новокраматорского завода.

История завода «Электросталь» тесно связана с именем выдающегося руководителя советской металлургической промышленности Ивана Федоровича (Ованеса Тевадросовича) Тевосяна (1902—1958). В конце 1920-х годов молодой большевик с высшим техническим образованием получает лестное предложение — занять очень высокий пост в промышленности. Но он отказывается, считая себя неподготовленным, и уезжает в Электросталь, где устраивается работать на электрометаллургический завод. Сначала помощником мастера, а затем, пройдя несколько ступенек служебной лестницы, становится главным инженером. Только после этого он принимает предложение возглавить трест «Спецсталь», а затем его назначают министром металлургической промышленности СССР. Сегодня завод «Электросталь» носит имя И.Ф.Тевосяна. К сожалению, в наши дни мнение о том, что руководить любым делом должны профессионалы, знающие это дело в совершенстве, многим представляется устаревшим... Разумеется, не каждый хороший специалист может стать хорошим руководителем, но нельзя стать хорошим руководителем, не будучи специалистом в деле, которым руководишь.

В середине 1930-х годов директором завода № 12 был крупный советский государственный деятель Сергей Иванович Сырцов (1893—1937). Ранее он был председателем Совнаркома РСФСР и кандидатом в члены Политбюро ЦК ВКП(б), однако не поладил со Сталиным.

Как уже говорилось, в годы Великой Отечественной войны на заводе № 12 выпускались «катушки», а после войны завод был передан в распоряжение наследнице Вторых. Вот как это случилось.

В начале 1920-х сын Н.А.Второва познакомился со студенткой-химиком Зиной Ершовой. Дело закончилось свадь-

бой, но семейное счастье продолжалось недолго: муж вскоре умер. А Зинаида Васильевна Ершова (1904—1995) стала одним из ведущих российских специалистов по химии редких и особенно радиоактивных элементов. В 1930-х годах она была командирована во Францию и работала в лаборатории Марии Склодовской-Кюри (1867—1934).

В 1937 году Зинаиду Васильевну как неблагонадежный элемент сослали в Казахстан, где она вскоре стала директором свиноводческого совхоза и на этом посту достигла немалых успехов. Однако в феврале 1943 года в СССР начали раскручиваться работы по созданию атомной бомбы. И тогда о Ершовой вспомнили. Ее вызвали в Москву (о чем, надо думать, совхозные свиньи очень сожалели) и поручили возглавить химический блок советского атомного проекта.

В 1944 году по инициативе З.В.Ершовой в Москве создается Институт спецметаллов (ныне Институт неорганических материалов имени А.А.Бочвара), перед которым поставлена задача создания новых материалов для атомной промышленности. Директором института назначили полковника НКВД из Норильска, фактическим научным руководителем становится З.В.Ершова. Назначить женщину директором крупного оборонного института руководство не решилось. В 1945 году в распоряжение Зинаиды Васильевны был передан и завод № 12 в Электростали. Вскоре на нем получили первые промышленные образцы металлического урана. А в 1947 году под руководством Ершовой впервые в СССР был выделен плутоний.

Энергия и деловые качества Зинаиды Васильевны Ершовой были высоко оценены специалистами. Один из руководителей советского атомного проекта Авраамий Павлович Завенягин (1901—1956) даже предлагал ей руку и сердце. Но получил отказ. Впрочем, ни Героем социального труда, ни академиком, ни даже членом-корреспондентом З.В.Ершова не стала. Возможно, из-за самолюбия мужчин, не желавших делить славу с женщиной, возможно, из-за ее равнодушия к официальным регалиям. Ей было лень писать докторскую диссертацию и, главное, собирать необходимые документы. Степень доктора технических наук Зинаиде Васильевне была присвоена без защиты диссертации по совокупности заслуг.

В 1947 году вышла музыкальная кинокомедия «Весна», примечательная не только звездным актерским составом, но и тем, что в центре сюжета, пожалуй, впервые оказалась женщина — знаменитый ученый. Прототипом главной героини, физика Ирины Никитиной, была Зинаида Васильевна Ершова. Правда, в фильме она занимается несколько иной, открытой тематикой, но тоже связанной

с получением новых источников энергии.

Со второй половины 1940-х годов Электросталь становится одним из главных центров советской атомной промышленности. В городе любят рассказывать легенду, согласно которой в большом-большом кабинете Пентагона стоит большой-большой сейф, где хранится большой-большой список советских городов, подлежащих атомной бомбардировке, и в том списке Электросталь якобы занимает то ли третье, то ли четвертое место.

Более тысячи жителей Электростали (один процент населения!) принимали участие в ликвидации последствий чернобыльской аварии. В память об этом возле Дома культуры ЭлеМаша в 2006 году открыли монумент, посвященный ликвидаторам аварий в атомной промышленности. Его автор — скульптор Николай Петрович Лысенко (р. 1941).

На грустном общероссийском фоне современная Электросталь выглядит благополучным и даже процветающим городом. Продукция его предприятий пользуется спросом не только на отечественном, но и на мировом рынке — особенно это касается Электростальского машиностроительного завода, поставляющего ТВЭЛы для атомных электростанций европейских стран.

Свои филиалы в Электростали открыли многие вузы, не только технические, но и, например, Российский государственный гуманитарный университет. А главный атомный вуз России, Московский инженерно-физический институт (ныне Научно-исследовательский ядерный университет «МИФИ»), готовит в Электростали специалистов со средним (но очень хорошим) техническим образованием.

Город живет активной культурной жизнью. Своего театра и театральной труппы в городе нет, зато есть культурный центр «Октябрь» с залом на 850 мест и театральной сценой. Поэтому многие театры России с удовольствием приезжают в Электросталь на гастроли. Кстати, этот культурный центр был построен на средства Электростальского завода тяжелого машиностроения. Детская художественная школа в Электростали считается лучшей в Московской области и одной из лучших в стране. Есть две музыкальные школы. Городская хоккейная команда «Кристалл» одно время входила в число лучших в стране (сейчас, увы, не входит).

В отличие от некоторых крупных промышленных центров России, Электросталь — очень чистый, ухоженный город. На домах можно видеть плакаты: «Завел собаку — убери бляку». И, как правило, убирают. Хороший пример для многих больших городов!

Кандидат биологических наук  
**С.В.Багоцкий**

# Бобы

Одно из пищевых растений, незаслуженно забытых в нашей стране, — конские бобы *Vicia faba*, они же *Faba bona* и *F. vulgaris*. У этой культуры есть и другое название: русские бобы.

**Что это за растение?** Бобы — однолетнее растение с невысоким прямым стеблем и разветвленной корневой системой, уходящей в почву на глубину до полутора метров. Плод *V. faba* называется боб, хотя его часто неправильно именуют стручком. Внутри семена, которые могут быть разной формы и цвета (белые, зеленые, темно-коричневые, пурпурные или черные). Существуют длинноплодный вариант, в котором до восьми семян, и короткоплодный «Виндзор» — у него до четырех.

В настоящее время известно около ста сортов бобов, их делят на полевые (кормовые) и огородные (пищевые). У кормовых относительно мелкие семена и обильная зеленая часть. У пищевых семена крупные, до 3 см в длину, и большие мясистые листья.

Родина конских бобов — Ближний Восток и Средиземноморье. Это одна из древнейших пищевых культур. Самые ранние находки бобов сделаны в Израиле и относятся к поселениям эпохи неолита (8800—8500 лет назад). Около 3000 года до нашей эры бобы уже широко известны в Средиземноморском регионе. Постепенно они распространились по Европе, достигнув даже такого отдаленного ее уголка, как Британия, а продвигаясь вдоль долины Нила, попали в Эфиопию. В этих странах бобы служили обычной пищей простых людей.

Наша страна не стала исключением, на Руси бобы выращивали не меньше тысячи лет, и поддерживались они до петровских времен, когда им на смену пришла завезенная с Запада фасоль. Архиепископ Антиохийской православной церкви Павел Алеппский, путешествуя в середине XVII века по Московии, писал: «Есть у них бобы фиолетовые и белые».

**Чем полезны русские бобы?** Для нашей страны русские бобы — настоящее сокровище, поскольку культура эта неприхотлива: растет на бедных почвах, в том числе кислых и глинистых, переносит заморозки до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Теплолюбивые фасоль и соя таких условий не выдерживают.

Бобы содержат до 37% белков, в состав которых входят незаменимые аминокислоты: лизин, гистидин, метионин и аргинин. По содержанию белка бобы уступают только сое. В семенах фасоли, гороха и чечевицы протеинов меньше. Жиров в бобах всего 1,5—2%, углеводов — до 60%. Содержание клетчатки выше, чем в других бобовых, из-за более толстой оболочки семян. При всей пищевой ценности это низкокалорийный продукт, в 100 граммах 56,9 ккал.

Русские бобы — источник витаминов группы B, особенно  $B_6$  (пиридоксина),  $B_1$  (тиамина),  $B_2$  (рибофлавина) и  $B_3$  (ниацина). В растении также есть аскорбиновая кислота, каротин и минеральные соли кальция, калия, фосфора, железа, серы и магния. Молодые бобы — источник L-допы, 84 грамма свежих семян содержат до 50—100 мг этого вещества. В медицине оно известно как леводопа, лекарство от болезни Паркинсона. В начале XX века конские бобы использовали в качестве сырья для его получения.

К сожалению, в последние 50 лет потребление бобов во всем мире снизилось вдвое. Люди предпочитают злаковые культуры, которые проще убирать промышленным способом. Сейчас в Европе это преимущественно кормовой продукт.

**Что можно приготовить из бобов.** Тем не менее во многих странах конские бобы с удовольствием едят и в стадии молочной спелости, и созревшие. Недозрелые семена или целые бобы используют как овощи, консервируют и замораживают. Полностью поспевшие варят. Предварительно их нужно замочить на ночь в холодной воде, а варить — в свежей. Процесс длится несколько часов, и очень важно довести его до конца, потому что недоваренные бобы невкусные. Чтобы проверить, готовы ли бобы, две-три штуки берут в ложку и дуют на них. Если кожица с семян слезет, они сварились.

Муку из зрелых семян используют для приготовления растительных сливок, а также добавляют в колбасный фарш и тесто. В этом качестве бобовая мука вполне заменяет соевую.

Одно из популярных ближневосточных блюд — фалафель, обжаренные во фритюре или запеченные в духовке шарики, сделанные из сухих бобов, которые замачивают, а затем перемалывают с луком-пореем, петрушкой, тмином, зеленым и сухим кориандром. Иногда к бобам добавляют нут. Фалафелем начинают питу, подают с салатом, овощами или горячими соусами. Нередко фалафель готовят из мелкосеменных сортов, поскольку они ароматнее.



**Русские черные бобы.** В 1940-х годах во ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур вывели сорт бобов «русские черные». Он может расти от Ленинградской области до Забайкалья. В одном бобе два-три крупных семени отменного вкуса. Зеленые бобы мясистые, их можно не лущить. Зрелые семена темно-фиолетового, почти черного цвета, по-английски «deep purple». Их покупают даже на Западе, «в оригинальной российской упаковке».

**Запретный плод.** Несмотря на то что конские бобы — полезный и питательный продукт, иногда они оказывались под запретом. В Древней Греции жрецам, которые участвовали в орфических и элевсинских мистериях, запрещено было не только есть бобы, но и прикасаться к ним, смотреть на них и думать о них. Об этом сообщает древнегреческий писатель II века Павсаний. В своем труде «Описание Эллады» он рассказывает, что, когда богиня плодородия Деметра в поисках своей дочери забрела в город Фенеи, жители оказали ей гостеприимство, и за это она одарила их семенами стручковых растений, но не бобами, поэтому семена бобов считаются у них нечистыми.

Живший ранее древнегреческий философ и математик Пифагор (570—490 гг. до н. э.) также бобов не ел, ученикам своим запрещал и обходил бобовые посевы стороной. Он считал, что в бобы переселяются души умерших.

Однако у этих запретов может быть более прозаическое объяснение — фавизм, или непереносимость конских бобов. У человека, страдающего этим заболеванием, бобы вызывают гемолиз (разрушение эритроцитов). Кожа становится желтой, селезенка и печень увеличены. Если бобов съедено много, у больных поднимается температура, они чувствуют слабость и боль в животе, дышать трудно, сердце колотится. В тяжелых случаях развивается острая почечная недостаточность. Фавизм — наследственное заболевание, связанное с дефицитом фермента глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г-6-ФД). Он вызван рецессивной мутацией в гене, расположенном на женской половой X-хромосоме, поэтому фавизмом болеют мужчины, а женщины с такой мутацией, как правило, носительницы, но сами здоровы. Этим недугом страдают около 400 млн человек, он довольно распространен среди жителей Средиземноморья.

Продукты активности Г-6-ФД необходимы для обезвреживания перекиси водорода, особенно чувствительны к окислительным повреждениям эритроциты, которые не имеют возможности синтезировать собственный фермент. В обычных условиях срок жизни эритроцитов у больных людей лишь немного сокращен, но если съесть какой-нибудь сильный окислитель, начинаются гемолиз и анемия. Сырые бобы содержат два алкалоида, вицин и конвицин, в организме они окисляются, образуя активные формы кислорода, и провоцируют гемолиз.

Эпидемиологи отмечают, что ареал происхождения бобов соответствует ареалу распространения малярии, некоторые возбудители этого заболевания очень чувствительны к гемолизу, вызванному фавизмом. Потому, возможно, отбор способствовал сохранению высокой частоты мутантного гена Г-6-ФД в малярийных районах.

**Чем еще опасны бобы.** Как и все бобовые культуры, конские бобы содержат пурины, поэтому вредны людям, страдающим подагрой. В их семенах также присутствуют ингибиторы трипсина, танины, фитиновая кислота, мешающая усвоению фосфора, кальция и некоторых других минералов. Олигосахара бобов (стахиоза, раффиноза и вербаскоза) при ферментации в кишечнике выделяют метан и другие газы.

Содержание многих неприятных компонентов можно уменьшить селекцией. Для кормовых целей стараются использовать сорта бобов, в которых количество танинов, ингибиторов трипсина, вицина и конвицина сведено к минимуму.

Бобы содержат фитоэстрогены — изофлавоноиды, биологической активностью подобные женским половым гормонам. Их избыток может быть вреден для человека. При этом конские бобы содержат меньше фитоэстрогенов, чем другие бобовые растения, особенно соя.

Так что русские бобы — практически идеальная замена сое в нашей стране.

**Бобовый напиток.** Из спелых бобов готовят заменитель кофе. Для начала их замачивают на три дня. Вымачивание защищает от вредных белков, а крахмал за это время превращается в сахара. Затем бобы высушивают, измельчают и обжаривают до коричневого цвета. Сахара при этом карамелизуются, благодаря чему напиток приобретает приятный аромат и густой темно-коричневый цвет. Молотые зерна заваривают как обычный кофе.





# Просветитель

Татьяна Левченко

## Год 1791

Двадцать первого ноября, в глухую ночь, падучая звезда прочертила рыжую стрелу и скатилась в снежно-черный студень речки Смоленки. Феклист со страхом оглянулся и громче затарабанил в дверь. Провернулся ключ, дверь приоткрылась.

— Ты? Что за переполох?

— Матушка Анна Евдокимовна просят спешно. Барин кончаются.

Берг-гауптман Андрей Дерябин вздрогнул:

— Как чувствовал, спать не ложился... Войди. — И наскоро стал одеваться.

Феклист по дороге сбивчиво рассказал:

— Александр Матвейч поутру говорит за кофе — нынче помру, а сам на часы показывает: смотри, остановились! Я ему — и, батюшко, пошли за часовщиком, снова пойдут... А он — погоди, увидишь. Его ж не поймешь, серьезно али нет. И деньги подает, что при себе. Говорит, отдай после Анюте, Анне Евдокимовне, а теперь не говори. Выпил две больших чашки кофею и ушел в кабинет. Вечером слышим, грохнуло. Открыли дверь — он на полу, без памяти... — Голос сорвался.

Во всех окнах дома на углу 17-й линии горел свет. Возле больного хлопотал доктор, худенький седой немец.

Анна Евдокимовна прошептала:

— Уже кровь пускали, и шпанские мушки приложили... Послали за самим Аникитой Сергеичем.

— Этого-то зачем! — вырвалось у Дерябина.

Но уже вошел, тяжело скрипя половицами, невысокий, коренастый человек в волчьей шубе, наброшенной поверх ярко-красного мундира, — директор Горного училища Аникита Ярцев. Анна Евдокимовна кинулась к нему. Дерябин сухо поклонился.

— Удар? — Ярцев прищурился, глянув сквозь Андрея. Поискал глазами икону, не нашел и быстро широко перекрестился, отчего шуба свалилась на пол. — Есть надежда?

— Весьма малая. Бывает, раскаленной иглой удается разбудить тело и тем спасти мозг. Стоит ли доставлять страдания? — Доктор ждал, поглядывая на Ярцева.

— Не надо! — вырвалось у Дерябина. — Пусть отойдет без мучений.

Ярцев распорядился:

— Делайте.

Доктор откинул одеяло, прокалил на свече иглу и погрузил в колено. Нога вздрогнула, Александр Матвеевич пошевелил губами, глаза ожили — увидел Андрея. Дерябин наклонился, пытаясь разобрать слова:

— Язык... во рту не помещается. Анюте не оставь. Сохрани просветитель. Чертежи...

— Где?

— Там... — Взгляд снова уплыл в туман.

Ярцев с досады припечатал к столу кулак:

— Сделайте, что можно!

— Велите принести горячий уголь. — Доктор глубоко вздохнул и, решившись, сделал прижигание.

— Прекратите! — Анна Евдокимовна в сердцах оттолкнула щупленького немца.

У Дерябина поплыло в глазах. Вышел во двор. Огромными хлопьями падал снег. Он брал его с крыльца при-



ФАНТАСТИКА

горшнями, растирал лицо, снег тут же таял и стекал слезами. «Нет, стыдно, вернусь...»

Ярцев, насупившись, шумно дыша, сидел верхом на стуле.

— Эх, Сашка! — Вскочил, отбросил стул и, неожиданно зашлявшись, лбом уперся в замерзшее окно.

Тело уже не боролось. Кожа истончилась, пожелтела, дыхание стало короче, и наконец, вздохнув в последний раз, Александр Матвеевич скончался.

В комнате пахло болезнью, и страшная гарь не улетила вовсе, но уже обступила пустота.

— Да упокойся с миром душа его... аминь, — прошептала Анна Евдокимовна.

Доктор, словно в оправдание, произнес:

— В агонии не чувствуют боли. — И, сунув в карман четверо свернутую ассигнацию, ушел.

Ярцев вел возле тела. Никто при нем не смел сказать слова. Через четверть часа молча встал, поклонился вдове и тоже ушел, грузно давя на половицы.

\*\*\*

— Он правда существует? — спросил Беспалов.

Дерябин подал книгу в сафьяновом переплете, с рыхлыми желтоватыми страницами. «Сочинение о драгоценных камнях г-на Брикмана. Рассмотрено обер-бергмейстером Александром Карамышевым»:

— «Господин Карамышев опытом при лекции доказал, что из всякого непрозрачного шпата можно сей удвояющий камень искусством просветителя получить».

— Ты был на той лекции в семьдесят шестом? Видел, как известняк стал прозрачным?

Дерябин кивнул:

— Видел. Правда, с задних рядов. В день похорон нехорошо, а завтра пойдем ко вдове и честью попросим бумаги Александра Матвейча.

Анна Евдокимовна встретила с заплаканными глазами, но с гордо поднятой головой:

— Ты, Андрей, много хорошего сделал, был рядом в непосланных испытаниях. Жалею, что еще с Петрозаводска не любишь и боишься Аникиту Сергеича. Он же благодетель наш. Нынче деньгами ссудил, не побрезговал приехать. Ради такого пустяка мог и человека за себя послать.

— Какого пустяка?

— Да старые записи Александра, что в коробке пылились, себе забрал.

Дерябин бросился в Горное к Ярцеву:

— Аникита Сергеич! Вам известно об опыте просвечивания камней?

Ярцев ел рыбу, сосредоточенно выбирая косточки и не подымая глаз от тарелки.

— Удивляюсь тебе! Сие действие над плотными телами несогласно с физической натурой.

— Я знаю, что прибор был!

— И что делал? — усмехнулся Ярцев.

— Непрозрачное — прозрачным.

— Грунты, коренную породу — всё? На аршин в глубину, на версту? И кто подсветит снизу? Не вижу смысла. Наука строится на умении описать породу. Геогност расколется камень — и без чертовщины его поймет. Как можно в прозрачном увидеть руду?

— Это загадка, потерянное открытие. Вершина несозданного.

— Безбожник Сашка Карамышев — и чудо? Не смеши! Химию он знал твердо, а в бессмертии души сомневался. Принадлежал к тем воспитанникам столетия, что блещут грубым материализмом. А тебе зачем этот просветитель?

Дерябин еле сдержался, чтоб не ответить грубо:

— Искать рудные жилы. В стальной поковке видеть каверны. Если просветить человека, можно усмотреть начало болезни.

— Думай, что говоришь! Образ человеческий хочешь изменить, сделать людей прозрачными? Ну как Шешковскому донесут.

— Спрошу прямо — чертежи сего устройства у вас?

Ярцев поперхнулся костью, закашлялся и покраснел. Замахал на Андрея руками:

— Вон как заговорил! Знать не знаю про чертежи. А с железной рудой поспособствую. Ты подал в Экспедицию горных дел план постройки оружейного завода на реке Иже. Резолюции получены, ждут моей. Пожалуй, соглашусь. И матушка императрица даст указ.

Беспалов ждал Андрея у него дома.

— Жаловаться в Экспедицию бесполезно, жалоба Ярцеву и вернется, — потерянно сказал Дерябин.

— Андрей, ты не болтлив. Знай, что над Ярцевым есть негласное начальство. Оно тоже ищет свой просветитель. Ослушаться Ярцев не посмеет, но тайну откроет лишь тому, кто признает их власть.

— Черт с ними, если ради дела. Что за начальство?

— Ложа «Феникс», — благоговейно произнес Беспалов.

— Масоны? — удивился Дерябин.

— Да.

### Год 1772

Речка Нижний Выг подковой омывает Воицкую гору. В рудной жиле под горой намыли первый в Карелии самородок. Но когда забрались под русло, штрек залило и старатели погибли. Рудник решили закрыть.

Тут главным командиром Олонецких заводов стал Ярцев. В глазах петербургского начальства — средней руки чиновник, а на деле — хозяин дикого края. Власти своей будто не примечал, считая должной. Ловкий и ладный, с медвежьей отметиной на шее, Аникита Сергеевич и внешне не отличался от поморского люда.

Ярцев выписал на рудник Сашу, закадычного друга. В Московской университетской гимназии они держались втроем — Гришка, Сашка, Аникита. Гришу Потемкина отчислили за нехождение в классы, Карамышева послали доучиваться в Упсалу к шведам, а Ярцев нашел себя в горнозаводском деле.

Карамышев заключил, что золото добывалось с неисправностью и неискусством. Через три месяца каторжного труда Воицкий рудник осушили и добыли первый фунт золота.

При Ярцеве был унтер-шихтмейстером, техником то есть, Андрей Дерябин. Самоучка, дерзкий и заводной. Если чего не знал — невежества не стыдясь, жадно спрашивал и охотно брался за всякое дело без страха оплошать. Ярцев ценил расторопность и быстрый ум, но учиться дальше не позволял. Карамышеву Андрей доверился настолько, что ходил за ним повсюду и ловил каждое слово...

Как-то за шумным столом в кабаке Карамышев спросил:

— Хочешь в Питере учиться?

— Хочу. Очень. Мечтаю оружейные фабрики наладить по Уралу, подальше от границ. Ведь если что — останемся без пушек. Два завода всего, Сестрорецкий да Тульский. А по Каме и лесу много, и воды, чтоб на заводах колеса крутить, да и руда — чуть не под ногами лежит, только бери.

— Большие планы... Однако молчи. — Карамышев оглянулся. — Ярцева не переупрямить, а помешать сильно может.

В наклонный лаз ползет мокрая глина. Маркшейдер Карамышев и шихтмейстер Дерябин спускаются в сладковатое тепло главного рудничного хода — квершлага. Янтарем горят лампы. Сквозь влажный воздух, налитанный солью и взвесью руды, просвечивают дальние отводы рудника. Коногон катит вагонетку. Работники вольные, из поморов — бородатые мужики в широких рубахах и портах до колен. На головах самоедские меховые шапки, за поясами длинные ножи.

Тлеет костер, пахнет подгоревшим хлебом. Щипцами что-то тянут из огня. Дерябин перехватывает щипцы:

— Александр Матвеевич, смотрите — цитрин! В тесте запекают мутный кварц, а получается... Горячо, не ожигитесь.

Тесто расчистили острым поморским ножом. Стали видны прожилки, границы масс, пустоты. Карамышев любовался и перекидывал горячий камень в руках, как печеную картошку.

Только вернулись в Петрозаводск — позвали к Ярцеву. В епанче, грязных сапогах и даже не отстегнув пистолеты, Карамышев вошел в контору. Ярцев прохаживался вдоль стола. Остановился против Дерябина и тихо, отчетливо спросил:

— Скажи, Александр Матвейч, верно, что хочешь сего шихтмейстера забрать в Петербург?

Карамышев молчал... Ярцев стал багровым.

— Не вздумай!

— Не быть по-твоему, Аникита...

— Что? — рявкнул Ярцев. — Урядник, двоих сюда, быстро!

Спешно вошли двое солдат. Ярцев указал на Карамышева:

— В штыки его, арестовать!

Александр Матвеевич медленно поднял заряженные пистолеты:

— Первого, кто притронется, — застрелю...

Вытолкнул Андрея на улицу. Взяли на подворье чьих-то оседланных лошадей и ускакали домой. Никто за ними не гнался.

На другой день Карамышев сидел с Ярцевым за одним столом, шутил, чокался горячим вином. Долгое было застолье... В два часа ночи Дерябин услышал стук — мальчишка, посыльный из конторы:

— Андрюха, затаиться тебе велели. Александра Матвейча свели на гауптвахту!

За взведенные на чиновника пистолеты полагалась крепость, следом — лишение дворянства. Каторга. Но об этом Карамышев старался не думать. Резался в дурачки со сторожившим его солдатом. Колода истрепалась, и меткий глаз служивого легко различал карты.

— Ты, братец, жулишь! — догадался Александр.

Тот сознался:

— По явному невидимое примечаю.

Александр отложил карты:

— Верно...

Вспомнил набухший светом сырой воздух олонечкой шахты — и цитрин, преображенный в костре... Хорошо. Если нагреть в вытяжном шкафу стеклянную шихту, добавить фосфор и кобальт — что получится? Светящееся от теплоты стекло. Поместить его перед нагретым минералом. Может, тогда явится внутреннее существо камня, подобно тому, как сидящего за ширмой человека обнаруживает тень от зажженной свечи? Те особенные красные лучи сделают видимой натуру камня!

На клочке бумаги Александр сделал рисунок. Теперь было с чем ехать в Петербург.

Между тем рапорт Ярцева достиг Берг-коллегии, и прислан был ответ — Карамышева отправить в столицу. И вернуть шпагу. Отдельный запечатанный пакет надлежало отдать ему в руки. Александра Матвеевича сразу выпустили из-под стражи.

Ярцев подал шпагу и сургучный пакет:

— Не держи зла. Сдай находящегося при тебе шихтмейстера Дерябина, и счастливого пути.

С равнодушным небрежением Карамышев отвечал:

— Дерябин еще раньше отправлен в Петербург. С планами, — и подмигнул. Отойдя в сторонку, распечатал пакет.

Ярцев сделал распоряжение и присел на завалинку. У дома выставили караул. Сложили вещи. Последней осталось нести постель. В нее и завернули Андрея. Нести пришлось для виду небрежно, и так же швырнули в повозку.

В душевной перине с клопами Дерябин проехал первую вольную версту. За городской заставой, потеряв ушибленную руку, уселся на задах, провожая родную сторону:

— Александр Матвеевич, верно, вы во мне что-то разглядели.

— Вот выучишься в Горном училище — и сам разглядишь.

— В Горном? Разве есть такое?

— Недавно образовано, — протянул присланный пакет. — Так что главные экзамены у нас впереди.

Извозчики и сами объезжали стороной угол 22-й линии и набережной Невы, и пугали седоков. Якобы на задах каменных домов, что недавно выкуплены в казну от графа Шереметева, разверзлись врата самого подземного царства. И только студюозусы во главе с преподавателем минералогии Карамышевым бесстрашно спустились на занятия в примерный рудник, наскоро перекрытый бревенчатым накатом. Жутковато там было, отовсюду сочилась вода, ее несколько раз в день откачивали помпами. Но из стен зато выглядывали диковинные камни — Александр Матвеевич не пожалел для учебного рудника часть собственной коллекции минералов. Не о просветителе он пока думал, а о просвещении.

### Год 1775

Старинный приятель, владевший большим домом на Миллионной, позвал Карамышева в гости. Вопреки ожиданию в карты играть не усадил, а поделился радостью:

— В январе женюсь. Правда, невеста старше на десять лет, да разве молодая за кривого пойдет?

— Рад душевно, Гриша! Приданое-то есть? — простодушно спросил Карамышев.

— Вотчина большая, но хлопотная, а приказчики — одно жулье. Да других негде взять.

— Зачем же женишься?

— Как зачем? — удивился Потемкин. — По любви! А к тебе, Саша, у меня приватная просьба. Получишь моим именем деньги и поезжай в Первопрестольную. Снимешь там дом, а после занимайся своими делами, пока не позову. Берг-коллегию известим, что ты послан искать допетровское цветное стекло для моего завода.

— Будут тебе на свадьбу хрустальные цветы.

— Только б не разбить... Ну, с Богом. — Князь ручищами своими сгреб Александра в охапку и на прощанье трижды, по обычаю, поцеловал.

Карамышев сторговал в Москве, в начале Хлебной улицы, оранжевый купеческий домик на вековом каменном подвале, с полукруглым окошком в мезонине. Подправил, обставил и стал ждать. А чтоб времени даром не терять, делал белые чертежи просветителя — один для себя, второй Потемкину, который эту забавную штуку обещал купить в казну.

По чистому сахарному снегу прикатила под вечер карета шестериком на скрипучих полозьях — в пять зеркальных окошек, с двумя форейторами «на унос». Александр сам опустил ступеньку, подал руку даме в приталенной шубе и меховой венгерской шапке с кистями.

— Поторопитес, Марья Саввишна, — по-русски чисто, но на немецкий лад суховато, сказала дама спутнице. — Нечего мешкать, не май месяц.

На другой день поехали в церквушку с покосившейся колоколенкой — на пригорке, где сходятся Большая и Малая Никитские. Священнику за молчание дали триста рублей, дьячка припугнули бесплатно. Когда обряд закончился, Потемкин пообещал выстроить тут «большую церкву с колоннами».

Перед отъездом князь лениво проглядел чертежи и запечатал своим гербом. Потом подал Карамышеву, тоже под сургучом, бумагу о венчании:

— Мне у себя хранить нельзя, скоро с турком воевать поеду. Держи, из рук не выпускай. За эту грамоту кое-кто дорого бы дал. Пока не улягутся слухи, живи в Москве. Раньше лета в Петербурге не появляйся! — Хлопнул Александра по плечу, и зеркальная в пять окошек карета помчалась по Тверскому тракту.

Остался Карамышев в редкостном положении — с карманами, полными денег, и совершенно один... Впрочем, скоро нашлись знакомства. Дом Трубецких у Покровских ворот по странной архитектуре прослыл комодом. А по дому и семейство называли Трубецкие-комод. В доме составила картежная компания, в которую удивительно легко приняла Карамышева.

За ломберным столом, кроме Никиты Трубецкого, сживали князь Гагарин, архитектуры гезель Баженов и арендатор университетской типографии Николай Новиков.

Одного не знал Александр — что вся компания также называлась ложей «Гармония» и водила дела, за которые не поздоровилось бы в столице, где на масонов постепенно открывались гонения.

В домике на Хлебной кто-то побывал. Соседский лакей Савва почтительно остановил Александра и показал, где вынимали зимнюю раму. Что искали, Карамышев знал, кто — догадался.

От дома-комода веяло веселой опасностью. Однажды проигрался Александр до нитки. Час был поздний. Трубецкой держал банк, друг против друга сидели Карамышев и Василий Баженов.

Баженов сказал:

— Этот дом — презабавный, недаром зовется «комод». Всюду тайные пружины, секретные кнопки. От Воскресенья в Барашах сюда идет подземный ход. Ходят слухи, что в той церкви когда-то венчаны морганатическим браком царица Елисавета и князь Разумовский. Вам это о чем-нибудь говорит?

— Что вы от меня хотите? — Карамышев решил тянуть время.

— Возможно, при вас бумага от генерал-аншефа Потемкина.

— Что с того? Я ученый, у меня много бумаг.

— Видно, плохо ученый, раз коснулись династических тайн. Вы знаете, я человек честный — за столом не передергиваю, за спиной не перешепываю. Отдайте бумагу. Князю скажете, что на вас напали и грамоту пришлось уничтожить.

— Зачем она вам?

— Сия брачная запись в руках цесаревича Павла окажет большое влияние на его мать.

— На всемирнолюбившую государыню императрицу.

Баженов покачал головой:

— Нет, уже просто на мать. Возвысившись, Павел станет защитой масонскому братству. Многие из нас уже познали опалу.

— А если я встану и уйду?

Баженов зашептал:

— Скажу единственно по доверию — один из офицеров ложи назначен проводить вас до дома. Донесете ли свою ношу — зависит от него, сохраните при этом здоровье и саму жизнь — неведомо. Велик соблазн легким путем обезопасить себя от страха перед будущим.

— Это вы, на словах верующие, называете грех убийства в подворотне «легким путем»?

— Доверьтесь судьбе!

— Хорошо. Сыграем! Вот мой куш. — Александр вынул пакет с печатью светлейшего.

Баженов с Трубецким согласились. Карамышеву всю партию шли козыри, но он искусно поддался:

— Отдаю бумагу — с условием, что сломаете печати не раньше, чем выйду за порог. Иначе тут же сожгу пакет на свече. При мне дворянская шапага, и я за себя постою.

Баженов кивнул. Перед самой дверью Карамышев отдал засургученный конверт. Дом стоял на изломе Покровки, на выгодном для обзора пригорке. В обе стороны улица была пуста. Александр свернул во дворы. За полосатой будкой по крутой деревянной лестнице поднялся на гребень стены Белого города. Дом-комод отсюда как на ладони. Темные фигуры суетливо выскочили со двора и побежали в разные стороны. Александр усмехнулся и, пригибаясь, пошел прочь.

Спустился в Архангельском переулке, на задах Меншиковых палат, и пошел к Мясницкой. Каждую ночь отсюда в Петербург гнали гурты скота. Хозяин обоза протянул крестьянский тулуп и мохнатую шапку:

— Залазь, мил человек, с ногами на телегу, а то будошник по сапогам барина признает.

Миновали Золотую и Житную решетки, показалась Тверская застава. Карамышев поблагодарил спасителей и направился в знакомый трактир. Там переночевал, а утром нанял ямщика и на сдаточных за неделю добрался до Петербурга.

Потемкина в городе не было. Не медля, Карамышев отвез запечатанный пакет его любимой племяннице Санечке, Александре Энгельгардт.

— А что же вы отдали злодеям?

— Собственные чертежи.

## Год 1776

Начальником над механическими мастерскими Академии был «дикийнанный рукотворец» с окладистой бородой — посадский из Нижнего Новгорода Иван Петров Кулибин.

— Можешь ты, Иван Петрович, сделать по чертежу прибор, просветляющий камни? — спросил Карамышев.

— Были б чертежи верны и заказчик не ершист. А то знаешь — чужие руки легки, да не по сердцу.

— Я не из таких. Но много не заплачу.

— Сговоримся, загад не бывает богат. За беспролетный мост казна выдала две тысячи рублей. Если твоя штука интересная, сделаю как для себя, бесплатно. Все ведь под случаем ходим. А что везет с сильными — так авось от всея души светлейший князь Григорий и сама матушка ко мне отнесли, а не по корысти моей. Языком я ведь боле шершав, чем гладок, — по здоровью не гожусь в лизоблюды. Что ж, не придется ко двору — уеду в свой Нижний, не клятый — не мятый, часы чинить да лапу сосать.

Кулибин не обманул, в две недели окончил работу. И вот — аудиториум заполнен студентами в алых мундирах с белоснежными воротниками. На почетном месте директор училища Соймонов. За кафедрой — преподаватель. Се-

ребряные эполеты, вензель Екатерины, на лакированной португее медная бляха со значками горных принадлежностей. Кортик в костяных ножнах. Да еще шляпа. Треуголка с пышным шелковым бантом и золотыми кистями.

— Нынешнее занятие будет практическим. — Карамышев подошел к необычного вида устройству с прозрачной передней стенкой, за которой был виден зажатый в тисках обломок известняка. Внутри клубился пар, наружу вырывался едкий запах. Карамышев повернул призму, и на камень упал расколотый луч света. Там, где исчезал красный цвет, загадочная теплота на секунду сделала камень почти прозрачным. Невидимый луч, делающий скрытое явным. Студенты ахнули, а Соймонов произнес:

— Господь являет нам величие Свое!

Карамышев покачал головой:

— Вернее сказать, природа являет возможности, скрытые доселе от ума людского. Для науки нет незримых преград. По силе и особенности такого свечения отныне можно будет судить о свойствах твердых тел. Станет явным подземельное богатство. И простое знание о земле — геогнезия станет наукой открытия земли — геологией.

Карамышев убрал призму, и известняк сразу стал прежним, непрозрачным.

Через несколько дней просветитель опустили в примерный рудник, чтоб каждый студент мог видеть его действие. Солнечный свет заменила свеча. Карамышев ходил в приподнятом настроении, строил радужные планы на будущее. Соймонов обещал помочь.

Два месяца продлились обещания, а потом Соймонов перестал приезжать к должности. Через Берг-коллегию стало известно, что по расстроенному здоровью он выходит в отставку и уезжает в заграничное путешествие. Следом пришла вторая весть — в Петербург переведен Ярцев. По новой должности своей секретаря Гражданской палаты он назначен проверить работу Горного училища — «уж слишком вольно они там живут». Встретив его, Карамышев не чинясь, как равному, протянул руку. Ярцев холодно кивнул.

В скором времени от Аникиты приехал невзрачный асессор, вызвал Карамышева к себе и потребовал отчета:

— Был у вас с директором Соймоновым сговор о похищении казенных средств?

— В жизни не брал чужого!

— Ежели по доброй воле не сознаетесь, ночевать вам в каземате.

Карамышев не поддался и под присягой подтвердил, что денег не брал. Асессор уехал.

Вечером Александр пил чай — и вдруг чашка выскользнула из рук. Голова закружилась, затошнило. Через минуту потерял сознание.

Очнувшись, увидел — врач закатывает ему рукав. Нож полоснул по вене. Черную кровь выбрасывало толчками. Рану пекло, и боль доказывала, что он пока жив.

Провалился три недели. А в это время по-другому пошли дела в Горном. Примерный рудник затопило — Ярцев посчитал, что нечего тратить деньги на «баловство». Воду откачали, но Карамышеву с тех пор Горное училище стало словно чужим. Просветитель, бывший в затопленном руднике, рассыпался на части.

На это же время пришлась размолвка покровителя Александра, князя Потемкина, с императрицей. Ко всеобщему изумлению, светлейший попросил дозволения удалиться в южное наместничество, якобы для поправления здоровья. В случай при дворе вошел Завадовский.

Карамышев всегда имел склонность к карточной игре. Теперь же все меньше времени уделял он службе и все больше

заводил картежных знакомств. В недолгом времени сделалось дома общество, и пошла игра. Дни и ночи просиживали. Бывали и драки. Ворота запирали, и если присылали от начальства, то велели сказывать, что болен и не принимает.

Приданое жены в два года было прожито на карты. Вещи в ту же дорогу пошли. Часто бывало, что и за квартиру нечем заплатить.

Дерябин, став студентом, не оставлял Карамышева в нуждах. Он знал места, где собирались игроки. Когда случалось, что присылали из Берг-коллегии или Горного, Дерябин брал верховую лошадь, сыскивал Карамышева и привозил в должность. Прежде всем обязанный Александру Матвеевичу, Андрей ныне умолял его не губить себя:

— Вы можете скоро потерять честь, здоровье, даже и жизнь! Мне стыдно говорить, но неужто вы не знаете, что у Анны Евдокимовны нет уж имения, которым можно содержать себя и дом? Ведь оно вами продано! Вы сегодня выиграли, я знаю, так отдайте хоть на содержание дома.

Карамышев молча подал кошелек.

### Год 1779

Блестяще окончив Горное училище, Андрей Дерябин получил назначение на Нерчинские заводы. Но вскоре был послан за границу для обозрения английских, немецких и французских рудников. В поездке Андрей собрал богатую коллекцию минералов. Много лет спустя, как и его учитель, Дерябин пожертвовал свое собрание в минералогический кабинет Горного корпуса — так стало называться бывшее училище.

Летом 1779 года в Берг-коллегии освободилось место действительного члена. Карамышев надеялся его занять. Обнадежил и Потемкин, снова постепенно входивший в силу, наездами бывавший в Петербурге. Но неожиданно победила другая протекция. Фаворитом в то время был Корсаков. Ярцев сумел через знакомых добиться его расположения и вошел в Берг-коллегию вместо Карамышева.

Через любимую племянницу Потемкина, камер-фрейлину Александру Энгельгардт, Карамышев подал письмо императрице:

«Я человек брошенный, и свет на меня смотрит, как на прослужившегося. После многолетней службы обойден я младшими, передо мной затворены двери и не доходят милости, Государыней сделанные. Жизнь моя зависит от успеха по службе, но новые открытия наделали только неприятностей. Обещаны орден, дом — где они? Земля, что дана по докладу, у генерал-прокурора находящемуся, оставлена до окончания земляного строения. Пробирной палаты не дали, а дом под нее уступлен под казармы. Все сии милости, однако, мне сделаны, и число завистников умножилось».

Нынче, зная, что открылась вакансия в иркутский банк директором, как милости Вашей, прошу определить меня к сей должности».

### Вместо эпилога

На десять долгих лет разошлись пути Дерябина и его учителя. Когда в 1789 году Карамышев вернулся в Петербург, Андрей спросил, нет ли у него желания возобновить прежние опыты и восстановить просветитель. Спросил — и пожалел, увидев погасшие глаза некогда блестящего ученого, члена-корреспондента Петербургской и Стокгольмской академий наук.

Последние два года жизни Александр Матвеевич занимал рутинную должность и только несколько коротких заметок напечатал в «Новых ежемесячных сочинениях». Однажды, изрядно выпив, он рассказал Андрею историю своего бегства из Москвы и того, как чертежи просветителя попали к масонам. Потом из Первопрестольной долетали странные слухи. Будто масонов собирались арестовывать в доме-



### ФАНТАСТИКА

комоде, однако на глазах полицмейстера стены якобы растаяли, и «бунтовщики» разбежались, вызвав суеверный ужас городских. Карамышев невесело рассмеялся.

В отличие от Карамышева, Андрей Федорович Дерябин добился в жизни всего, чего хотел. На Ижевском заводе в Вятской губернии была им построена оружейная фабрика. Вокруг вырос город. Когда пришлось его покинуть, Дерябин забрал с собой мальчишку, оставшегося сиротой, — Пашку Аносова, и определил учиться в Горный корпус. Того Аносова, что через тридцать лет раскроет секрет булатной стали.

Все эти годы Дерябин не забывал о загадке потерянного открытия. И хотя среди масонов он достиг высокого градуса посвящения, трудно сказать — верил инженер-географ тому, что говорилось на заседаниях ложи, или думал о чем-то своем. Что касается чертежей просветителя, то попытки узнать их судьбу остались тщетными. Все указывало на то, что Ярцев уничтожил бумаги, полученные от вдовы Карамышева.

В 1817 году случилась с Андреем Федоровичем беда. Он входил в ближний круг Сперанского — наставника и друга императора Александра I. Оба, Дерябин и его покровитель, были мастерами ложи «Полярная звезда». Когда Сперанский оказался в опале, ложу запретили по указанию Аракчеева. В России заслуги ничто, а фавор — все. Дерябин был разжалован и оказался в добровольном изгнании в захолустном местечке Гомель Могилевской губернии. Последние годы он тяжело болел и был почти полностью разорен. Если бы не друг и дальний родич — граф Румянцев, — пришлось бы совсем туго. В его родовой усадьбе Дерябин и прожил последние годы, там и скончался.

Незадолго до смерти навестил его гость из столицы. После условного рукопожатия брат-масон рассказал, что по приказанию высшего начальства привез предмет, больше сорока лет принадлежавший разным ложам. А началось все с ложи «Гармония», где мастером стула был князь Гагарин. Как сказал визитер, «сей предмет употреблялся при занятиях, дабы являть невидимое в зеркале просветленной души».

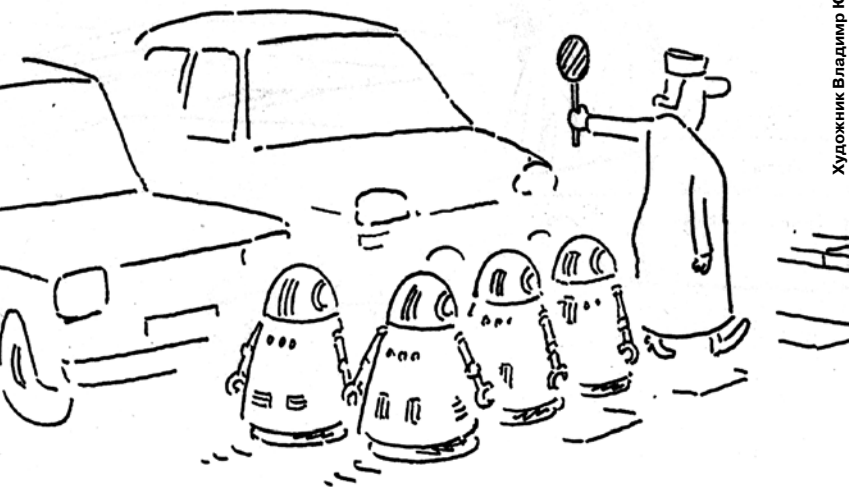
Сладко заныло сердце. Дерябин представил, что в окованном медью дорожном сундуке хранится таинственный просветитель его учителя Александра Карамышева, тот, который он безуспешно искал всю жизнь.

Но стоило ли теперь открывать этот ящик Пандоры? Несмотря на все свалившиеся на него напасти, Дерябин не чувствовал себя обиженным. То, что удалось сделать, в его глазах стоило и опалы, и этих последних жалких лет в глуши. Что важнее — упорство или гений? Случайная удача или тяжкий труд? Он не знал ответа. Но часто размышлял, глядя на запоздавшую посылку, так и оставшуюся неоткрытой.

Сундук этот Дерябин завещал отвезти в Ижевский завод и замуровать в подвалах главного заводского корпуса, что под башней с курантами. Но исполнили его волю или нет, он уже не узнал.

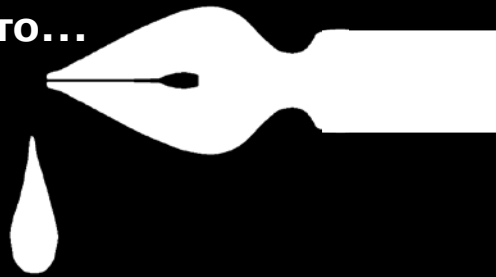
В 1820 году Андрей Федорович Дерябин скончался.





Художник Владимир Юранек

Пишут, что...



## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

### Автомораль

Первые жертвы автомобилей появились практически сразу после того, как самобеглые повозки выползли на дороги. Теперь же на подходе роботы-автомобили, то есть уже не человеческий, а электронный разум будет управлять средством повышенной опасности, как обозначены автомобили в правилах дорожного движения. Но пока еще есть время подумать о проблемах безопасности. Конечно, инженеры предлагают разнообразные технические решения, снижающие вероятность аварии — роботов оснащают радаром, датчиками, системами связи между собой и с элементами дорожной инфраструктуры. Но вот о философскую сторону вопроса никто не рассматривает.

Задуматься о моральных ограничениях для транспортных роботов призывает Томас Пауэрс, который возглавляет Центр науки, этики и публичной политики Делавэрского университета (агентство «News-Wise», 22 февраля 2017 года). В самом деле, разум, управляющий средством повышенной опасности, постоянно должен принимать решения, и неверный выбор может привести к смерти. Более того, в критической ситуации, когда авария неизбежна, ему придется оценивать риск для разных людей, возможно, выбирать между ними. У человека в основе подобного выбора лежат соображения морали (скажем, к машине со значком «Ребенок в салоне» будет особое отношение). А каким «моральным компасом» должен пользоваться робот?

В принципе, мораль роботов и вытекающая из нее психология этих механизмов подробно разобрана Айзеком Азимовым и базируется на хорошо известных законах роботехники:

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред.
2. Робот должен повиноваться всем приказам, которые дает человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому Закону.
3. Робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому или Второму Закону.

Нарушение этих законов, как следует из многочисленных литературных произведений, начиная с легенд про Голема, неизбежно ведет к серьезным неприятностям. Поэтому стоит уже сейчас задуматься об их воплощении в микросхемах. А законодатели могли бы перевести эту философскую проблему на язык юриспруденции, чтобы правила взаимодействия роботов и человека с самого начала были понятны и прозрачны как для разработчика, так и для пользователя.

С.Анофелес

...на карликовой планете Церере в астероидном поясе есть органическое вещество, и оно, по-видимому, не занесено извне, а образовалось на месте («Science», 2017, 355, 6326, 719–722, doi: 10.1126/science.aaj2305)...

...расшифрован геном *Chenopodium quinoa* — растения семейства амарантовых, произрастающего в Андах; киноа, одна из главных пищевых культур цивилизации инков, считается перспективным сельскохозяйственным растением («Nature», 2017, 542, 7641, 307–312, doi: 10.1038/nature21370)...

...существуют проекты создания атласов органов и опухолей человека, описывающих местоположение и характеристики каждой клетки («Nature», 2017, 542, 7642, 404–405, doi: 10.1038/nature.2017.21508)...

...использование мезенхимальных стволовых клеток — безопасный и весьма эффективный метод лечения дегенерации межпозвоночных дисков («Вестник Российской академии медицинских наук», 2016, 71, 5, 359–366)...

...наиболее сильное загрязнение атмосферы над озером Байкал вызвано переносами диоксидов серы и азота от крупных угольных ТЭЦ Иркутска, Ангарска, Улан-Удэ и Гусиноозерска; особенно мощные переносы происходят в ночное время («Оптика атмосферы и океана», 2017, 30, 1, 60–65)...

...большую часть I тысячелетия н. э. христианство было преимущественно афро-азиатской религией, почти все II тысячелетие — европейской и североамериканской; начало III тысячелетия н. э. станет вторым периодом расцвета африканского христианства («Известия РАН. Серия географическая», 2016, 6, 26–34)...

...исследование московских первоклассников с остротой зрения, предварительно определенной как высокая, показало, что только 5,1% из них имеют нормальное бинокулярное зрение, у 25,7% умеренные нарушения, у 67,9% — сильные плюс умеренные («Физиология человека», 2017, 43, 1, 5–10)...

...несмотря на низкий средний многолетний уровень заболеваний, связанных с питанием, в 2010–2014 годы по сравнению с 1995–1997 годами в Воронеже и области, с 2011 года отмечен их значительный рост — у взрослых на 11,8%, подростков на 47% («Гигиена и санитария», 2016, 95, 11, 1086–1091)...

...из 118 медработников со стажем 6–25 лет 36% страдают синдромом вегетативной дис-

функции, 7% жалуются на наличие психофизических, социально-патологических и поведенческих симптомов, у 53% гиподинамия, еще у 53% — оправдание приема седативных и психотропных средств («Медицина труда и промышленная экология», 2016, 12, 10—14)...

...с помощью оптогенетических технологий в мозгу мышей сформировали тета-волны, аналогичные тем, что наблюдаются у человека во время и после медитации, и убедились, что у мышей уменьшается тревожность («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2017, doi: 10.1073/pnas.1700756114)...

...судаки с низким содержанием стронция в отолитах — «камешках» в органах равновесия — в течение всей жизни не покидают реку, те же, у кого содержание стронция повышено, выходят в Северный Каспий, зачастую на пару лет («Биология внутренних вод», 2016, 4, 45—53)...

...рыба *Anomalops katoptron* использует свой биолюминесцентный орган для подсветки, чтобы находить добычу — планктон («PLOS ONE», 2017, 12, 2, e0170489, doi: 10.1371/journal.pone.0170489)...

...исследования защитной окраски, спасающей жертву от хищника, как правило, подразумевают, что жертва неподвижна; следует уделить больше внимания тому, как животное может быть незаметным при быстром движении («Biology Letters», 2017, 13, 2, 20160831, doi: 10.1098/rsbl.2016.0831)...

...фибрилляция желудочков сердца — типичный пример десинхронизации сопряженных ритмических процессов, для их ресинхронизации применяется электрошок; аналогичным образом вызванный лунно-солнечными приливами подземный сейсмический шум может появляться и исчезать из-за шоковых воздействий, в частности землетрясений («Доклады Академии наук», 2017, 472, 3, 337—340)...

...частичное блокирование акустического канала связи при ухаживании у *Drosophila virilis* увеличивает продолжительность практически всех элементов брачного ритуала и заметно снижает долю успешных копуляций («Известия РАН. Серия биологическая», 2016, 6, 645—650)...

...представители некоторых видов стрекоз принимают ровный, хорошо освещенный асфальт за поверхность водоема, что заканчивается плачевно, когда они пикируют и пытаются коснуться его поверхности («Экология», 2016, 5, 382—389)...

Художник Клаудио Муньос



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Свечение жизни

Трапписты — монахи из ордена цистерцианцев, которые живут по особо строгому уставу, включающему обет безмолвия. А еще они славятся пивом «Вестмалле», которое варят в своих бельгийских монастырях. Впрочем, к звездной системе Траппист-1 монахи никакого отношения не имеют — планетную систему у этого красного карлика в мае 2016 года открыли с помощью телескопа «Траппист» Европейской южной обсерватории. А его название — сокращение от TRANSiting Planets and Planetesimals Small Telescope, «Малый телескоп для изучения транзитных планет и планетозималей». Знаменитой эта система стала после экстренной пресс-конференции НАСА 22 февраля 2017 года: на ней было объявлено, что из семи планет вокруг Трапписта-1 целых три — каменные и находятся в зоне жизни, то есть там, где возможно существование жидкой воды. Строго говоря, это не первое открытие такого типа — планету в зоне жизни нашли у ближайшего к нам красного карлика, Проксимы Центавра.

Межзвездные перелеты нереальны, пока кто-нибудь не откроет гиперпространственный переход. Но подглядеть за жизнью на этих планетах все-таки удастся. Вот как рассуждают Джек О'Малли-Джеймс и Лиза Кальтенеггер из Института Карла Сагана при Иллинойском университете (агентство «NewsWise», 22 февраля 2017 года). Если красный карлик активен, то на нем бывают вспышки, по несколько раз каждые земные сутки. Например, на Проксиме Центавра — раз в 10—30 часов. При этом поток ультрафиолета резко возрастает и в максимуме десятикратно превышает тот, что сейчас падает на Землю. От ультрафиолета приходится защищаться — закапываться в почву или нырять под воду. Но вот на Земле кораллы придумали другой способ защиты себя и симбиотических водорослей — они ловят кванты ультрафиолета специальными белками и потом переизлучают излишек энергии в виде света с большей длиной волны. Аналогичным образом действует и знаменитый зеленый флюоресцентный белок медузы.

Так вот, исследователи построили модели планет с разными атмосферами, разной облачностью, создали на них океаны, заселили их растениями и флюоресцирующими существами. Оказалось, что интенсивность биофлюоресценции в моменты вспышек гораздо больше, чем интенсивность света, отраженного растениями, а минералы дают совсем другую картину флюоресценции. И это можно увидеть! Теперь дело за орбитальным телескопом Уэбба, который начнет наблюдения экзопланет в 2018 году. Впрочем, с имеющимися телескопами можно потренироваться на Марсе — на него также падает мощное ультрафиолетовое излучение, а поискать на нем флюоресцирующую жизнь никто пока не догадался.

А. Мотыляев

# Как сотворить супермена

— Как ее назвать? Я лично предпочел бы что-нибудь классическое, со значением. Это... это больше подходит научному открытию. Придает, знаете ли, такое старомодное достоинство. И мне подумалось... Не знаю, может быть, вам это покажется смешно и нелепо... Но ведь иной раз и пофантазировать не грех... Не назвать ли ее Гераклеофорбия? Пища будущих геркулесов? Быть может, и в самом деле...

Г. Дж. Уэллс. Пища богов



С.Н.ТУРОВУ, Санкт-Петербург: *Нитрид титана на нержавеющей сталь наносится не гальванотехническими методами, а вакуумным напылением.*

А.А.НИКИТИНУ, Владивосток: *Искусственный литевой мрамор делается из отверждаемой полиэфирной смолы и минерального наполнителя — мраморной крошки, кварцевого песка и т. п.*

Л.В.МУРЗИНОЙ, Казань: *Олеин — техническая олеиновая кислота, содержащая до нескольких десятков процентов других жирных кислот, пальмовый олеин, о котором сильно беспокоятся интернет-специалисты по диетологии, — фракция пальмового масла, богатая олеиновой кислотой.*

Виталию СОЛДАТОВУ, электронная почта: *К сожалению, нам не удалось узнать, принимают ли где-нибудь у нас в стране на утилизацию литий-ионные батарейки.*

И.В.МУХАНОВУ, Черноголовка: *Рис басмати и рис жасмин — не одно и то же, это разные сорта, хотя оба они длиннозерновые, а вот основной компонент аромата у них общий — 2-ацетил-1-пирролин.*

Е.Л.НЕКРАСОВОЙ, Москва: *Улучшитель муки панифарин содержит глютен, или клейковину, он делает тесто более эластичным; особенно рекомендуется для гречневой или ржаной муки.*

М.Р.ПЕТРОВОЙ, Омск: *Кондиционер и ополаскиватель для белья вряд ли принципиально различаются по основному компоненту, то и другое — катионные поверхностно-активные вещества, которые осаждаются на ткани, смягчают ее и создают антистатический эффект.*

ВСЕМ ЧИТАТЕЛЯМ: *Если ответ от редакции на ваше письмо либо очередной номер журнала в электронной версии долго не приходит, не стесняйтесь задать нам вопрос; а еще лучше внесите домен hij.ru в число дружеских в спам-фильтре вашего почтового ящика.*

Распространенная в фантастике идея — возможность изменения каких-либо свойств человека с помощью химических средств. Одним из первых подобные идеи использовал Герберт Джордж Уэллс. В романе «Человек-невидимка» (1897) изобретатель Гриффин, создавший машину, которая меняла коэффициент преломления бесцветных тканей человеческого организма, дополнил свое открытие созданием снадобья, которое обесцвечивало красные кровяные тельца, что и позволило ему сделать невидимым все тело. А в «Пище богов» (1903) мистер Бенсингтон и профессор Редвуд создали субстанцию, которая существенно ускоряла рост растений и животных. Начали они свои опыты на цыплятах, а продолжили на детях и породили новую расу людей-гигантов.

Александр Беляев в романе «Человек, потерявший лицо» (1929; позднее, в 1940 году, автор переработал его в роман «Человек, нашедший свое лицо») рассказывает о необычных возможностях, которых достиг эндокринолог Сорокин (во втором романе доктор Цорн), создавший препараты гормонов желез внутренней секреции. При помощи этих препаратов он смог изменять формы и рост взрослых людей, излечивать от ожирения, менять цвет кожи. Уродов он превращал в красавцев, но препараты могли производить и обратные перемены.

В романе «Борьба в эфире» (1928) Александр Беляев описал препарат, снимающий усталость. Современная фармакология предлагает на выбор множество универсальных витаминно-минеральных комплексов против хронической усталости, в перечне показаний для препаратов кофеина почетное место занимают повышение работоспособности и устранение сонливости. Но реальные таблетки пока уступают, к примеру, спорамину, описанному Иваном Ефремовым в «Туманности Андромеды» (1957), который позволяет несколько суток обходиться без сна. Позже братья Стругацкие «позаимствовали» спорамины у Ефремова и активно использовали его в нескольких своих произведениях. Как говорил Борис Стругацкий в интервью «Готово будущее мне...»: «...спорамины — это не наша выдумка. Мы с Аркадием Натановичем позаимствовали его у Ивана Антоновича Ефремова. То было время (конец 50-х — начало 60-х), когда мы носились с идеей создать общий для всех советских фантастов Мир Светлого Будущего. Чтобы там использовались одни и те же элементы антуража, одна и та же терминология...» А препарат омега-стимул, разработанный профессором Сазоновым в рассказе С.Алегина «Человек, который не спал» (1974), не только позволяет обходиться без сна, но и дает возможность работать за двоих: «При этом мозг как бы делится на две части, каждая из которых действует самостоятельно». Гарик из рассказа, например, одновременно читал книгу по математике и писал статью по химической технологии.

Главный герой романа шведской писательницы Карин Бойе «Каллокаин» (1940, рус. 1971), Лео Калль, проживающий в Четвертом Городе Химиков некоей тоталитарной Мировой Империи, сотрудник экспериментального отдела лаборатории по изучению органических ядов и наркотических средств, делает важное открытие — синтезирует препарат, позднее названный его именем, который действует как сыворотка правды. Человек, которому вводят в кровь каллокаин, начинает правдиво отвечать на вопросы. На самом деле это не совсем фантастика, подобные препараты существуют и постоянно совершенствуются. Однако роман интересен тем, что демонстрирует парадоксальное противоречие. С одной стороны, каллокаин служит для поиска инакомыслящих, выявления несогласных с режимом. Но сам тоталитарный режим основан на лжи и сокрытии правды и держится в первую очередь на отсутствии гласности, на боязни граждан делиться «опасными мыслями». А препарат уничтожает этот страх, заставляет их говорить то, что они думают, даже под угрозой смерти. Именно об этом говорит под воздействием каллокаина бывший инспектор главного героя: «Я здесь, чтобы сказать правду. Можете ли вы слушать правду? Люди не настолько искренни, чтобы выслушать правду, это очень грустно. А ведь правда могла бы стать тем мостом, что связывает человека с человеком, но только пока она добровольна, пока дается и принимается как дар. Разве не удивительно, что все на свете, даже правда, теряет свою ценность, как только становится



ХИМИКИ И ЛИРИКИ

принужденным? Нет, вы, конечно, не замечали этого, потому что тогда вам пришлось бы понять и то, что вы нищие, ограбленные, что у вас отнято все, — а кто же потерпит такое? Кто захочет созерцать собственное убожество добровольно, без принуждения?» Так в беспроблемности врывається просвет.

Весьма заманчиво с помощью химических препаратов улучшить способности человека. В рассказе Севера Гансовского «Пробуждение» (впервые опубликован в «Химии и жизни» в № 11 и 12 за 1969 год) скучный Федя Пряничников, заведующий отделом антирелигиозной пропаганды в журнале «Знание и жизнь», по ошибке вместо таблетки поливитаминов проглотил пилюлю, которую принес в редакцию посетитель вместе с работой о некоторых опытах по сну и бодрствованию. Посетителя Федя выпроводил, тетрадку с его статьей выбросил в корзину для мусора. Но через некоторое время пилюля начала действовать и преобразила всю жизнь Феда. За две недели он «оформил четыре патентные заявки в Госкомитет по изобретениям, сделал три живописные картины, около сорока рисунков и линогравюру. Он дал два фортепианных концерта в Малом зале консерватории, написал восемь статей, сценарий для мультфильма, текст для номера с удавом в цирке и помирил подавших на развод соседей по лестничной площадке. Он начал писать роман, доказывать теорему Ферма, учить жену английскому, выкапывать во дворе бассейн». А потом действие таблетки стало заканчиваться. Федя попытался сам приготовить нужное средство, и это ему почти удалось, но тут все вернулось на круги своя, и он снова стал скучным, брюзгливым человеком, которого ничто не интересует... В 2001 году ирландский писатель Алан Глинн написал роман «Области тьмы» (экранизирован под тем же названием), сюжет его подобен сюжету рассказа Гансовского.

В ряде произведений были созданы вещества, воздействующие на человека не самым приятным образом. Например, в рассказе В. Соснова «Препарат ЗЭТ» (1955) этот препарат вызывает желание убивать, разрушать и вообще вести разрушительную деятельность. А в рассказе Юрия Самсонова «Эликсир Бреддисона» (1967) был

создан порошок, вызывающий ссоры. Право, нам кажется, что ссор, убийств и прочих гадостей в этом мире хватает и без специальных препаратов.

Юлия Иванова в «Последнем эксперименте» (1973) описывает мир, в которых с помощью некоего соединения под названием «трод» уничтожены все чувства людей. Но можно ли назвать таких существ людьми? «Земля спокойных, земля живых мертвецов» — так назвал этот мир человек, который сумел создать альфазин, вещество, нейтрализующее трод. Удастся ли его попытка взорвать этот искусственный рай, сделать бесчувственных жителей снова людьми?

Среди множества локально действующих препаратов весьма приятно смотреться пилюли «Престиссимо» из повести Фрица Лейбера «Серебряные яйцеглавы» (1958), которые многократно повышают скорость чтения; это не помешало бы в реальной жизни.

Еще интереснее было бы создать такой газ, как в повести Геннадия Прашкевича и Алексея Гребенникова «Дети работаровца» (2015). «Эманация высшего блаженства, материализованная благодать» не просто полностью преобразует человека и заставляет его всю оставшуюся жизнь любить всех людей. Мало того. Достаточно «зараженному» обнять и поцеловать пусть даже самого недоброго человека, и тот перерождается, и его поцелуй, в свою очередь, питают благодатью всех других. А любопытно было бы пожить в таком мире!

Как видим, большая часть примеров относится к началу — середине XX века. Позднее эта тема пошла на убыль — химия с физикой потеряли новизну для писателей, людей с суперспособностями начали создавать с помощью генетики или компьютерных технологий. Волшебные таблетки остались как антуражный аксессуар, но центральной темой произведения они уже не становятся.

**Владимир Борисов,  
Александр Лукашин**

# ХИМИЯ И ЖИЗНЬ

пополняемый архив с января 1965 по текущий месяц



Центр  
«НаукаПресс»

**СИБУР**

Техподдержка и подписка на обновления:  
[info@hib.ru](mailto:info@hib.ru), [www.hib.ru](http://www.hib.ru)

Долгожданный, уникальный, удобный!  
Аналогов нет! Мы опять первые!

Вы покупаете архив, устанавливаете на свой компьютер,  
и он автоматически обновляется каждый месяц.  
Все самое интересное легко найти и в старых, и в новых номерах.

Цена 1300 р. без учета скидок. Чтобы получить скидку при покупке  
архива, пришлите до 1 мая 2017 года заявку с кодовым словом  
АРХИВ17 на адрес редакции: [redaktor@hib.ru](mailto:redaktor@hib.ru) .

