



**ХИМИЯ И ЖИЗНЬ**

**9** /2016







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

**НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:**

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

**Редакторы и обозреватели**

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

Подписано в печать 23.06.2016

**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 —  
«Ад» из «Роскошного часослова герцога Беррийского». Почему дьявол как будто выбрасывает грешников из ада? Может быть, его пасть — аллегория кротовой норы? Подробности в рубрике «Мемуары Игнобеля».*

*Коли сам неуч,  
нечего хвалиться предками.*

*Китайская пословица*

# Содержание

<b>Проблемы и методы науки</b>			
ТАЙНЫ ОБЛАКОВ. В.С.Махмутов, Е.Н.Мочалова, Ю.И.Стожков .....			2
<b>Элемент №...</b>			
СВИНЕЦ: ФАКТЫ И ФАКТИКИ. А.Мотыляев .....			8
<b>Математюры</b>			
МУЗЫКА ДНК. С.Рубина .....			13
<b>Хемоскоп</b>			
БАКТЕРИИ ДЕЛАЮТ НАНОСЕРЕБРО. ЗОЛОТО ПРИДАСТ ТИТАНУ ТВЕРДОСТИ. СУПЕРАТОМЫ ОБЪЕДИНЯЮТСЯ В МЕГАМОЛЕКУЛЫ. А.И.Курамшин .....			14
<b>Здоровье</b>			
МЫШЦЫ ВНУТРЕННЕЙ СЕКРЕЦИИ. Н.Л.Резник .....			16
<b>Проблемы и методы науки</b>			
ОКСИТОЦИН ДЛЯ ЖЕНЩИН И МУЖЧИН. Н.Л.Резник .....			20
<b>Расследование</b>			
НАНОЧАСТИЦЫ И МОЗГ. Е.Н.Петрицкая, В.А.Дёмин .....			23
<b>Общество</b>			
У ИСТОКОВ СЧАСТЬЯ. П.М.Козырева, А.И.Смирнов .....			26
<b>Мемуары Игнобеля</b>			
ЖИЗНЬ В ЧЕРНОЙ ДЫРЕ. С.М.Комаров.....			30
<b>Лики Земли</b>			
КИСЛОРОДНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И ЗЕМЛЯ-СНЕЖОК. С.А.Ястребов.....			33
<b>Мысли о будущем</b>			
ЖИЗНЬ В СТЕКЛЯННОЙ БАНКЕ. Виктор Вагнер.....			38
<b>Дневник наблюдений</b>			
ДИКОЙ ПРИРОДЕ — ДИКУЮ ТВАРЬ. Н.Анина .....			40
<b>Размышления</b>			
АМИСТАТИВНОСТЬ — ИНЕРЦИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ. Д.А.Жуков .....			42
<b>Земля и ее обитатели</b>			
ЗАГАДОЧНЫЕ БАБОЧКИ. Л.В.Каабак .....			46
<b>Страницы истории</b>			
ДЖОН ДАЛЬТОН И РЕВОЛЮЦИЯ В ХИМИИ. С.В.Багоцкий.....			50
<b>Нанофантастика</b>			
ЭЛЕКТРИЧКА НА ПИРОГОВО. Татьяна Левченко .....			53
<b>Что мы пьем</b>			
ХМЕЛЬ. Н.Ручкина. ....			54
<b>Фантастика</b>			
ХУНТУРУК. Владимир Аникин .....			56
<b>В погоне за точностью</b>			
САГА О ПОГРЕШНОСТЯХ. Л.Намер .....			64
В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	6	КНИГИ	61
ИНФОРМАЦИЯ	22, 60	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
		ПИШУТ, ЧТО...	62



# Тайны облаков

Доктор  
физико-математических наук

**В.С.Махмутов,**  
**Е.Н.Мочалова,**

доктор  
физико-математических наук

**Ю.И.Стожков,**  
Физический институт  
им. П.Н. Лебедева РАН, Московский  
физико-технический институт

## Откуда они берутся

Наверное, каждый человек хоть раз в жизни любовался небом, его цветом, меняющимся в течение дня, причудливыми формами и плавным движением облаков. Но облака нужны нам не только для поэтичных пейзажей — они влияют на баланс между энергией, поступающей на Землю от Солнца, и энергией, рассеивающейся обратно в околоземное пространство. Чем больше и плотнее облачный покров, тем меньше энергии проходит от Солнца в атмосферу и на поверхность Земли.

Облака играют важную роль в формировании климата и в то же время являются фактором неопределенности в существующих теоретических и численных моделях. Это особо подчеркнуто в последних докладах Межправитель-

ственной комиссии по изменению климата («Intergovernmental Panel on Climate Change», IPCC 2013, 2015). Главная причина — сложность формирования глобального облачного покрова. Как образуются облака, почему иногда из них вырастают тучи, какова природа атмосферного электричества вообще и молний в частности? Все эти вопросы стоят перед человечеством уже многие века, однако найти ответы и построить единую, непротиворечивую модель пока не удается.

Считается, что примерно половина облачности, то есть самих водяных капель, зарождается на центрах конденсации, которые образуются непосредственно в атмосфере, внутри будущего облака. Этот процесс называется нуклеацией, и состоит он в следующем. Сначала какие-то из молекул, которые

имеются в воздушной среде, объединяются в комплексы, из них формируются мельчайшие частицы — аэрозоли. Затем аэрозоли трансформируются в центры конденсации, на них начинают расти водяные капли — будущая основа облаков. Другая половина облачных капель не требует нуклеации, а образуется на готовых аэрозолях, которые поднимаются в атмосферу с поверхности земли, морей и океанов. Эти аэрозоли включают в себя пылинки, частички соли (высохшие брызги), частицы, которые попадают в атмосферу в результате лесных пожаров, извержений вулканов и т. д.

Аэрозоли и сами по себе играют важную роль в энергетическом балансе атмосферы Земли. С одной стороны, они тоже рассеивают и поглощают солнечную радиацию (так называемый прямой эффект от аэрозолей в земной атмосфере). С другой стороны, аэрозоли участвуют, как упоминалось выше, в образовании центров конденсации, на которых образуются водяные капли. Чем выше концентрация аэрозолей в атмосфере, тем больше центров образования капель, больше время жизни облаков и, как следствие, больше солнечного света отражается от атмосферы. Таким образом, увеличение концентрации аэрозолей в атмосфере может привести к понижению температуры на Земле.

1

*Экспериментальная установка международного проекта CLOUD в ЦЕРНе. В центре рабочая камера, внутри которой создаются необходимые «атмосферные» условия, вокруг нее различные научно-исследовательские приборы*



Увеличение облачного покрова усиливает также парниковый эффект. Суть его в том, что часть энергии, которую излучает Земля в инфракрасном (тепловом) диапазоне, поглощается в атмосфере и не может выйти в околоземное пространство. Рассеяние солнечного тепла и удержание тепла Земли частично компенсируют друг друга.

В 1912 году австрийский физик Виктор Гесс открыл космические лучи — потоки заряженных частиц (протоны, альфа-частицы, электроны и другие) в земной атмосфере, приходящие к нам из Галактики. За свое открытие он получил Нобелевскую премию по физике в 1936 году. Космические лучи определяют уровень ионизации всей земной атмосферы, они — основной генератор ионов на высотах от 3—5 км до 50—70 км. На меньших высотах помимо космических лучей существенный вклад в ионизацию вносит естественная радиоактивность земной поверхности. Но какова роль ионов, а значит, и космических лучей в формировании облаков? Ответ на этот вопрос до сих пор не найден.

Процессы образования облаков в земной атмосфере очень сложны, их физико-химическая природа полностью не изучена. Международное сообщество ученых пришло к выводу, что необходим комплексный подход к решению данной проблемы как с точки зрения экспериментальных исследований, так и с точки зрения теории и моделирования. В 2009 году в Швейцарии, в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН), начались исследовательские работы в рамках международного эксперимента CLOUD (Cosmics Leaving OUtdoor Droplets). Одна из главных задач данного проекта — комплексное изучение нуклеации, а также влияния на нее различных факторов (химического состава, аэрозолей, ионов и пр.).

## Генератор облаков

Кратко рассмотрим установку, которую начали строить в ЦЕРНе в 2006 году. Ее ядро — стальная цилиндрическая камера диаметром 3 м и высотой почти 3,7 м. В камере можно создавать различные физико-химические условия, подобные тем, которые существуют в реальной земной атмосфере на разных высотах, а также поддерживать необходимые температуру, давление, концентрации азота, кислорода, озона, водяных паров и других веществ. Установка позволяет изучать влияние естественного ионизирующего фона космических лучей на процесс нуклеации. Для измерения этого фона сотрудники Физического института им. П.Н.Лебедева создали детектор, который с высокой точностью



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

регистрирует поток галактических космических лучей в экспериментальном зале. Чтобы оценить влияние дополнительной ионизации, в камеру подают поток заряженных частиц от ускорителя. Его пространственно-временные характеристики измеряются с помощью другого прецизионного детектора, созданного нашими же специалистами, — сцинтилляционного годоскопа.

Внутри камеры есть электроды, способные создавать электрическое поле напряженностью до 30 кВ/м и быстро удалять ионы из рабочего объема. Тем самым открывается возможность исследовать особенности нуклеации на нейтральных частицах.

Система ультрафиолетовых излучателей создает внутри камеры необходимую концентрацию паров серной кислоты — они присутствуют в земной атмосфере, и, как оказалось, это один из важных компонентов, определяющих процесс нуклеации. Пары серной кислоты получают фотолитическим окислением диоксида серы под действием ультрафиолета в присутствии озона и паров воды. Уровень излучения, а соответственно и концентрация паров  $H_2SO_4$  контролируются специальными датчиками и измерительной системой.

Комплекс высокоточных научных приборов позволяет измерять ионный, химический, аэрозольный состав среды в камере CLOUD. Например, спектрометр NAIS (Neutral cluster and Air Ion Spectrometer) измеряет концентрацию нейтральных и заряженных аэрозольных частиц величиной до нанометра ( $10^{-9}$  м) и выдает информацию об их распределении по размерам. Химический состав кластеров изучается с помощью трех масс-спектрометров.

Параметры среды внутри камеры измеряются и поддерживаются на необходимом уровне с высокой точностью и в широких пределах, что позволяет исследовать процесс нуклеации детально, с момента образования ионов до появления водяных капель. Отметим уникальность проекта CLOUD — это первое комплексное экспериментально-теоретическое исследование атмосферного процесса нуклеации, начиная с молекулярного уровня.



## Космические лучи увеличивают облачность

Первые эксперименты на установке CLOUD были посвящены изучению двухкомпонентной (вода, серная кислота) и трехкомпонентной (вода, серная кислота, аммиак) нуклеаций. Источники аэрозолей серной кислоты в атмосфере — выбросы отходов химической и металлургической промышленности. Кроме того, эти аэрозоли образуются в атмосфере при реакции водяного пара и вулканического выброса, содержаще-

го серу. Краткая схема экспериментов приведена на рис. 2. Временной интервал А соответствует чистым условиям, когда в камере отсутствуют пары серной кислоты: УФ-излучатели выключены, ионов нет — их убирает очищающее электрическое поле. Нуклеация в камере при этом не наблюдается. Далее, на участке Б включаются УФ-излучатели и образуются молекулы серной кислоты. При этом ионы по-прежнему отсутствуют, что позволяет наблюдать слабую нейтральную нуклеацию в присутствии только  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Затем электрическое

поле выключается, и космические лучи, проникающие в камеру, создают естественную ионизацию молекул воздушной смеси. Начинается ионно-индуцированная нуклеация (интервал В). Скорость данного процесса существенно увеличивает дополнительная ионизация, вызванная потоком частиц от ускорителя (интервал Г). Температуру стабилизировала с точностью до  $0,01^\circ\text{C}$  специальная система с несколькими десятками термодатчиков, способная работать в диапазоне от  $-70^\circ\text{C}$  до  $+40^\circ\text{C}$ ; в данном случае было  $+5^\circ\text{C}$ .

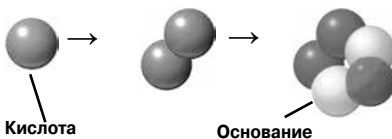
## Присмотримся к кластерам

Химический состав кластеров изучают с помощью трех масс-спектрометров APiTOF (Atmospheric Pressure Interface Time of Flight Mass Spectrometer). Два из них регистрируют положительные и отрицательные ионы в камере, третий оснащен химическим источником ионизации — он превращает нейтральные частицы в ионы и позволяет их регистрировать.

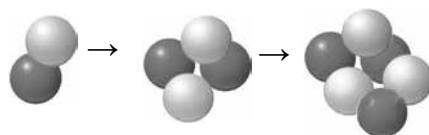
Отрицательно заряженные кластеры включали в себя ионы  $\text{HSO}_4^-$  и  $\text{HSO}_5^-$ , также были обнаружены малые концентрации  $\text{NO}_3^-$ . Положительно заряженные кластеры содержали ионы протонированного диметиламина  $\text{DMA}\cdot\text{H}^+$  и протонированные легкие органические примеси, как правило, азотсодержащие. Кластеры образовывались путем последовательного присоединения кислот (серная кислота) и оснований (аммиак и диметиламин).

Здесь и далее  $n$  — количество молекул серной кислоты,  $m$  — диметиламина, а состав кластера записывается как  $(n, m)$ . Нуклеация отрицательно заряженных частиц происходит следующим образом.

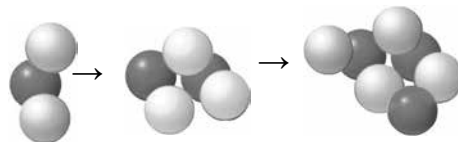
На первой стадии образуется димер  $(2, 0)$   $\text{HSO}_4^- \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$  (вместо  $\text{HSO}_4^-$  может быть также  $\text{HSO}_5^-$ ), где ион  $\text{HSO}_4^-$  — донор электронной пары. Далее каждая молекула кислоты стабилизируется молекулой диметиламина, следуя по цепочке кислотно-основных пар:  $(3, 2) \rightarrow (4, 3) \rightarrow (5, 4) \rightarrow (n, m = n-1)$ .



Нейтральная нуклеация протекает по тому же механизму, что и ионно-индуцированная: начальное образование кислотно-основной пары ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{DMA}$ ), эквивалентной  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{HSO}_4^-$  в отрицательно заряженных кластерах, последующее присоединение дополнительных пар  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{DMA}$ :  $(1, 1) \rightarrow (2, 2) \rightarrow (3, 3) \rightarrow (n, m = n)$ .



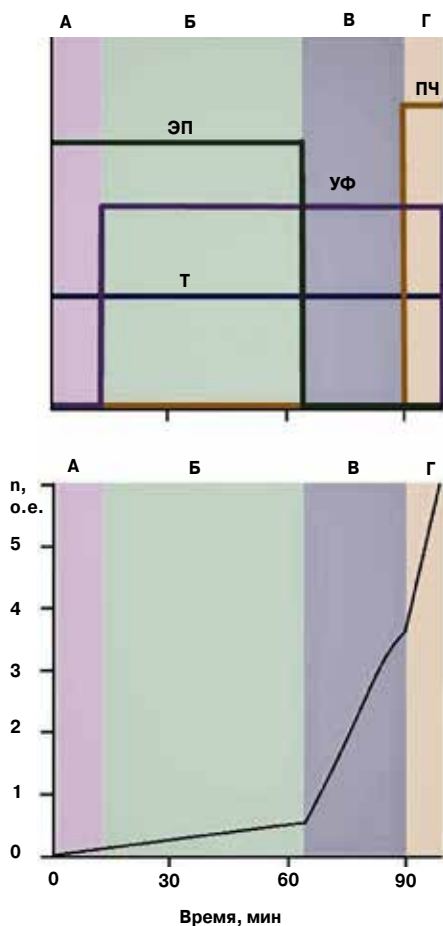
Нуклеация положительно заряженных частиц начинается с образования димера  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{DMA}\cdot\text{H}^+$ , в котором ион  $\text{DMA}\cdot\text{H}^+$  выступает акцептором электронной пары. Далее кластеры образуются последовательными присоединениями кислот и оснований по цепочке  $(1, 2) \rightarrow (2, 3) \rightarrow (3, 4) \rightarrow (n, m = n+1)$ . Мономеры  $\text{DMA}\cdot\text{H}^+$  в эксперименте не наблюдались, так как их отношение массы к заряду вне диапазона чувствительности измерительных приборов.



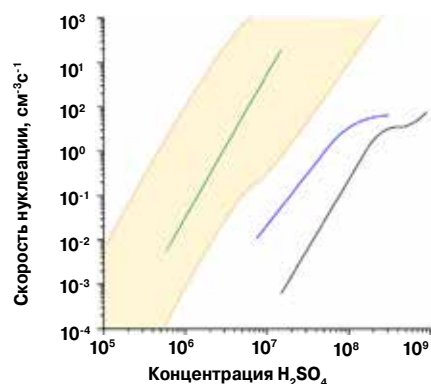
После формирования кластеров, содержащих три молекулы серной кислоты, нуклеация продолжается с постоянной скоростью, независимо от заряда. Темпы роста, вероятно, ограничиваются скоростью поступления серной кислоты в камеру или частотой столкновений частиц.



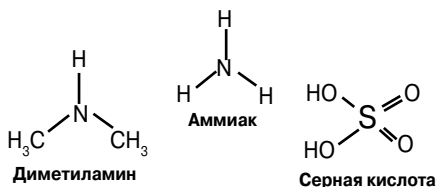
## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ



2  
Вверху временная динамика условий внутри рабочей камеры установки CLOUD: пучок частиц от ускорителя (ПЧ), ультрафиолетовое излучение (УФ), электрическое поле (ЭП) и температура (Т). Внизу: изменение скорости нуклеации частиц размером 1,7 нм (концентрация  $n$  в относительных единицах — о. е.)



3  
Графики зависимости скорости нуклеации от концентрации серной кислоты; параметры для кривых — в тексте. Только в присутствии диметиламина (левая кривая) экспериментальные данные совпадают с наблюдаемыми в природе скоростями (закрашенная область)



Мы видим, что ионы существенно влияют на образование центров нуклеации. Присутствие ионов ускоряет нуклеацию частиц с размером 1–5 нм в десятки раз. Однако полученные скорости оказались значительно ниже наблюдаемых в природе. Поэтому начался поиск химических соединений, которые имеются в атмосфере и могут заметно влиять на этот процесс. Один из важных результатов эксперимента связан с обнаружением заметного вклада диметиламина ( $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ ).

## Диметиламин в атмосфере

Диметиламин (ДМА) — бесцветный пахучий газ, производное аммиака, но в его молекуле вместо двух атомов водорода присутствуют две метильные группы  $\text{CH}_3$ . Источник диметиламина в атмосфере — многочисленные природные белковые вещества.

На рис. 3 показано, как скорость нуклеации частиц размером 1,7 нм зависит от концентрации серной кислоты при различных условиях. Все эти эксперименты проходили в присутствии галактических космических лучей, то есть когда есть ионы в камере.

Правая кривая — данные, полученные при наличии воды, серной кислоты и аммиака (2 pptv  $\text{NH}_3$ , соответственно 2 молекулы аммиака на триллион ( $10^{12}$ ) молекул воздуха). Средняя кривая — скорости нуклеации при тех же условиях, но с более высокой концентрацией аммиака (кривая соответствует усредненному значению в диапазоне изменения концентрации 3—250 pptv). В обоих случаях наличествовал и диметиламин, но лишь менее 0,1 pptv.

Левая кривая — скорости нуклеации в газовой среде, содержащей водяной пар, серную кислоту и диметиламин (5–13 pptv); концентрация аммиака — 10 pptv. Закрашенная область на графике — реальные скорости нуклеации, наблюдаемые в земной атмосфере.

Таким образом, впервые экспериментально установлено, что диметиламин в очень малых концентрациях ускоряет нуклеацию более чем в 1000 раз по сравнению с аммиаком. Молекулярный анализ показал, что высокие скорости нуклеации объясняются высокой стабильностью кластеров серной кислоты и диметиламина. Эти результаты подтверждаются теоретическими расчетами, основанными на квантово-химических вычислениях энергий связи кластеров.

## Имеем на данный момент

Итак, эксперимент дал возможность изучить процесс образования облаков и сделать несколько важных выводов. На данном этапе опытным путем иссле-

дованы образование и рост кластеров молекул и впервые установлено, что скорость нуклеации возрастает с увеличением концентрации паров серной кислоты и аммиака, которые служат центрами конденсации. Присутствие же ионов, образуемых космическими лучами, увеличивает скорость нуклеации в десятки раз по сравнению с нуклеацией на нейтральных частицах. Особенно этот эффект был значимым в доиндустриальную эпоху, когда нуклеация происходила только под действием природных процессов. В настоящее время он затушевывается воздействием антропогенных факторов — выбросами больших количеств серной кислоты, углекислого газа и др.

В эксперименте CLOUD получен очень важный результат: даже незначительные добавки диметиламина увеличивают скорость нуклеации на два-три порядка, что соответствует значениям, наблюдаемым в реальной атмосфере. В современной промышленности все шире используют водные растворы аминов (моноэтаноламин, дигликольамин и др.) — в частности, на нефтегазовых предприятиях для абсорбции попутных газов (например,  $\text{CO}_2$ ). Поэтому нужен повсеместный мониторинг содержания аминов в земной атмосфере. Эксперименты, о которых мы рассказали, позволяют определить, какие параметры наиболее важны для процессов нуклеации, а значит, и для надежного прогноза глобальных изменений климата.

## Литература

- Kirkby J., et al. Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation. «Nature», 2011, 476, 7361, 429–433.
- В.С. Махмутов, Ю.И. Стожков. Международный эксперимент CLOUD: частицы и облака. «Природа», 2012, 12, 27–33.
- Almeida J., et al. Molecular understanding of sulphuric acid-amine particle nucleation in the atmosphere. «Nature», 2013, 502, 7471, 359–363.
- Kürten A., et al. Neutral molecular cluster formation of sulfuric acid-dimethylamine observed in real time under atmospheric conditions. «Proceedings of National Academy of Sciences of USA», 2014, 111, 42, 15019–15024.
- Riccobono F., et al. Oxidation products of biogenic emissions contribute to nucleation of atmospheric particles. «Science», 2014, 344, 6185, 717–721.

**Холодная конверсия***Преобразование внутри молекулы водорода сильно зависит от температуры.*

«Physical Review Letters», 2016, 116, 253201; doi: 10.1103/PhysRevLett.116.253201

Молекула водорода из двух атомов может быть в двух состояниях — орто и пара, что предсказали еще Гейзенберг и Хунд. В первом случае спины обоих протонов направлены одинаково, а во втором — в противоположных направлениях. Специалист по спиновой химии назовет эти состояния синглетным и триплетным и отметит, что есть химические реакции, которые с водородом в одном состоянии идут, а в другом — запрещены. А последствия могут быть вселенского масштаба — синтез органических веществ в космосе начинается именно с реакции молекулы водорода, и космохимикам нужно знать, сколько имеется в наличии синглетного водорода и сколько триплетного. При нормальных условиях 75% водорода пребывают в ортосостоянии, а 25% — в парасостоянии. Однако при низкой температуре (менее 20 К) весь ортоводород переходит в параводород. Превращение дает столько тепла, что если от ортоводорода заранее не избавиться, проведя конверсию на металлическом катализаторе, то при сжижении добрая половина газа, нагревшись, улетит прочь. В космосе же такая конверсия происходит на ледяной частице — именно она забирает возникающее при перевероте тепло.

Детали конверсии изучали японские исследователи из университета Хоккайдо во главе с профессором Ватанабе Наоки. Они создали установку, которая позволяет измерять соотношение количеств орто- и параводорода при низких температурах. Оказалось, что нагрев всего на семь градусов, с 9 К до 16 К, в десять раз меняет скорость конверсии. Теперь создателям теории эволюции молекул придется существенно пересмотреть свои взгляды и постараться выяснить, какова была точная температура ледяных частиц межзвездного пространства в разные эпохи эволюции Вселенной.

**Загадка вакцины***Вакцина от гриппа снижает риск инсульта у диабетиков, но увеличивает у сердечников.*

«Canadian Medical Association Journal», 25 июля 2016 года; doi: 10.1503/cmaj.151059

Казалось бы, грипп слабо связан с инсультом или инфарктом: каждый знает, что если перенести простуду на ногах, то можно получить неприятное осложнение, а если выполнять требования врача — вряд ли. Однако современная медицинская статистика позволяет искать совсем неочевидные связи между событиями. Так, исследователи из лондонского Королевского колледжа под руководством доктора Эстер Вамо работали с британской статистикой за 2003—2010 годы и выбрали среди пациентов тех, кто страдает диабетом 2-го типа. Таких пациентов в базе оказалось более 123 тысяч. Анализ данных показал, что ежегодное вакцинирование от гриппа снизило для них риски инфаркта и инсульта — на 22 и 30% случаев соответственно. Более того, и смертность среди них была на 24% меньше. От гриппа же защита работала хуже — число обращений в поликлинику по поводу гриппа и воспаления легких сократилось на 15%.

Что же, значит, надо прививаться от гриппа, чтобы защититься от инсульта или инфаркта? Тут есть подводный камень, замеченный теми же исследователями: чудодейственный эффект вакцина оказывает лишь на диабетиков. А у сердечников вакцина, наоборот, увеличивает риски. Ответа на вопрос, почему так получается, у медиков нет.

**Или рыба, или хлеб...***Европейский лосось еще в Средневековье пострадал от водяных мельниц.*

Агентство «AlphaGalileo», 19 июля 2016 года.

Обычно в исчезновении такой важной северной рыбы, как лосось, винят промышленность, которая загрязнила хрустально-чистые воды горных рек и речушек. На втором месте людская жадность: рост населения и страсть к полноценному питанию заставили выловить всю рыбу, и вот теперь мы вынуждены есть форель и семгу из садка. Оказывается, причина иная. Ее установили голландские ихтиоархеологи из Рэдбудского университета во главе с Робом Лендерсом, изучавшие архивные записи северо-запада Европы с XIII века и далее. Это были и данные о запасах рыбы, и разрешения на вылов, и цены на рыбных аукционах, и многое другое.

По документам выходило, что за семьсот лет вылов лосося никогда не рос, а только сокращался. Что же мешало размножаться лососю задолго до изобретения паровой машины и капиталистической индустриализации? Исследователи установили, что это были водяные мельницы: их начали строить по всей Европе примерно в 1000 году н. э.

Не нужно думать, что лосось погибал в водяных колесах. Эта рыба прекрасно прыгает и умеет преодолевать преграды. Но мельница требовала запруды, а выше по течению возникло водохранилище, необходимая лососю для нереста галька покрывалась слоем ила и песка. Отсюда следует рекомендация современным специалистам, исправляющим старые ошибки: мало убрать из реки загрязнители и промышленные объекты, нужно еще восстановить галечное русло, очистив его от наносов.

**Искусственный лист на основе вольфрама***Дешевый катализатор поможет создавать углеводороды из солнечного света и воздуха без помощи растений.*

Агентство «NewsWise», 25 июля 2016 года.

Один из способов борьбы с парниковым углекислым газом — превратить его в углеводород, то есть в топливо. Сделать это может устройство, называемое искусственным листом (по аналогии с обычным зеленым листом, который превращает CO<sub>2</sub> в углеводы с помощью фотосинтеза). Такое устройство сделали химики Иллинойского университета под руководством Амина Салехи-Ходжина при финансовой поддержке Минэнерго и Национального научного фонда США.

Как и в природном фотосинтезе, источником энергии служит солнечный свет. Эту энергию с помощью катализатора используют для восстановления углерода, и получается синтез-газ: смесь водорода и угарного газа. Его можно либо сжигать, либо отправлять в производство углеводородов. До сих пор эффективность таких листьев оставляла желать лучшего, к тому же их катализаторы из благородных металлов. Салехи-Ходжин решил использовать нанолитки диселенида вольфрама. Это вещество прекрасно восстанавливает углекислый газ, но быстро отравляется продуктами восстановления. Защиту удалось найти — ею послужила ионная жидкость, этил-метил-имидазол тетрафлуроборат, смешанный с водой в пропорции 1:1. Ячейку с жидкостью и катализатором приделали к катоду кремниевой солнечной батареи, к аноду — ячейку с электролитом из оксида кобальта в фосфате калия. Под действием солнечного света, который улавливает кремниевая батарея, на аноде формируются кислород и ион водорода, последний поступает в катодную ячейку, восстанавливает углерод, и в ней выделяются пузырьки водорода и угарного газа. Такой искусственный лист в тысячу раз производительнее и в двадцать раз дешевле, чем сделанный с катализатором из благородных металлов. Впрочем, до конкурентоспособной цены топлива, получаемого таким листом, еще очень далеко — очевидно, поэтому исследователи планируют предложить свой способ марсианским колонистам, у которых не будет никакого альтернативного источника углеводородов.

**Считая  
неандертальцев***Другой вид рода  
Homo вымер на  
пике могущества.*Агенство  
«AlphaGalileo»,  
21 июля 2016 года.

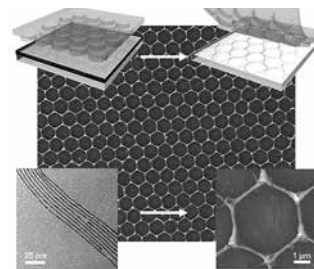
**Н**еандертальцы долго господствовали в Европе — с 100-го по 43-е тысячелетие нашей эры. Соответственно найдено немало артефактов и остатков поселений. Датировка находок позволяет выяснить, как менялась их численность. Этим и занялся профессор Юрген Рихтер из Совместного исследовательского центра № 806 – Наша дорога в Европу. В работе принимали участие его коллеги из университетов Кельна, Бонна и Аахена.

За пятьсот веков неандертальцы пережили несколько взлетов и падений. Порой цветущий поселок оказывался заброшенным, чтобы через много лет снова обрести былую славу. Однако самого высокого уровня развития германские неандертальцы достигли в 43-м тысячелетии до н. э. Так, в период 110—70 тыс. лет до н. э. на территории нынешней Германии находилось всего четыре неандертальских поселения, а в 60—43 тыс. лет до н. э. их насчитали девяносто четыре! Но вот прошла всего тысяча лет, и неандертальцы начали очень быстро исчезать. Что изменилось для них столь стремительно — об этом ученые продолжают спорить.

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

**Золото на листе***Нанопроволочки  
дадут прозрачную  
электросхему.*«Nano Letters», 2016,  
16 (5), pp 2921—  
2929; doi: 10.1021/  
acs.nanolett.5b04319

**П**розрачная электроника сегодня распространена широко — в солнечных батареях, во всевозможных интерактивных дисплеях. Все это жесткие объекты, а в недалеком будущем начнется столь же массовое производство гибких. Как добиться, чтобы электросхема не сломалась, скажем, от складывания электронного газетного листа? Надо ее напечатать гибкими чернилами. Понятно, что такие чернила должны содержать металлическую взвесь для обеспечения проводимости, но способы реализации могут быть разными. Например, исследователи из Института новых материалов имени Лейбница во главе с Тобиасом Краусом решили применить печать золотыми нановолокнами. Такие чернила наносят на субстрат и затем печатают нужный узор с помощью штампа: волокна переплетаются друг с другом, а последующий плазменный нагрев сплавляет места их пересечений, образуя единую проводящую сеть. Сделав соответствующий штамп, можно напечатать как микро-, так и нанозор, способный проводить электрический ток. Человеческий глаз этот узор не распознает, а свет пройдет сквозь него свободно. Расход золота при такой технологии совсем невелик, но для широкого применения нужно подобрать менее дорогой металл.



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

**Электронная  
подпись ДНК***Создано устрой-  
ство, которое мо-  
жет сортировать  
единичные мо-  
лекулы ДНК в за-  
висимости от их  
строения.*«Nature Methods», 25  
июля 2016 года; doi:  
10.1038/nmeth.3930

**Т**радиционные манипуляции с ДНК проходили в жидкой среде: копирование молекул, разделение смеси молекул по длине с помощью электрофореза, секвенирование. Потом появилось то, что называют «методы нового поколения», они позволяют работать с единичными молекулами, и готовить растворы уже не требуется.

Проходя через нанопористую электропроводящую мембрану, молекула ДНК порождает флуктуации электротока. Их назвали «скуиглс», что можно перевести как «каляки» — кажущиеся случайными линии на графике изменения тока с течением времени. Однако они не случайны: каждой последовательности нуклеотидов соответствуют свои скуиглы. Еще недавно это явление было некой экзотикой, предметом рассуждений теоретиков, а вот теперь специалисты компании «Oxford Nanopore Technologies» воплотили его в реальное портативное устройство для «сухого» секвенирования под названием MinION. Уже создано программное обеспечение для чтения последовательности, а само устройство слетало на МКС, где проверили его работоспособность в условиях микрогравитации.

Исследователи из Ноттингемского университета во главе с доктором Мэтью Лузом создали библиотеку подписей, в которой представлено множество интересных для исследователя участков ДНК, — это позволяет распознавать молекулу быстрее, чем она проходит сквозь пору. Исверясь с библиотекой, молекулы ДНК можно сортировать, отбраковывать, прекращать секвенирование, после того как искомая последовательность нуклеотидов обнаружена — например, подтверждено присутствие болезнетворного микроба в пробе. Доктор Луз надеется, что метод найдет разнообразные приложения, в том числе будет использоваться для точного чтения участков человеческого генома, интересующих врача или ученого.

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

**Топливо из  
травы***Фотокатализатор  
поможет превра-  
тить траву в водо-  
род.*«Proceedings of the  
Royal Society A»  
2016, 472, 20160054;  
doi: 10.1098/  
rspa.2016.0054

**К**азалось бы, кизяк, то есть кирпич из резаной соломы с навозом, никак не может считаться символом научно-технического прогресса, ведь человечество топил им печи с незапамятных времен. Но в полном соответствии с гегелевской диалектикой, а именно законом отрицания отрицания, компоненты кизяка — сначала солома, а если дело заладится, то и отходы жизнедеятельности млекопитающих — могут оказаться источником топлива для сверхсовременной водородной энергетики. В самом деле, биополимеры богаты водородом, и отчего бы не попытаться взять у них этот элемент?

Исследователи из Кардиффского университета под руководством профессора Майкла Боукера сделали первый шаг в этом направлении — провели опыты по фоторазложению целлюлозы. Свет настольной лампы сначала направляли на банку, где были целлюлоза и катализатор — диоксид титана, известный своей фотокаталитической активностью, с добавками никеля, золота или палладия. Свет возбуждал диоксид титана, а металл направлял его энергию на отрыв атома водорода. Результаты удовлетворили исследователей, которые особо отметили, что относительно дешевый никель вполне справляется с задачей. На второй стадии в банку засыпали обрезки газонной травы. И эта система оказалась вполне работоспособной: трава на свету давала водород. «Изучением прямого фотолиза органики мало кто занимается. Наши опыты, которые продемонстрировали, что для получения водорода не нужно предварительно очищать целлюлозу, внушают оптимизм, ведь такой способ получения водорода оказывается весьма простым», — отмечает профессор Боукер.

# Свинец: факты и фактики

А. Мотыляев

**Откуда берется свинец?** Главным образом из минерала галенита, где он содержится в виде сульфида свинца. Свинцу зачастую сопутствует цинк в виде своего сульфида — сфалерита, поэтому, как правило, эти металлы получают совместно, перерабатывая полиметаллическую руду на свинцово-цинковых комбинатах. В этих же рудах встречается ценнейшая добавка — серебро. Считается, что именно в ходе извлечения этого драгоценного металла возникла металлургия свинца. Получать как свинец, так и серебро из свинцовой руды относительно просто: нужно просто держать эту руду в огне. Если держать недолго, то сульфид свинца станет окисляться, а затем оксид при реакции с оставшимся сульфидом восстановится, и получится чистый свинец в виде жидкого металла, поскольку обжиг проводят при  $800^{\circ}\text{C}$ , а температура плавления свинца —  $327^{\circ}\text{C}$ . Если же размолотый галенит засыпать в тигель из костной золы или молотых ракушек и долго греть, то весь свинец не только окислится, но и впитается в пористые стенки тигля, а на дне его останется благородное серебро. Этот прием называется купеляция. Из костей или раковин тигель делают потому, что с карбонатами кальция и магния оксид свинца не реагирует, а вот с диоксидом кремния — основной глины — дает вязкие силикаты, и фокус с впитыванием в поры не удастся. Получаемый таким способом оксид свинца называли литаргом («каменное серебро» в переводе с греческого), а по-русски — глетом; литаргические спеки часто находят в древних металлургических центрах. Аналогично из свинца можно получать и золото, если оно содержится в свинцовом минерале. Более того, поскольку благородные металлы неплохо растворяются в свинце, с его помощью удастся извлекать эти элементы из уже обедненной руды. При этом на килограмм серебра требуется триста килограммов свинца.

**Зачем нужны оксид и карбонат свинца?** С древних времен их использовали как основу пигментов для красок. Сам по себе глет был основой желтой краски,



Древнейший свинцовый объект, найденный в Средиземноморье, сделан в 5 тысячелетии до н.э.

пока не появился ярко-желтый свинцовый крон —  $\text{PbCrO}_4$ . А самой светлой желтой краской была неаполитанская желтая — соединение с сурьмой  $\text{Pb}(\text{SbO}_2)_2\text{PbO}$ . Эти масляные краски используют главным образом в живописи, они весьма ядовитые. Гораздо более знамениты две другие краски. Первая — свинцовые белила на основе карбоната свинца. С древности их применяли как для побелки, так и для изготовления косметики, и лишь в XIX веке им на смену пришли цинковые белила. Вряд ли свинцовые белила были полезны для кожи, зато они защищали лицо и глаза

Pb	207,2±1	6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>	82	4
			18	18
			32	18
			18	8
			2	2
СВИНЕЦ				

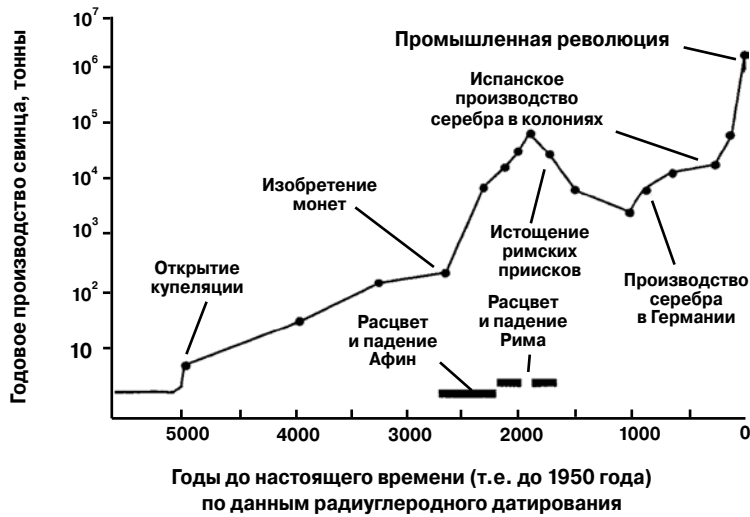
от инфекций. Для живописцев большее значение имел другой их недостаток: соединяясь с серой, свинец образует черный сульфид, от этого многие работы старых мастеров столь темны — белила в них почернели.

Из карбоната свинца можно прокаливанием получить плюмбат  $\text{Pb}_2\text{PbO}_4$  — это красный пигмент для знаменитого свинцового сурика. Рассказывают такую историю его появления. Свинцовые белила в Античности делали главным образом на острове Родос. По свидетельству римского архитектора Витрувия, процесс был таков: в большие горшки помещали мелкие ветки или стружки, пропитывали их уксусом, сверху клали свинцовые листы. При реакции металла с уксусом получался ацетат свинца, а под действием углекислого газа он становился карбонатом — на листьях с течением времени возникал белый налет, который счищали и использовали как пигмент. Процесс был небыстрым, понятно, что краска стоила дорого. Как-то афинский художник Никий ждал прибытия драгоценного груза, но в порту Пирея корабль загорелся. После того как пожар потушили, разстроенный художник стал исследовать бочки с краской — вдруг что-то осталось — и к удивлению своему, обнаружил, что она стала ярко-красной. Сейчас сурик получают, разбрызгивая раскаленный свинец в воздухе или кислороде и быстро охлаждая получающийся порошок. А применяют его, хотя теперь и ограниченно из-за ядовитости свинца, для окраски подводной части судов — свинец отлично защищает железо от коррозии.

**Как начали использовать свинец?** В четвертом тысячелетии до н. э. внезапно и одновременно в нескольких местах люди стали добывать серебро. Археологи резонно предположили, что тогда же появился и свинец, коль скоро серебро добывали из галенита купеляцией. Действительно, более ранние находки свинца крайне редки. Вот история одной из них.

В 2015 году израильские археологи работали в пещере Асхалим на северо-востоке Синайского полуострова (PLoS

PLoS ONE, 2 декабря 2015 года; doi: 10.1371/journal.pone.0142948



Так выглядит история свинцового производства по данным из ледника Гренландии («Naturwissenschaften», 1999, 86, 262–275)

ONE, 2 декабря 2015 года; doi: 10.1371/journal.pone.0142948). В дальней камере, куда и попасть-то можно только ползком, в захоронении лежал неожиданный предмет: тамарисковая палочка длиной в четверть метра со свинцовым шариком-набалдашником весом 155 граммов. По палочке определили возраст находки — 4000—4300 год до н. э. Назначение предмета неясно. С одной стороны, он напоминает наконечник булавы или жезла. А с другой — на нем есть отверстие и явные следы износа, которые могли возникнуть, если его использовали как прялку. Но такая прялка не очень удобна: свинцовый груз слишком тяжел и позволяет получать лишь грубую нить, да и с чего бы ее было прятать в дальней камере? Так поступают с особо ценными предметами. Возможно, свинцовый шарик предназначался

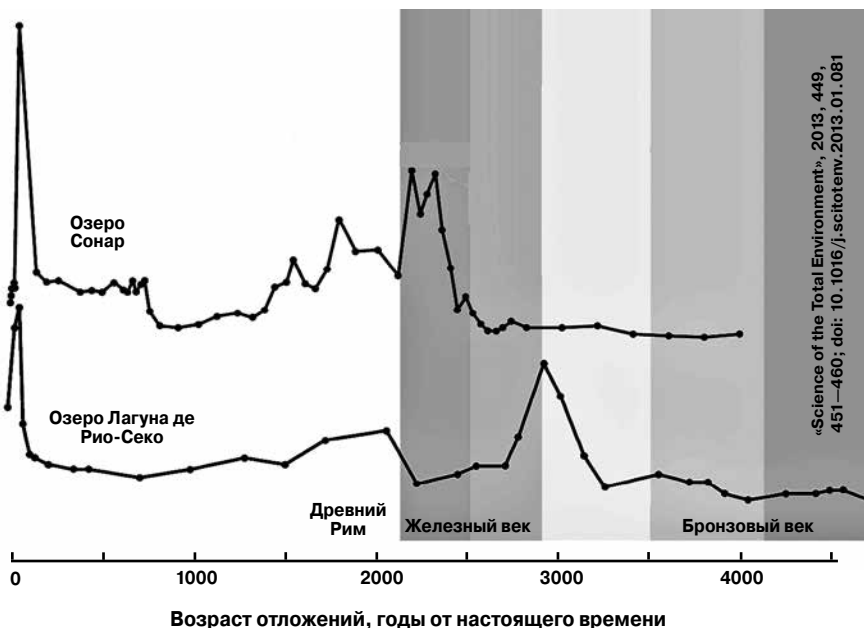
для чего-то другого и потом оказался на прялке? Но тогда его возраст может быть еще больше. Интересно, что, судя по изотопному составу свинца, он был сделан за тысячи километров к северо-востоку — в горах Тавра, то есть там, где брали руду древние анатолийские металлурги.

С четвертого тысячелетия до н. э. свинец применяют во всех центрах цивилизации, от Трои до египетских Фив, для литья скульптур, инкрустации деревянных изделий, письма — знаменитые свинцовые грифели использовали в течение тысячелетий. В Ассирии и Уре из свинца чеканили деньги, а Диодор Сицилийский указывает, что свинец служил для создания конструкций висячих садов Семирамиды в Вавилоне. Однако шире всего свинец использовали в Древнем Риме. Добывали его попутно с серебром в Малой Азии, где серебра в галените было особенно много — до 600 унций на тонну руды, а также в Испании и на Балканах.

Если судить по составу кернов из ледника Гренландии, пик производства свинца был достигнут незадолго до начала новой эры (слева). А по составу отложений из испанских озер (справа) — этот пик уходит в последнюю треть первого тысячелетия до н. э., причем свинец энергично поступает в атмосферу и за тысячу лет до того. Обогащение свинца рассчитано по отношению к концентрации алюминия в образце, чтобы избавиться от различных ошибок измерения



«Naturwissenschaften», 1999, 86, 262–275



«Science of the Total Environment», 2013, 449, 451–460; doi: 10.1016/j.scotenv.2013.01.081

разглядывание соответствующих графиков (см. рис) заставляет усомниться в этих выводах. Прежде всего, древний максимум содержания свинца во льду Гренландии приходится на II—III века до н. э. («Naturwissenschaften», 1999, 86, 262—275), когда никакой империи в Риме еще нет — есть республика к югу от реки По, ведущая тяжелую войну с пунийцами. А им-то как раз и принадлежит юг Испании с серебряными приисками, из которых Карфаген черпает средства для найма войск. В имперские же времена, то есть после убийства Цезаря в 44 году до н. э., содержание свинца в гренландском льду неуклонно падает, достигая минимума к 400-м годам н. э. Аналогичные результаты дает изучение свинца в отложениях высокогорных испанских озер («Science of the Total Environment», 2013, 449, 451—460; doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.081), например Сонар в Кордове. А вот отложения на дне другого озера — Лагуна де Рио-Секо в горах Сьерры-Невады про «римский» пик ничего не знают, зато дают столь же высокий пик в 1050 году до н. э., когда после Троянской войны и заката Микен в Средиземноморье наступили очередные «темные» века. Такой разброс свинцового загрязнения по времени исследователи связывают с постепенным оскудением старых месторождений и открытием новых, что подтверждает и история сведения леса на юге Испании на дрова для металлургических печей. Но тогда получается, что в древности на юго-востоке Испании тысячу лет существовала развитая металлургическая цивилизация, которая изготавливала свинец тысячами тонн и, видимо, сбывала куда-то если не свинец, то десятки тонн полученного с его помощью серебра. Эти древние испанские металлурги, подобно анатолийским, карпатским или уральским (см. «Химию и жизнь», 2016, № 3), как-то сами собой исчезли, не оставив следа в исторических записях.

**Что еще удается узнать из ледяных кернов о свинце?** Они дают несколько всплесков в эмиссии свинца помимо античных. Главный — это современное свинцовое загрязнение, которое началось в Средневековье и резко ускорилось после начала промышленной революции. Если «римский» пик превышал фон вчетверо, то современный — более чем в сто раз. Удивительно, что такие же по высоте «стократные» пики встречаются совсем в глубокой древности. Так, Гренландский ледник, керны из которого добрались до 147-го тысячелетия до н.э., дает пики в 24, 62 и 147-м тысячелетиях, а в Антарктиде, где досверлились до 220-го тысячелетия, — в 16, 61 и 150-м. Это не антропогенные

выбросы — они связаны с ледниковыми периодами, когда было сухо и соответственно много пыли, а с ней в ледник попал и свинец. Схожесть величин древних пиков с нынешним позволяет скептикам искать альтернативные объяснения и приписывать маломощные античные пики свинцовой эмиссии не человеку, а вулканам, благо об их деятельности можно судить по содержанию в тех же кернах серного ангидрида.

Ограничения на использование этилированного бензина в промышленно развитых странах, вводимые с 70-х годов, существенно улучшили ситуацию со свинцовым загрязнением атмосферы — за двадцать лет его содержание в свежих снегах и льдах Гренландии упало в семь с лишним раз («Nature», 1991, 353, 153—156; doi: 10.1038/353153a0).

#### **Что такое этилированный бензин?**

В 1924 году было установлено (см. «Химию и жизнь», 1984, 5), что небольшая добавка тетраэтилсвинца существенно увеличивает октановое число, то есть давление, которое выдерживает пары бензина без детонации. Чем выше октановое число, тем больше КПД двигателя. Но вскоре выяснилось, что тетраэтилсвинец — сильный яд: по мере роста производства этилированного бензина все больше рабочих получали отравления. Производство приостановили, но к 1926 году были предприняты необходимые меры охраны труда, и свинец из этилированного бензина во все возрастающем количестве стал попадать в выхлопные газы, а значит, в почву и воздух. К середине XX века защитники природы стали говорить о том, что количество свинца в растениях на обочинах дорог во много раз превышает норму, то есть, например, овощи в придорожной зоне выращивать не стоит. А в крупных городах автомобилизация неизбежно увеличивала содержание свинца в воздухе. В общем, концентрация свинца в теле человека XX века была в сотню раз выше, чем в теле человека Средневековья, — появились все признаки тихой геохимической катастрофы. Правительства развитых стран проявили сознательность и постепенно ввели запреты на использование этилированного бензина. Первыми в 60-х годах его использование в крупных городах и на курортах запретили в СССР. Полный запрет такого бензина в РФ начал действовать в 2002 году, в Евросоюзе — двумя годами ранее. Химики же тем временем придумали другие добавки, которые теперь и увеличивают октановое число бензина.

**Каковы основные источники эмиссии свинца в атмосферу?** По оценкам 1989 года, из природных — это вулканы (0,5—6,0 тысяч тонн в год), выветривание горных пород (0,3—7,5 тысячи тонн), лесные пожары (0,1—3,8 тыся-

чи тонн), капли морской воды (до 2,8 тысячи тонн) и некие биогенные процессы (до 3,4 тысячи тонн). Итого, как ни забавно, разброс оценок двадцатикратный — 0,9—23,5 тысячи тонн. Столь же непросто и с оценками антропогенной эмиссии. Самую большую долю в конце XX века давало сжигание этилированного бензина — 248 тысяч тонн, остальное — уголь (1,8—14,6 тысячи тонн), мазут (0,9—3,9 тысячи тонн), дрова (1,2—3,0 тысячи тонн), цветная металлургия (30—70 тысячи тонн), другие отрасли промышленности (5,1—33,8 тысячи тонн), всего же выходит 288—376 тысяч тонн («Nature», 1988, 333, 134—139). Из этих данных видно, что отказ от этилированного бензина действительно мог в десять раз уменьшить антропогенную эмиссию свинца и сделать ее сопоставимой с природной.

**Чем опасен свинец?** Он вызывает расстройство сразу нескольких систем организма. У детей свинец действует прежде всего на головной мозг. Это ведет к снижению умственных способностей, особенно при отравлениях в раннем возрасте или в утробе матери; наблюдают также расстройства слуха, замедление развития, ослабление долговременной памяти. Даже при малых дозах дети становятся раздражительными, у них снижается внимание. У взрослых страдает периферийная нервная система, из-за чего нарушается работа мышц — они слабеют, теряется координация, люди становятся менее активными, быстро стареют. Еще одна мишень — кровеносная система. Свинец ослабляет сосуды, вызывает гипертонию, нарушает синтез гемоглобина, эритроциты становятся менее жизнеспособными, что ведет к анемии. Как и положено тяжелому металлу, свинец негативно воздействует как на почки, так и на печень. Кроме того, он существенно ухудшает функционирование половой системы как у мужчин, так и у женщин, вызывая бесплодие. Свинец аккумулируется главным образом в костях, откуда потом может выходить в кровь и разноситься по организму в течение длительного времени. В общем, меры по ограничению эмиссии свинца вполне обоснованны.

#### **Мог ли свинец губить цивилизации?**

Тот факт, что римляне в большом количестве использовали свинец, причем именно в имперские времена, сомнению не подлежит — сохранилось достаточно артефактов того времени. Нужно было развивать присоединяемые провинции, строить дороги, храмы, прокладывать водопроводы. Мягкий, легкоплавкий, коррозионностойкий в воде и сильных кислотах металл служил прекрасным материалом для труб.



*Такой свинцовый водопровод археологи нашли в термах британского Бата*

Историки металлургии отмечают, что только на один сифон Лионского акведука пошло 12 тысяч тонн свинца. Отсюда появилась гипотеза, что римляне и их клиенты в Галлии, Британии, Иудее, Элладе, в общем, везде, куда пришла римская технология, потребляли отравленную воду, что и привело к их деградации.

Свинец римляне, а равно и греки издавна получали не только с водой, ведь свинцом и его сплавом с оловом лудили медную посуду. Стойкий к сильным кислотам свинец отлично защищает медь от коррозии. Но кроме того, он прекрасно взаимодействует с уксусом, давая растворимый ацетат свинца — вещество со сладким вкусом. Подслащение пищи, приготовленной в свинцовой посуде, было важным открытием античных кулинаров, ведь сахара в Древнем мире не знали; а тут пища сама собой приобретала более приятный вкус. Однако самые лучшие подсластители получались, если упаривать в свинцовой посуде виноградный сок или вино. Такой концентрат — его называли сапа, или дефрутум, — служил еще и консервантом, ведь свинец тормозит работу ферментов. Винным дефрутумом исправляли плохое вино — получалось сладкое греческое вино. Обе роли свинца, и как подсластителя, и как консерванта, были важны для этой технологии, ведь если в прокисшее вино просто добавить сахар в том или ином виде, то возобновится брожение и получится уксус. Ацетат же свинца (а если варить добавку из прокисшего вина, то уксусная кислота там обязательно будет и вступит в реакцию со стенками сосуда) сладости добавит, а к брожению

не приведет. Эта практика насчитывала не одно столетие, о ней упоминают и Марк Порций Катон (II—III века до н. э.), и Луций Юний Колумелла (I век н. э.), и его современник Гай Плиний Секунд. Последний, например, отмечал, что ныне даже в домах нобилей не встретишь неисправленного вина. И он, и военный врач Диоскурид указывают, что чрезмерное потребление такого вина опасно, поскольку сказывается на нервной деятельности и даже приводит к параличу. И ведь тот же Плиний знал о ядовитости ацетата свинца, но почему-то отравление с ним не связывал. Лишь Витрувий отмечал, что керамический водопровод лучше свинцового.

Современные опыты показали, что кипячение вина со свинцом по рецепту Колумеллы дает 400—600 мг этого элемента в литре напитка в зависимости от исходной кислотности. Это очень много: ПДК свинца в воде — 0,1 мг/л. Неудивительно, что время от времени медики фиксировали эпидемии свинцового отравления, которое проявлялось в виде специфических желудочных коликов. Причину установил лишь в 1767 году сэр Джордж Бейкер: он определил, что так называемые девонширские колики возникают не от звездной пыли или восточного ветра, а потому, что местные фермеры размалывали яблоки для сидра свинцовыми грузами («American Journal of Industrial Medicine», 2000, 38, 244—254).

Хроническое отравление свинцом приводит к выкидышам, снижает плодovitость мужчин, вызывает апатию и слабоумие. Если вернуться в Рим, то шансы заработать все эти неприятности были выше у богатых патрициев, которые пили много вина и жили в городах с централизованным водоснабжением. Эта совокупность данных и подсказала социологу Сибири Колуму Гилфиллану из калифорнийской Санта-Моники предположение, что именно свинец привел к деградации правящего класса Римской империи и стал причиной ее упадка («Journal of Occupational and Environmental Medicine», 1965, 7, 53—60). Интересно, что оппоненты Гилфиллана указывают на отсутствие повышенного содержания свинца в костях римлян, а сторонники отмечают, что в костях патрициев свинца больше, чем в костях плебеев. Видимо, разрешение этого спора требует тщательных исследований.

Схожий сюжет имеется и в русской истории. В 1633 году, то есть при Михаиле Федоровиче, итальянские архитекторы проложили в реконструированном ими московском Кремле водопровод. Это была сложная система с водонапорной башней, цистернами



для хранения воды и трубами, подводящими воду на кухню, на скотный двор, к кремлевским садам. И в ней использовали много свинца. Есть мнение (см. «Химию и жизнь», 1976, 11), что отравленная свинцом вода — а в такой системе его концентрация могла достигать 10 мг/л — фатально сказалась на первых Романовых. Недаром и Алексей Михайлович был прозван Тишайшим, и его старшие сыновья Федор и Иван оказались весьма болезненными. Да и младший, Петр, который покинул Кремль в десятилетнем возрасте, был весьма странен характером, а главное — фигурой: длинные ноги и руки при узких плечах. Медики указывают, что у подростков свинец локализуется в дистальном конце бедра, костях предплечья, у обоих концов берцовых костей и голени. При хорошем питании свинец может привести к их толчкообразному росту (см. «Химию и жизнь», 1983, 4). Изучение роли свинца в судьбе потомства первых царей из дома Романовых и последовавших событиях также может составить предмет специального исследования.

#### **Связан ли свинец с акселерацией?**

В конце XIX века внимание антропологов привлекло интересное явление: дети стали вырастать выше родителей и быстрее взрослеть. По официальной версии, причиной стало изобилие пищи в развитых странах. Однако не все согласны с таким простым объяснением. В частности, предполагают, что в этом виноват еще и свинец, который как раз тогда начал в невиданном ранее объеме загрязнять атмосферу городов — сначала из-за массового сжигания угля, а потом из-за добавок в бензин. Так это или нет, неясно, но в США рост людей стабилизировался как раз после того, как этилированный бензин запретили. Оппоненты отмечают, что в развивающихся странах акселерация продолжается: например, Википедия пишет, что на Сейшелах уже в XXI веке рост 15-летних мальчиков увеличивается на 1,14 см в год. Однако упомянуть о том, что продавать там этилированный бензин вовсе не запрещено, такие источники забывают (а вот МИД РФ об этом знает, о чем и сообщает на своем сайте).



**Для чего применяют свинец?** Ежегодное использование свинца составляет сейчас 8 миллионов тонн, что включает как заново выплавленный металл, так и полученный из вторсырья. Уровень переработки свинца очень высок — 99% в развитых странах, где налажен его сбор; по данным Международной свинцовой ассоциации на 2015 год, в США вторичный свинец покрывал 80% потребности, в ЕС — 60%. После запрета этилированного бензина 80% металла идет на производство аккумуляторных батарей. В простейшей конструкции такой батареи свинцовые решетки, покрытые сульфидом свинца, опущены в раствор серной кислоты. При зарядке на одном электроде сульфид восстанавливается в металл, а на другом окисляется в оксид. При разрядке снова возникает сульфид. Часть воды испаряется (поэтому время от времени в такой аккумулятор воду доливают), а кристаллы сульфида могут вырасти слишком большими и не исчезнут при зарядке. Поэтому современные батареи герметичны, вместо жидкого раствора электролитом служит гель серной кислоты, а вместо свинцовых решеток — углеродная сетка со свинцовым покрытием: это сокращает время зарядки и замедляет рост сульфидных кристаллов. Свинцовый электрический элемент — старейший из промышленно используемых. Его придумал еще в 1837 году Кристиан Фридрих Шёнбейн, а французский исследователь Гастон Планте, выполняя поручение Бориса Семеновича (Морица Германа) Якоби — создателя электродвигателя, телеграфа, печатающего буквами, и другого электрооборудования, — в 1859-м сделал свинцово-кислотный аккумулятор для телеграфа. В 1881 году аккумулятор Планте питал первый электромобиль, который проплыл по Сене; был он и в первых электромобилях. Сохранился свинцово-кислотный аккумулятор и впоследствии, когда по улицам поехали автомобили с двигателем внутреннего сгорания, — он до сих пор питает стартер. Как самый дешевый и надежный аккумулятор большой мощности, он стоит в небольших электромобилях вроде каров-погрузчиков, в гибридных автомобилях и в стационарных установках

*Чушки переработанного свинца*

бесперебойного питания. Свинцовые аккумуляторы в относительно дешевых бытовых системах альтернативной энергетики создают серьезную конкуренцию литиевым аккумуляторам, поскольку они гораздо дешевле. Современная свинцовая батарея после 3000 циклов при температуре 40°C теряет лишь 10% емкости, то есть ее ресурс оценивают в те 17 лет, которые проработает сама солнечная батарея.

Важнейшее использование свинца, где ему нет равных, — защита от гамма-радиации, причем он служит как в виде металла, так и в качестве компонента стекла — если защита должна быть прозрачной для видимого света. Свинцовое стекло очень тяжелое и окрашено в желтый цвет. Нужен свинец и для изготовления хрусталя, именно его добавка заставляет грани этого стекла сиять подобно бриллиантовым. Из свинца делают оплетку подводных кабелей — здесь используют его мягкость, коррозионную стойкость, а также большой удельный вес (тяжелый кабель меньше сносят придонные течения).

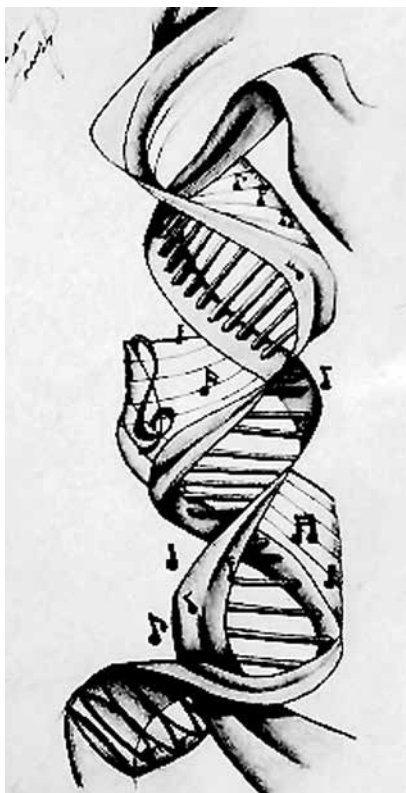
Еще свинец по-прежнему служит охотникам и солдатам в качестве материала для пуль, а вот типографский шрифт в связи с развитием цифровых технологий из него уже массово не изготавливают.

**Можно ли расплавить свинец в носовом платке?** Вряд ли, хотя такой способ литья дроби в походных условиях, приписываемый охотникам, кочует по

научно-популярным книжкам. Это было бы возможно, если бы температура плавления свинца была меньше температуры воспламенения ткани. Однако и лен, и хлопок горят при 250°C. Впрочем, если в свинец добавить немного олова, цинка или серебра, температура плавления снизится, тогда, расплавляясь, металл станет охлаждать платок и предохранит его от воспламенения.

**Зачем нужен магический свинец при трансмутации элементов?** Трансмутацию осуществляют сегодня на ускорителях, облучая мишень из одного элемента ядрами другого и получая гораздо более тяжелый третий элемент. Один из изотопов свинца — Pb-208 — называется дважды магическим, потому что у него по 126 нейтронов и протонов. (Магическими, то есть обладающими повышенной стабильностью, бывают ядра с числом нейтронов из магического ряда: 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 126.) В 1973 году после череды неудач в синтезе трансурановых элементов возникла идея холодного слияния — бомбардировать мишень из магического свинца, чтобы избыточная энергия удара израсходовалась на разрушение его стойкой ядерной структуры, а не нагревала вновь образующийся элемент. Именно на такой мишени были синтезированы элементы с номерами 107—112.





# Музыка ДНК

Что сказал Берлиоз своей музыкой? — ничего; но как потрясающе он это сказал! Джеймс Хьюнекер

Однажды, бродя по Интернету, я наткнулась на замечательную статью. В ней говорилось о том, что ученые Гарвардского университета нашли в человеческой ДНК закодированную запись на арамейском языке, которая гласила: «Здравствуйте, дети мои. Это Яхве, единый истинный Бог. Вы нашли тайну творения. Теперь поделитесь ею спокойно с миром». У меня тут же возникло сильное желание найти первоисточник статьи — им оказался американский юмористический журнал «The Daily Currant». А ведь новость перевели и растиражировали как правдивую, умножая мракобесие в нашем и так далеко не объективном мире. Недостаточно того, что в молекуле ДНК закодирована последовательность аминокислот, чью роль в нашем организме сложно переоценить, — надо выжать из нее что-то еще, что-то духовное и в то же время эпатажное!

А мне по душе другие люди, тоже находящие в нуклеотидной последовательности то, чего там на самом деле нет. Скажем, ноты. Какая простая и изящная



Нотная запись начального участка белка хантингтина, мутации в котором ответственны за хорею Гентингтона. И на глаз, и на слух хорошо заметны повторы кодона CAG в гене, или аминокислоты глутамина в белке (у здорового человека их «всего» 21), а также участки, богатые пролином



МАТЕМАТОРЫ

идея — перевести один код в другой! Первому эта идея пришла в голову японско-американскому генетику Сусуму Оно.

Только вот нуклеотидов всего четыре — аденин, гуанин, цитозин и тимин, и, если заменить каждый своей нотой, симфонии не получится. Так что приходится изворачиваться. Сусуму Оно присвоил некоторым нуклеотидам по две ноты, например аденин у него означал и «ре», и «ми». Но если бы по такому же принципу синтезировался белок, получилось бы нечто нежизнеспособное, потому что приказания ферментам надо отдавать четко, а не так: «Ну если хотите — глицин, хотите — триптофан, мне в общем-то все равно...» Были попытки сопоставить с одной нотой два последовательных нуклеотида. Кто-то брал их сразу тройками, то есть целыми кодонами, — это логичнее, потому что двойка малоинформативна, а кодон кодирует одну аминокислоту. Однако не всем такая перекодировка показалась «достаточно музыкальной» из-за больших и хаотичных прыжков между нотами. К тому же все звуки были одинаковой длины.

В 2007 году Риэ Такахаши и Джеффри Миллер из Калифорнийского университета опубликовали статью «Преобразование аминокислотных последовательностей белков в классическую музыку: поиск слуховых паттернов» («Genome Biology», 2007, 8, 405, doi: 10.1186/gb-2007-8-5-405), в которой исправили эти недостатки. Сначала они взяли фермент тимидилатсинтазу А (ThyA) и перевели его аминокислотную последовательность в набор нот одинаковой длины. Двадцать аминокислот покрыли 2,5 октавы. Затем они преобразовали ноты в аккорды, сгладив тем самым слишком большие перепады в высоте нот. Затем увеличили или уменьшили длительность аккорда в соответствии с частотой встречаемости соответствующего кодона в организме. Получилась вполне симпатичная мелодия.

Но авторы на этом не остановились и с присущим многим ученым легким цинизмом записали нотами участок ДНК,

который кодирует белок, ответственный за хорею Гентингтона, — это заболевание сопровождается психическими расстройствами и патологическими внезапно возникающими подергиваниями, а причина его — многократное повторение кодона CAG в определенном участке гена.

Я не уверена, что музыка ДНК зайчика или тушканчика более забавная и игривая, чем, например, ухряка. Но в музыке этого человеческого белка субдоминантовый секстаккорд в тональности фа-мажор (именно он в статье соответствует кодону CAG), повторенный больше 36 раз, должен звучать поистине похоронно.

Уже появились фирмы, предлагающие переложить вашу ДНК на музыку, и программы, в которых это можно сделать самостоятельно. Вариантов перевода много — выше описан лишь один из них. Есть софт, в котором можно выбирать тактовый размер и стиль музыки — например, джаз, блюз или вальс. Только гуглите осторожнее, можете наткнуться на музыку, прослушивание которой якобы помогает репарировать вашу ДНК. Лучше на нее не рассчитывайте, репарироваться как-нибудь сами.

Нуклеотидные последовательности мало варьируются от человека к человеку, поэтому есть смысл переводить в музыку только те участки ДНК, которые отличают вас от других представителей гомо сапиенсов. Однако некоторые обращают в ноты и митохондриальную ДНК — она передается только по материнской линии, и по ней можно проследить наше родство с той женщиной, от которой мы все получили эти полезные органеллы, — «митохондриальной Евой», жившей 100—200 тысяч лет назад. К слову, арамейский язык образовался несколько позже, поэтому предлагаю считать митохондриальную мелодию более эпатажной древностью, чем закодированное послание Яхве.

С.Рубина

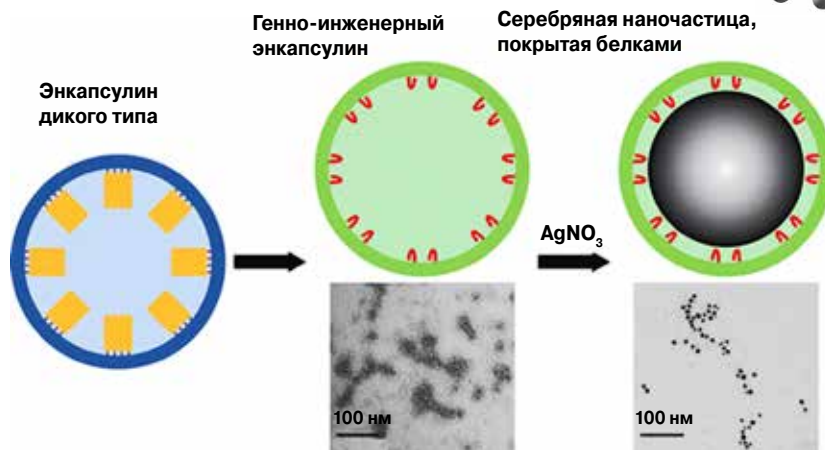
# Бактерии делают наносеребро

ХЕМОСКОП

Железо — важный элемент для микроорганизмов. Иногда во внешней среде его бывает меньше, чем нужно для поддержания жизненно важных функций, поэтому некоторые бактерии научились накапливать этот элемент, чтобы воспользоваться им при необходимости. Исследователи «научили» бактерии запасать серебро вместо железа, что открывает путь к промышленному получению наночастиц серебра («ACS Synthetic Biology», 2016, doi: 10.1021/acssynbio.6b00117).

Наночастицы серебра используют, например, для изготовления бактерицидных покрытий, перевязочных материалов и тканей. В настоящее время промышленное получение этих наночастиц требует высоких температур или затрат больших количеств реагентов, не всегда дешевых и безопасных. Модифицированные бактерии будут производить наночастицы серебра биотехнологическим способом — примерно так же, как производятся некоторые витамины, антибиотики или глутамат натрия.

Чтобы превратить бактерии в наноректоры для получения серебра, Памела Силвер и Тобиас Гайссен из Гарвардского университета модифицировали их органоиды, которые называются энкапсулиновыми нанокompartmentами. Эти полые структуры, немного похожие на вирусные капсиды, состоят из особых белков — энкапсулинов, — одни из которых образуют стенки «кладовки», другие связывают железо. Первые опыты проводили с бактерией *Thermotoga maritima* — исследователи удалили ее ген, отвечающий за производство железозапасающих белков, и заменили его нуклеотидной последовательностью, которая кодирует небольшой белок, вос-



Просвечивающая электронная микроскопия показывает, что серебро накапливается внутри органоидов бактерий. При этом образуются наночастицы серебра диаметром 13–15 нм

становливающий серебро. Затем всю генетическую цепочку, обеспечивающую производство энкапсулинов, ввели в клетку «рабочей лошади» микробиологов — кишечной палочки *Escherichia coli*. В модифицированной *E. coli* сформировались энкапсулиновые компартменты, внутри которых выросли симметричные наночастицы из серебра диаметром от 13 до 15 нм. На завершающем этапе исследователи разрушали оболочку клеток, извлекали оттуда наночастицы серебра и очищали их.

Бактерицидные свойства «энкапсулиновых» наночастиц серебра проверяли на пяти лабораторных штаммах бактерий, включая известный патоген *Salmonella typhimurium*. Оказалось, что противомикробная активность наночастиц, произведенных бактериями,

почти вдвое больше, чем у наночастиц, полученных химическим способом из солей серебра. Возможная причина в том, что «бактериальные» частицы более симметричны и у них меньше разброс по размерам.

Работа Силвер и Гайссена — первый пример получения наночастиц металла в энкапсулиновых нанокompartmentах бактерии. Ранее металлические наноструктуры получали за счет модификации вирусов или железосодержащих белков-ферритинов. В первом случае удалось сформировать наночастицы размером 21–50 нм, во втором — 5–8 нм, однако энкапсулины для этого использовали впервые. Как отмечает Томас Гайссен, энкапсулины бактерий можно будет перенастроить и для получения других наночастиц металлов, которые могут обладать не только бактерицидной активностью, но и каталитической, а также магнитными или иными свойствами.

# Золото придаст титану твердости

ХЕМОСКОП

Лучший материал для зубных имплантатов, протезов коленных и тазобедренных суставов — титан: он прочен, устойчив к механическому износу, химически инертен и нетоксичен. Однако даже самое лучшее решение можно улучшить. Физики из Университета Райса (США) совершенно случайно обнаружили, что еще более долговечные искусственные суставы можно будет изготавливать из сплава титана с золотом («Science Advances», 2016, 2, 7, e1600319, doi: 10.1126/sciadv.1600319).

Как объясняет автор открытия Эмилия Моросан, несмотря на то что золото — мягкий металл, сплав титана с золотом в соотношении 3:1 с особым расположением атомов в три-четыре раза тверже большинства марок стали и вчетверо тверже чистого титана.

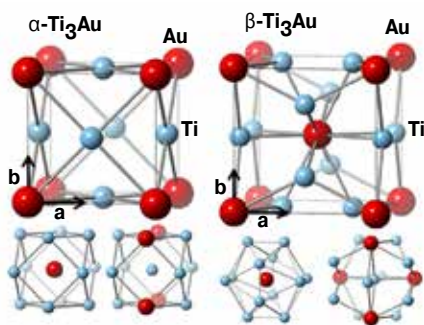
Моросан — физик, область ее научных интересов — разработка и получение новых материалов с экзотическими электронными и магнитными свойствами. Эта работа была для нее необычной по целому ряду причин, прежде всего потому, что сплав золота с титаном

такого состава был известен раньше и получить его не очень сложно. Известно было даже его строение — атомы титана и золота, упакованные в кубическую кристаллическую решетку, которая часто ассоциируется с твердостью. Остается непонятным, почему именно Моросан и ее коллеги впервые получили сверхчистый образец сплава золота с титаном и описали его уникальные свойства, прежде всего — твердость.

Случайное открытие было сделано в рамках работы Моросан над ее основным исследовательским проектом.

Ранее она установила, что сплав двух материалов, не проявляющих магнитных свойств, — золота и титана, взятых в равном соотношении, — обладает магнитными свойствами. Продолжая эти исследования, Моросан получила сплав «титан-3-золото» и решила измельчить его до порошкообразного состояния, чтобы установить его степень чистоты и строение кристаллической решетки методом рентгеноструктурного анализа. На стадии измельчения стало ясно, что с  $Ti_3Au$  что-то не так. Материал упорно не поддавался даже ступке и песту с алмазным покрытием. Изучение свойств  $Ti_3Au$  с помощью специальной аппаратуры показало, что этот сплав тверже чистого титана и многих других материалов.

Исключительной твердостью отличается не любой образец сплава  $Ti_3Au$ .



В зависимости от способа получения атомы могут формировать разные типы кубической кристаллической решетки. Модификация сплава  $\alpha-Ti_3Au$ , образующаяся при относительно низких температурах, не ставит рекордов, ее твердость почти такая же, как у чистого титана. Не измельчается в алмазной ступке только сплав аналогичного

состава, получаемый при высокой температуре, — модификация  $\beta-Ti_3Au$ . Возможно, исключительные механические свойства  $Ti_3Au$  до сих пор не были зафиксированы из-за того, что материалологи измеряли твердость сплава, в котором основным компонентом был  $\alpha-Ti_3Au$ .

Сплав  $\beta-Ti_3Au$  представляется перспективным для медицинских применений. Необходимые качества материала для протезирования — биосовместимость и стойкость к износу. Титан и золото сами по себе проявляют хорошую биосовместимость, того же можно ожидать и от  $\beta-Ti_3Au$  (не исключено, что он превзойдет по этому свойству чистый титан). Что касается устойчивости к износу, очевидно, что высокая твердость нового материала должна увеличить срок службы имплантатов и протезов.

## Суператомы объединяются в мегамолекулы

Эlegantная работа ученых из СШАполнила список химических веществ молекулами, состоящими из суператомов. Американским химикам удалось синтезировать псевдомолекулы, содержащие два или три металлических кластера с однозначным составом и строением («ACS Nano Letters», 2016, 16, 8, 5273–5277; doi: 10.1021/acs.nanolett.6b02471). Электрохимическими и иными свойствами этих соединений можно управлять, отсюда возможность их применения в катализе, системах для преобразования энергии и хранения информации.

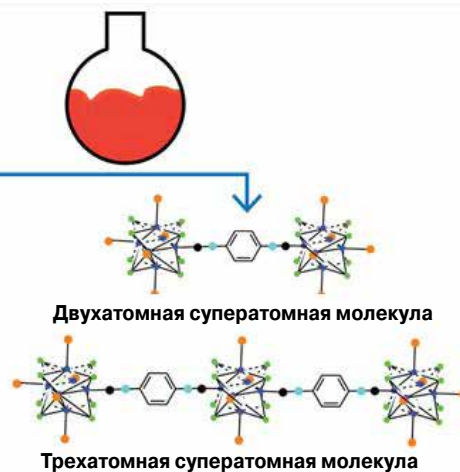
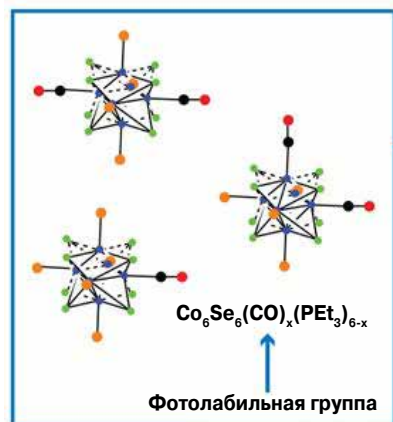
Кластеры халькогенидов металлов, стабилизированные подходящими лигандами, представляют собой примеры так называемых суператомов — наноразмерных систем, которые хоть и состоят из десятков и более атомов, но с точки зрения электронного строения ведут себя как отдельные атомы. В прошлом суператомы получали, охлаждая пары натрия или алюминия, сравнительно недавно их научились «собирать» с помощью направленного химического синтеза. Как только стало возможным контролировать состав и строение таких суператомов, исследователи начали пытаться получить большие по размеру структуры — мегамолекулы.

Сначала эти попытки основывались на принципах молекулярного распознавания и самоорганизации с участием межмолекулярных взаимодействий. В новой работе Колина Наколлса и его

коллег из Колумбийского университета показано, что суператомы можно объединить в псевдомолекулярные структуры, связав их классическими ковалентными связями. Для демонстрации такой возможности ученые выбрали кластеры селенида кобальта с общим составом  $Co_6Se_8$ . Чтобы увеличить устойчивость кобальт-селенидного ядра и позволить ему формировать ковалентные связи, группу  $Co_6Se_8$  стабилизировали карбонильными и фосфиновыми лигандами: общую формулу таких суператомов можно записать как  $Co_6Se_8(CO)_x(PR_{3/6-x})$ .

Исследователи заявляют, что их молекулы характеризуются строго определенным порядком размещения суператомов и электронной конфигурацией, типичной для обыкновенных молекулярных структур из традиционных атомов элементов Периодической системы. Замена ряда карбонильных

ХЕМОСКОП



лигандов (CO) на изоцианидные или фосфиновые фрагменты позволяет контролировать тип и длину мостика, связывающего суператомы, что, в свою очередь, влияет на электрохимические свойства всей молекулы.

Ли Кронин из университета Глазго, также предпринимавший попытки получить псевдомолекулярные системы из суператомных строительных блоков, высоко оценивает работу американских коллег. По его мнению, подобных структур скоро станет больше и они могут оказаться полезными в самых неожиданных областях — вплоть до создания аккумуляторов водорода для двигателей будущего.

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

# Мышцы внутренней секреции

Кандидат биологических наук  
Н.Л.Резник

## В движение — жизнь

Помните, как у Жванецкого: «Может быть, большой спорт — это плохо. Но элементарная физическая подготовка...» Да, она необходима, причем не только для того, чтобы без труда догнать отъезжающий автобус или классно выглядеть на пляже. Физическая активность — залог активного долголетия, и это не лозунг, а экспериментально установленный факт. Доказывать его начали, как обычно, на грызунах. Например, у крыс, которые могли в свое удовольствие бегать в колесе, выживаемость, то есть количество особей, достигших определенного возраста, достоверно выше, чем у животных, лишенных возможности тренироваться. У мышей упражнения улучшают работу нервной системы, в том числе нервно-мышечных синапсов, снижают уровень гипергликемии и нормализуют содержание холестерина. Физическая активность благотворно влияет на сердце, почки, мозг и печень разных животных. Данные эпидемиологических исследований подтверждают, что и людям она продлевает здоровье и жизнь. И напротив, при сидячем образе жизни часто развиваются сахарный диабет 2-го типа, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, рак молочной железы (в постменопаузе) и другие злокачественные опухоли, а также слабоумие, депрессия и нейродегенеративные заболевания, такие, как болезнь Альцгеймера.

Есть несколько гипотез, объясняющих связь здоровья и движения. Замечено, например, что занятия физкультурой стимулируют выделение адреналина, кортизола, гормона роста, пролактина и других молекул, регулирующих работу иммунной системы. Длительные систематические тренировки снижают уровень стрессовых гормонов. Кроме того, и это отмечают многие исследователи, физическая активность позволяет избавиться от причины многих болезней — хронического системного стерильного воспаления. Названо оно так потому, что развивается в отсутствие инфекции — в результате аутоиммунных процессов или других событий. Хроническое стерильное воспаление — частый спутник малоподвижного образа жизни. Это очень опасное явление, чреватое развитием инсулиновой резистентности, атеросклероза, нейродегенеративных заболеваний и злокачественных опухолей (см. «Химию и жизнь», 2013, 7). Цитокины воспаления выделяют разросшаяся адипозная ткань, а также печень и малоактивная скелетная мускулатура. Изменить ситуацию могут физические упражнения, они прекрасно помогают даже людям, которые начали заниматься уже в преклонном возрасте, чтобы предотвратить или остановить развитие каких-либо недугов. Но тут важно не переусердствовать, потому что чрезмерная физическая активность также провоцирует воспаление, ослабляет иммунную систему и повышает риск развития инфекционных заболеваний. Мышечная работа и воспаление связаны друг с другом сложным образом, и упражнения могут как помочь, так и навредить, в зависимости от амплитуды, частоты и других переменных. Серьезные занятия спортом без инструктора сродни самолечению.

## Мышцы и PGC-1 $\alpha$

Движение человеческого тела обеспечивают около 600 скелетных мышц, которые составляют примерно 40—50% массы тела.

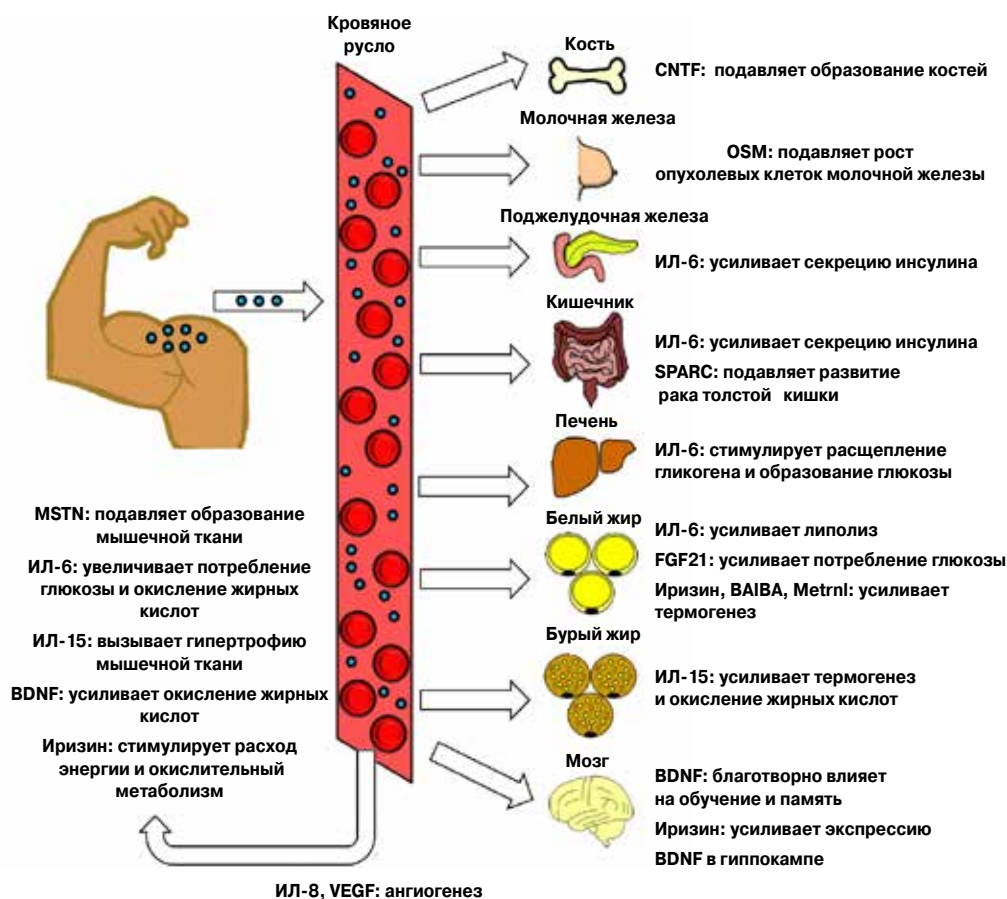
Они состоят из миофибрилл, сформированных слившимися клетками-миобластами, а миофибриллы — из нитей актина и миозина, организованных в повторяющиеся блоки-саркомеры. Движение этих нитей друг относительно друга вызывает сокращение мышц. В отличие от гладкой и сердечной мускулатуры скелетные мышцы сокращаются произвольно по сигналу нейромедиатора ацетилхолина.

Работа требует энергии. При динамических сокращениях, для которых нужна выносливость (длительный бег, плавание), и при поддержании позы энергию обеспечивает АТФ, получаемая за счет окислительного фосфорилирования, происходящего в митохондриях. Окисляются в первую очередь глюкоза и гликоген. При движениях, требующих большой силы и скорости (спринтерский бег, поднятие тяжестей), мышечные волокна расщепляют гликоген анаэробным путем в процессе гликолиза. При этом АТФ образуется в два-три раза быстрее, а механическая энергия, производимая мышцей, в два-три раза больше, чем при окислительном фосфорилировании. Но и усталость в этом случае наступает значительно быстрее.

В зависимости от типа совершаемой работы мышечные волокна синтезируют разные регуляторы транскрипции, ростовые факторы и другие молекулы, которые позволяют им адаптироваться к тому или иному виду нагрузки. Силовые тренировки приводят к преимущественному развитию так называемых быстрых волокон, которые используют гликолиз для синтеза АТФ. При соответствующих нагрузках увеличиваются их количество и площадь поперечного сечения. Волокна, которые совершают динамическую работу, называются медленными. Им нужны много митохондрий, развитая капиллярная сеть для снабжения кислородом, противодействие деградации белков, апоптозу и воспалению. Значительную роль в обе-



1  
Роль PGC-1 $\alpha$  в мышечных волокнах, тренированных на выносливость



2

*Мышечная ткань — орган внутренней секреции*

спечении этих потребностей играет регулятор транскрипции PGC-1 (коактиватор рецептора пролиферации пероксисом), который синтезируется при сокращении медленных волокон. Запомним этот белок, это один из главных персонажей нашего рассказа. Пожалуй, его роль в миофибриллах не меньше, чем у актина с миозином. У мышей он регулирует экспрессию более полутора тысяч генов: активность одних подавляет, других стимулирует, сколько у людей — пока не посчитали. У PGC-1 много функций, в том числе он стимулирует образование митохондрий, окисление жирных кислот и устойчивость к мышечной атрофии. Трансгенные мыши с избытком PGC-1 накачаны и мускулисты, а животные с неактивным геном обладают очень слабой выносливостью. Во время физических упражнений выделяются клеточные факторы, которые модифицируют белок PGC-1 $\alpha$ , делая его более стабильным, а следовательно, и активным. По окончании тренировки уровень PGC-1 $\alpha$  возвращается к норме в течение часа.

При длительных, систематических тренировках на выносливость доля медленных волокон возрастает за счет быстрых, и существенную роль в этих превращениях играет опять-таки PGC-1 $\alpha$  (рис. 1). В тренированных мышцах уровень PGC-1 $\alpha$  выше, чем в нетренированных, даже в состоянии покоя, а поскольку он регулирует метаболизм и работу многих генов в миофибриллах, то физическая нагрузка может быть полезна при некоторых заболеваниях, связанных с нарушением мышечной активности. Исследования на мышах подтвердили, что PGC-1 $\alpha$  действительно смягчает последствия миопатии Дюшенна и митохондриальной миопатии (истощении мышц при нарушении работы митохондрий).

А еще PGC-1 $\alpha$  подавляет активность фактора NF $\kappa$ B, основного регулятора экспрессии провоспалительных генов. Следовательно, сидячий образ жизни провоцирует синтез провоспалительных цитокинов и развитие местных и системных воспалений, прискорбные последствия которых мы уже обсуждали.

Все мы слышали, что в здоровом теле здоровый дух. И это действительно так, потому что PGC-1 $\alpha$  оберегает и от депрессии. Эта болезнь отравляет жизнь миллионам людей во всем мире. Депрессия связана с образованием кинуренина — продукта деградации триптофана — под действием стресса и воспаления. Синтез кинуренина происходит главным образом в почках, печени и клетках иммунной системы, но оттуда вещество попадает в кровь и мозг. Кинуренин вызывает гибель нейронов и воспаление нервной ткани, приводит к депрессии. Специалисты Каролинского университета (Швеция), экспериментируя с

мышьями, обнаружили, что PGC-1 $\alpha$  усиливает синтез фермента кинуренин-аминотрансферазы в скелетных мышцах («Cell», 2014, 159, 33—45, doi: 10.1016/j.cell.2014.07.051). Этот фермент тоже попадает в кровь и превращает кинуренин в кинуреновую кислоту, которая не может преодолеть гематоэнцефалический барьер. Содержание кинуренина в плазме сокращается, что защищает мозг от повреждений и стресс-индуцированной депрессии. Исследователи не исключают, что PGC-1 $\alpha$  можно использовать в терапевтических целях, но не полезнее ли заняться физкультурой?

Итак, физическая активность, в основном тренировки на выносливость, повышает уровень и активность PGC-1 $\alpha$ , который благотворно влияет на многие жизненно важные процессы или оберегает нас от проблем со здоровьем. Кроме того, мышечные сокращения и PGC-1 $\alpha$  активизируют синтез белков, которые влияют на процессы, происходящие как в мышечной ткани, так и в других органах, поэтому скелетную мускулатуру можно с полным правом считать органом внутренней секреции (рис. 2). Эти регуляторные белки называют миокинами. Список миокинов постоянно растет, причем в него нередко попадают соединения, уже известные нам в другом качестве, например интерлейкины — продукт синтеза лейкоцитов и неперенные участники иммунного ответа.

## Интерлейкины

В списке миокинов пока три интерлейкина: ИЛ-6, ИЛ-8 и ИЛ-15. ИЛ-6 и ИЛ-15 известны как факторы воспаления, кроме того, ИЛ-6 вызывает инсулиновую резистентность, а также при определенных условиях повышает уровень провоспалительных цитокинов. ИЛ-8 отвечает за привлечение нейтрофилов и ангиогенез. В мышечных клетках у них другие задачи. Все три белка — типичные миокины, их синтез в скелетной мускулатуре и концентрация в плазме крови возрастают после физической нагрузки, причем на ИЛ-8 влияют в основном упражнения, при которых нагруженная мышца удлиняется.

+/-



mh/+



mh/mh



3

Уиппеты дикого типа (+/+), а также гетерозиготные и гомозиготные по мутации *mh*, инактивирующей ген *MSTN*

ИЛ-6 действует на разные ткани. Он запускает каскады биохимических реакций, в результате чего мышечные клетки потребляют больше глюкозы и активно окисляют жирные кислоты, в жировой ткани усиливается липолиз, в печени — расщепление гликогена и образование глюкозы, в поджелудочной железе — секреция инсулина. Образование глюкозы в печени и выделение жирных кислот из адипозной ткани обеспечивают энергией работающие мышцы.

Роль ИЛ-8 в скелетной мускулатуре пока неизвестна, но есть основания полагать, что этот фактор стимулирует рост новых сосудов.

ИЛ-15 изначально известен как мышечный анаболик, он также вызывает синтез сократительных белков, способствует поглощению глюкозы и окислению жирных кислот, у крыс противодействует раковой кахексии (истощению). Чем выше концентрация этого миокина в плазме у людей, тем меньше у них белого жира, а у крыс он усиливает термогенез.

## Нейротрофические факторы

Эти белки, как следует из названия, синтезируются в нервных клетках и регулируют их развитие и деятельность. Например, нейротрофический фактор мозга BDNF влияет на обучение и память, его нехватка связана с ожирением и диабетом 2-го типа. Однако после физических упражнений уровень BDNF в крови существенно возрастает, причем 70—80% этого количества потребляет мозг. В скелетной мускулатуре BDNF усиливает окисление жиров и регулирует регенерацию клеток.

Другой белок, цилиарный нейротрофический фактор CNTF, отвечает за работу остеобластов — клеток, которые строят костную ткань. У мышей, дефицитных по этому гену, кости массивные и плохо минерализованные. У граждан, ведущих малоподвижный образ жизни, при нехватке CNTF часто развивается остеопороз (нарушение метаболизма костной ткани, влекущее за собой их хрупкость). При кальцификации мышц и разрастании надкостницы физическая активность, напротив, вредна, потому что усиленный синтез CNTF только усугубит эти признаки.

## Факторы роста

Фактор роста эндотелия сосудов VEGF действительно регулирует рост эндотелия и стимулирует ангиогенез. Его синтез в мышечных волокнах находится под контролем PGC-1 $\alpha$  и скоординирован с синтезом другого миокина, SPP1. Этот белок стимулирует активность макрофагов, клеток эндотелия и гладкой мускулатуры, чем тоже способствует образованию капилляров. (О том, как синтез VEGF помогает при ишемии нижних конечностей, см. в статье «Гены против ампутации», «Химия и жизнь», 2016, № 7.)

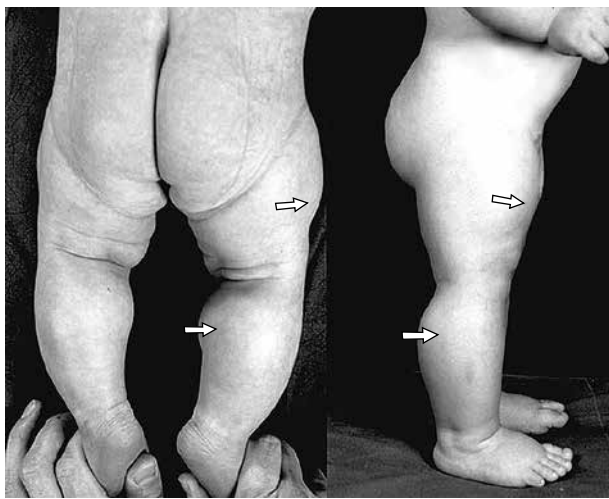
Факторы роста фибробластов регулируют деление, рост и дифференцировку клеток и клеточный метаболизм. Один из них, FGF21, синтезируется преимущественно в печени, а также в жировой ткани, поджелудочной железе и скелетной мускулатуре. В зависимости от места синтеза FGF21 выполняет разные функции. Печеночный стимулирует экспрессию PGC-1 $\alpha$ , которая, в свою очередь, активирует окисление жирных кислот и синтез глюкозы в печени. В жировой ткани FGF21 увеличивает потребление глюкозы, а трансгенных мышей избыток FGF21 защищает от развития ожирения. Этот белок снижает у грызунов-диабетиков уровень сахара и триглицеридов в крови, то есть теоретически может быть лекарством.

Синтез FGF21 в скелетной мускулатуре зависит не от мышечной нагрузки, а от избытка инсулина или низкой температуры. В первом случае FGF21 регулирует уровень инсулина, во втором стимулирует термогенез в клетках бурого жира.

## Три миокина и термогенез

Недавно в списке миокинов появились три новых члена: иризин, метеорин-подобный белок *Metrnl* и  $\beta$ -аминоизомасляная кислота (BAIBA). Все три миокина стимулируют термогенез в клетках бурого жира.

Иризин образуется при сокращении и дрожании скелетной мускулатуры, он участвует в преобразовании белого жира в бурый и усиливает термогенез, не давая разрастаться жировой ткани. Под влиянием физической нагрузки и PGC-1 $\alpha$  иризин синтезируется также в гиппокаме, стимулируя синтез BDNF и нейрогенез в этой области мозга. У мышей иризин ускоряет метаболизм скелетных мышц и увеличивает расход энергии в мышечных клетках, а как обстоит дело у людей, еще предстоит выяснить.



4

Мальчик с неактивным геном миостатина.  
Справа — новорожденный, слева — в возрасте  
семи месяцев. Обратите внимание  
на рельефные мышцы икр и бедер



ЗДОРОВЬЕ

только напрасно поглощают энергию. Регулярные физические тренировки, как силовые, так и аэробные на выносливость, подавляют синтез миостатина, что способствует образованию рельефной мускулатуры. Ген *MSTN* очень консервативен, его последовательность у всех позвоночных практически одинакова. У лабораторных мышей, лишенных гена *MSTN*, масса мышечной ткани в два-три раза больше, чем у грызунов дикого типа. Мутации *MSTN*, нарушающие синтез белка, приводят к появлению чрезвычайно мясистых коров и овец с гипертрофированной мускулатурой. У всех миостатиновых мутантов понижено содержание жировой ткани. По-видимому, жировая масса уменьшилась главным образом вследствие увеличения мышечной, а не из-за отсутствия миостатина.

Недавно американские и британские исследователи обнаружили небольшую делецию *MSTN* в геноме гончих собак уиппетов («PLoS Genetics» 2007,3: e79, doi: 10.1371/journal.pgen.0030079, см. также «Химию и жизнь», 2012, 1). Мутация получила название *mh*. Согласно стандарту породы, уиппет должен быть мощным, сильным животным при гармоничном, элегантно строении. Мутантные собаки мощь и гармонию сохранили, но элегантность утратили, особенно гомозиготы (рис. 3). Бегают они быстрее обычных уиппетов. Интересно, что у других пород мутация *mh* пока не обнаружена.

Исследователи планировали поискать подобную мутацию у других видов. А медики из Германии и Соединенных Штатов несколькими годами ранее наблюдали чрезвычайно мускулистого мальчика, родившегося в берлинской клинике Шарите («The New England Journal of Medicine», 2004, 350, 2682-8, doi: 10.1056/NEJMoa040933). Новорожденный поразил специалистов развитой мускулатурой рук и ног, к четырем с половиной годам мальчик продолжал наращивать мышечную массу и мог держать на вытянутой руке трехкилограммовую гантель (рис. 4). Мальчик пока здоров.

В гене миостатина у малыша нашли мутацию, но не такую, как у собак; это замена одного нуклеотида, которая нарушает сплайсинг РНК и приводит к образованию неактивного белка. Эту мутацию мальчик, очевидно, получил по наследству. Хотя исследователи не смогли проанализировать ДНК его родных, известно, что брат, отец и дед матери отличались необыкновенной силой. Как тут не вспомнить Геракла, который в первый же день жизни задушил голыми руками двух змей одновременно, может, и он был мутантом?

Проводя жизнь в кресле, мы лишаем себя множества полезных белков, которые могли бы синтезировать наши мышцы. Время не упущено — заняться физкультурой никогда не поздно. Мы даже не можем себе представить в полной мере, насколько это полезно, потому что исследования миокинов продолжаются

По материалам статьи

Schnyder S., Handschin Ch. Skeletal muscle as an endocrine organ: PGC-1 $\alpha$ , myokines and exercise. «Bone», 2015, 80, 115—125, doi: 10.1016/j.bone.2015.02.008

Metnr1 — гормон, синтез которого усиливается в клетках скелетной мускулатуры при упражнениях и в белой жировой ткани на холоде. В отличие от иризина синтез Metnr1 зависит не от PGC-1 $\alpha$ , а от его сплайсированной формы PGC-1 $\alpha$ 4, которая образуется при силовых тренировках и регулирует работу другого набора генов. Metnr1 увеличивает расход энергии, увеличивает толерантность к глюкозе при ожирении и диабете и способствует побурению белого жира.

BAIBA, хотя и не белок, ведет себя как классический миокин: синтезируется в активных мышцах по сигналу PGC-1 $\alpha$ , активирует термогенез и побурение белого жира и усиливает окисление жирных кислот в клетках печени. Содержание BAIBA в крови обратно пропорционально факторам риска сердечно-сосудистых и метаболических расстройств, и ученые предполагают, что он защищает от метаболического синдрома.

Все три миокина активно вызывают побурение белой адипозной ткани, стимулируя таким образом выделение энергии. Возможно, скелетные мышцы регулируют и координируют оба вида термогенеза: дрожательный, происходящий при сокращении скелетной мускулатуры, и недрожательный, протекающий в бурой жировой ткани (о превращении белого жира в белый и недрожательном термогенезе см. «Химию и жизнь», 2016, 7). Действительно, иризин, как и FGF2, синтезируется в ответ на холод, и его секреция тесно связана с интенсивностью дрожания.

## Двое против рака

Активный образ жизни не только снижает риск развития метаболических расстройств, но, возможно, защищает от некоторых типов злокачественных опухолей. Так, по данным Всемирного фонда исследования рака, физические упражнения снижают вероятность развития рака молочной железы и толстого кишечника на 25—30%. Ученые по-разному объясняют это влияние. В частности, два недавно обнаруженных миокина, SPARC и OSM, подавляют деление раковых клеток в толстом кишечнике и молочной железе и вызывают их апоптоз. Какую роль выполняют эти белки в здоровом теле, пока неясно. Возможно, они регулируют деление и апоптоз клеток в сокращающихся мышечных волокнах, но не исключено, что действие SPARC и OSM на нераковые клетки вообще не связано с их делением и гибелью.

Список миокинов получился длинным и, возможно, утомил читателя. Однако он был бы неполным без миостатина, который можно назвать антимيوкином: мышечные сокращения не стимулируют, а подавляют его синтез.

## Мутация Геракла

Миостатин (*MSTN*) относится к группе факторов роста. Он синтезируется в неактивных мышцах и препятствует образованию мышечной ткани: горы мускулов, если ими не пользоваться,

# ОКСИТОЦИН для женщин и мужчин

Н.Л.Резник

Женщина хранит домашний очаг: гасит возникающие конфликты и сама излучает доброжелательность и покой. Мужчина домашний очаг охраняет, не пуская в семейный круг людей враждебных и просто посторонних. Эти традиционные модели поведения продержались несколько тысячелетий, потому что опираются на физиологические различия полов. И важную роль в этих различиях играет гормон окситоцин, который усиливает женскую доброжелательность и мужскую агрессивность.

## Гормон благорасположения

Нейропептид окситоцин синтезируется в гипоталамусе, а выделяется в задней доле гипофиза, откуда поступает в кровь. Он присутствует в организме и мужчин, и женщин, выполняет различные функции, но известен главным образом как гормон материнства. Окситоцин регулирует сокращение матки, выделение молока из молочной железы (но не синтез его), а также определяет материнское поведение. Впоследствии ученые обнаружили, что у самок млекопитающих окситоцин влияет и на другие аспекты социального поведения. Так, повышенный уровень этого нейропептида побуждает их в случае необходимости заботиться о чужих детенышах, усиливает верность партнеру, если виду свойственна моногамия, помогает запоминать запахи других животных, что облегчает их узнавание. Окситоцин также успокаивает животных, делает их менее тревожными. В общем, наряду с половыми стероидными гормонами тестостероном и эстрадиолом окситоцин оказался одним из главных гормонов, регулирующих социальную жизнь животных. В основном он усиливает affiliативное поведение, то есть способствующее поддержанию и укреплению дружеских связей.

Естественно, чем больше становилось известно о психотропных функциях окситоцина у животных, тем активнее неврологи, психологи и психиатры интересовались его влиянием на по-

ведение человека, и в последнее десятилетие появилось много работ, посвященных этой проблеме.

С людьми по понятным причинам экспериментировать сложнее. Как правило, исследователи тщательно отбирают участников эксперимента. Они не страдают психическими и нервными расстройствами, не принимают лекарств, женщины не беременны и не используют гормональные контрацептивы. Испытуемым закапывают в нос раствор окситоцина или плацебо и спустя 45 минут приступают к экспериментам.

Поначалу окситоцин ничем не удивлял и ожидаемо способствовал affiliативному поведению. Например, когда психологи предложили мужчинам поиграть в экономические игры, нейропептид сделал их более доброжелательными, искренними и склонными к сотрудничеству. Однако с играми экспериментируют редко, как правило, людям демонстрируют лица незнакомцев и предлагают оценить какие-либо их качества. В одном из таких исследований участники под влиянием окситоцина чаще находили показанные им лица заслуживающими доверия настолько, что с ними можно поделиться конфиденциальной информацией.

Ученые попробовали рассмотреть более естественную ситуацию. Супружеские пары в течение десяти минут обсуждали какую-то заранее выбранную семейную проблему, не бесплатно, конечно. Предварительно принявшим окситоцин было легче прийти к согласию. Он также помогает отцам установить контакт с маленькими детьми, способствует узнаванию лиц и помогает правильно истолковать их выражение.

Во взаимоотношениях людей чрезвычайно важны невербальные стимулы: жесты и выражение лица. Окситоцин помогает распознавать их смысл, но его действие имеет гендерные особенности. Психологи из университета Хайфы поставили любопытный эксперимент («Social Cognitive and Affective Neuroscience», 2013, 8, 313—317, doi:10.1093/scan/nsr100). Испытуемым показывали короткие сценки, снятые в

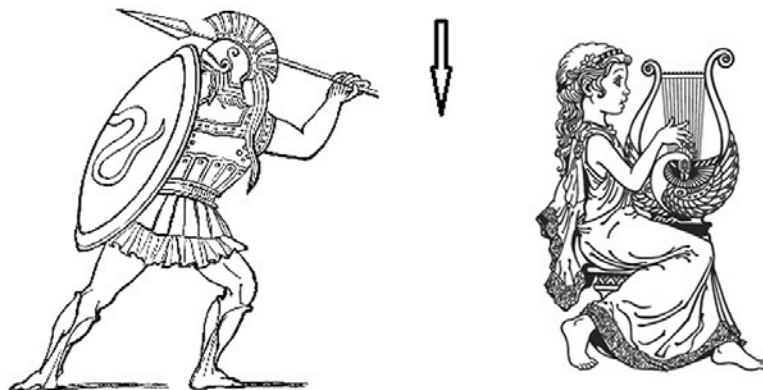
реальной жизни, после чего они должны были ответить, каковы истинные отношения между разговаривающими родственниками, в какой стадии отношений находится пара или кто из двух кандидатов выиграл конкурс. Чтобы справиться с заданием, приходилось учитывать не только слова, но и выражения лица и жесты. Оказалось, что однократный прием окситоцина помогает людям разобраться в межличностных отношениях, однако женщины лучше постигают взаимоотношения между родственниками, а мужчины — между конкурентами. Что касается влюбленных пар, тут окситоцин не помог никому. Такой результат исследователей удивил, и они предположили, что эта категория отношений слишком сложна.

## Гормон критического отношения

Изначально перед мужчинами и женщинами стояли разные эволюционные задачи. Женщины укрепляли семейные связи и свое положение в группе, поскольку им нужно было создать дружественную среду для воспитания детей. Мужчины же отражали внешнюю агрессию, и основное их внимание в области межличностных отношений обращено на возможных агрессоров и конкурентов, к которым они изначально относятся с недоверием. Пытаясь объяснить гендерные различия, ученые высказали мнение, что окситоцин помогает людям почувствовать чужие эмоции, однако при этом каждый пол преуспевает в своей традиционной области: женщины — в сфере семейных отношений, а мужчины — в конкурентной борьбе.

Эти различия в полной мере проявились в экспериментах, проведенных специалистами Гарвардской медицинской школы и других медицинских исследовательских центров Бостона («Human Psychopharmacology Clinical and Experimental», 2014, 29, 299—304, doi: 10.1002/hup.2402). Сорока семи взрослым людям обоего пола показывали лица с нейтральным выражением и просили оценить их надежность, компетентность и дружелюбие. Мужчины под

## Окситоцин



**Ослабляет тревогу и рассеивает страхи**

**Помогает прийти к согласию с родными**

**Улучшает понимание эмоций, жестов и выражения лица у конкурентов**

**Усугубляет критическое отношение к окружающим**

**Усиливает доверие к незнакомым людям**

**Увеличивает доброжелательность и доверие к деловым партнерам**

влиянием окситоцина отнеслись к этим лицам хуже, чем когда принимали плацебо, а женщины, напротив, находили их более надежными и дружелюбными.

Во второй серии заданий участников попросили оценить лица, сопровождаемые какой-нибудь информацией: положительной, отрицательной или нейтральной. Таким способом они моделировали сплетни, которые активно циркулируют в любом обществе и влияют на отношения между людьми. Окситоцин не прибавил мужчинам доброжелательности. Дополнительная негативная информация только усугубляла их недоверие, положительная мало помогала. А женщины и в этом случае проявили непоколебимое дружелюбие, окситоцин смягчил даже влияние злой сплетни.

Американские ученые, как и психологи из Хайфы и многие другие исследователи окситоцина, пришли к заключению, что этот нейропептид усиливает социальные характеристики, присущие тому или иному полу: женскую доброжелательность и некоторую агрессивность, критичность и недоверие у мужчин. У этих различий должна быть какая-то материальная основа.

### Левая миндалина и половые гормоны

Окситоцин по-разному влияет на активность вегетативной нервной системы. У женщин, принявших его, во время выяснения отношений с партнером понижена секреция фермента альфа-амилазы в слюнных железах, у мужчин

же она в такой ситуации выше, чем в группе плацебо («Social Cognitive and Affective Neuroscience», 2013, 8, 897—902). Секреция альфа-амилазы находится под контролем симпатической нервной системы и служит показателем ее активности. Следовательно, окситоцин тормозит активность симпатической нервной системы у женщин и повышает ее у мужчин.

Окситоцин действует также на центральную нервную систему (ЦНС), рецепторы к нему расположены в некоторых отделах гипоталамуса, миндалевидного тела (миндалины) и в задних рогах спинного мозга. Ученые из Университета Луи Пастера, используя методы автордиографии, подсчитали количество сайтов связывания окситоцина у самцов и самок крыс разного возраста («Neuroscience», 2005, 135, 147—154, doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.05.025). У самцов плотность этих сайтов выше, чем у самок, но лишь в тех областях мозга, которые чувствительны к половым стероидным гормонам, то есть имеют к ним рецепторы. Если самца крысы кастрировать в юном возрасте, уровень тестостерона в его организме будет существенно понижен, что повлияет на количество сайтов связывания окситоцина в головном мозге, но не в спинном. Более того, у самок, которым сделали инъекцию тестостерона на следующий день после рождения, плотность окситоциновых рецепторов в соответствующих отделах гипоталамуса и миндалевидного тела существенно возрастает.

У человека взаимодействие окситоцина с миндалиной также зависит от пола. Функции этого отдела головного

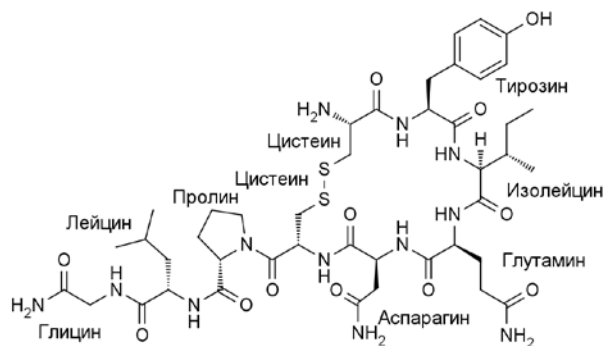


## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

мозга разнообразны, в том числе они ответственны за наши эмоции и восприятие социальной информации. Исследователи из университета Фрайбурга (Германия) закапывали испытуемым окситоцин и показывали изображения гневных и счастливых лиц; у женщин при этом нейроны миндалины были активнее, чем в группе плацебо, а у мужчин их активность снижалась («Psychoneuroendocrinology», 2010, 35, 83—93, doi: 10.1016/j.psychoneu.2009.06.016). Исследователи отмечали, что эффект не зависел от уровня окситоцина в плазме, а также от содержания женских половых гормонов эстрадиола и прогестерона. Они сделали вывод, что окситоцин снижает реактивность мужского миндалевидного тела к эмоциональным и социальным стимулам.

Объяснить механизм влияния окситоцина на социальное поведение мужчин и женщин попробовали и ученые Китайского университета электроники и технологии в Чэнду и Сычуаньского университета при участии коллег из университета Бонна («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2016, 113, 7650—7654, doi: 10.1073/pnas.1602620113). В экспериментах приняли участие по 37 мужчин и женщин, которым закапывали окситоцин или плацебо, а затем показывали изображения лиц с нейтральным выражением или предметов (каких именно, в статье не сказано). Изображения демонстрировали то без подписи, то с подписями: хвалебными, ругательными или и теми и другими попеременно. Посмотрев на лица и предметы, испытуемые должны были оценить показанное по восьмибальной шкале (1 = мне не нравится эта персона/предмет, 8 = мне нравится). Во время выполнения заданий у испытуемых методом функциональной магнитно-резонансной томографии определяли активные участки головного мозга.

Как и следовало ожидать, самые низкие оценки получили изображения с отрицательными характеристиками, самые высокие (похвалу) — с положительными. Женщинам под действием окситоцина лица, удостоившиеся



похвалы, нравятся еще больше, чем участницам контрольной группы, принимавшим плацебо, а на отрицательные оценки гормон практически не влияет. Мужчин же окситоцин побуждает еще хуже отзываться о тех, кого характеризуют плохо, при этом о личностях с положительными характеристиками они не стали думать лучше.

В процессе одобрения/осуждения активизируется левая миндалина (в мозге их две, по одной в каждом полушарии), по-видимому, именно она отвечает за критическую оценку других людей. Окситоцин усиливает активность левой миндалины у мужчин, осуждающих людей с плохими характеристиками, и у женщин, воздающих хвалу достойным. Напротив, у мужчин, которые хвалят, и женщин, которые осуждают, окситоцин подавляет активность левой миндалины.

Левая миндалина взаимодействует с другим участком мозга — островком правого полушария. Окситоцин усили-

вает это взаимодействие у критикующих мужчин, но ослабляет у восхваляющих женщин. Все эти закономерности справедливы, когда участники эксперимента оценивают лица, но не предметы. Очевидно, окситоцин влияет на левую миндалину только при оценке социальных характеристик.

Китайские исследователи полагают, что окситоцин, как они и ожидали, влияет на социальное поведение людей, взаимодействуя с левой миндалиной. Под влиянием окситоцина женщина делает акцент на положительных качествах окружающих ее людей, старается всех примирить, со всеми поладить и обо всех думать хорошо. Тогда и ее будут любить, и, главное, детей не обидят. У мужчин задачи другие, они отгоняют от семейной группы всех подозрительных личностей, а уж с ними самими поладить — женское дело. Таким образом, окситоцин, действуя на женщин и мужчин противоположным

*Окситоцин*

образом, служит одной цели — созданию социальной среды, оптимальной для рождения и воспитания детей, и его можно с полным правом назвать гормоном семейных отношений.

Все это очень интересно, если дело обстоит действительно так. А полной уверенности в этом нет, пока ученые не знают, в какой мере закапывание окситоцина сопоставимо с его выделением в естественных условиях и как он распределяется в организме.

У «окситоцинового эффекта» есть еще одно важное следствие. Окситоцин используют для лечения различных психических расстройств, в том числе аутизма. Если его действие на женщин и мужчин различно, то различаться будет и эффективность лечения, так что медикам есть над чем поразмышлять.



## О подписке



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

*Стоимость подписки на второе полугодие 2016 года: с доставкой по РФ — 1020 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.*

### Реквизиты:

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



Художник Н. Рысс



РАССЛЕДОВАНИЕ

# Наночастицы и мозг

Кандидат биологических наук  
**Е. Н. Петрицкая**,  
кандидат физико-математических наук  
**В. А. Дёмин**

## Нано: возможности и опасности

«Нано» обозначает множитель « $10^{-9}$ », то есть нанометр — это одна миллиардная метра. Диаметр такого объекта меньше метра примерно во столько же раз, во сколько метр меньше диаметра орбиты Луны. Сегодня, согласно определению Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC), наночастицы — это объекты, размеры которых хотя бы по одному измерению не превышают 100 нм. Такие объекты человечество создает давно — например, наночастицы серебра и меди были найдены в блестящей глазури гончарных изделий IX века из Месопотамии.

Но лишь сравнительно недавно технологи научились понимать, что именно они делают, создавать наночастицы целенаправленно и контролировать их свойства. Конечно, после этого наночастиц стало больше, и по количеству, и по разнообразию. Однако всегда ли это хорошо?

Оксид титана (IV), он же двуокись титана, в виде минералов рутила или анатаза считается практически безопасным. Его наночастицы размером 5–70 нм используют для производства солнцезащитных экранов, пластиковых фильтров, косметики для защиты от ультрафиолета, а также в пищевой промышленности (пищевая добавка E171). Мировое потребление диоксида титана в виде наночастиц оценивается в 2400 тонн в год, половина этого количества идет на производство косметики.

Однако посвященные вопросам безопасности этого вещества исследования, хотя они и немногочисленны, указывают на определенную опасность. Диоксид титана поступает в органы и ткани из пищеварительного тракта или

через легкие («Archives of Toxicology», 2008, 82, 3, 151–157), вызывает воспаления в легких («Annals of Occupational Hygiene», 2005, 49, 6, 461–472, «Environmental Health Perspectives», 2007, 115, 3, 397–402). В больших дозах он влечет патологические изменения органов («Journal of Applied Toxicology», 2009, 29, 4, 330–337), а также повреждает ДНК («Cancer Research», 2009, 69, 8784).

Согласно информации производителей (хотя, возможно, отчасти и рекламной), нанокапсулы витаминов, наночастицы глюконолактата, липосомы, оксида цинка, диоксида титана и другие содержатся в средствах «после загара», кремах против воспаления и зуда, в румянах, лосьонах, моющих и очищающих средствах, декоративной косметике, бальзамах и блеске для губ, губной помаде, увлажняющих кремах и т. д. Пищевая промышленность производит до 600 продуктов питания с нанодобавками. Кетчуп, майонез, овощные супы в пакетиках и сахарная пудра содержат наночастицы, повышающие текучесть или сыпучесть, колбасные из-

деляя — нанокапсулы с консервантами, красителями и вкусовыми добавками. Такие же нанокапсулы, заполненные витаминами и минеральными веществами, добавляют в хлебобулочные изделия и прохладительные напитки. Нанотехнологии все шире используют в производстве удобрений и пестицидов, в холодильниках применяют «антибактериальные» нанопокрывания на основе серебра.

Одна из причин, по которой производители выбирают наночастицы, — их способность к проникновению через преграды и возможность максимально равномерно распределяться внутри другой субстанции. Но так же легко наночастицы могут проникать в организм контактирующих с ними людей. В первую очередь опасности подвергаются те, кто занят их изготовлением — ежедневно, на протяжении многих лет. Наночастицы слабо задерживаются стандартными защитными средствами, например респираторами, к тому же их производство пока не отнесено к разряду вредных, поэтому редко где при работе с ними применяют меры предосторожности. А внутри организма они попадают из крови в ткани и органы, даже в мозг, проникают сквозь гистогематический барьеры.

Как все это отражается на здоровье человека, неясно. В токсикологии, помимо самого механизма действия опасного вещества, выделяют еще три важных аспекта, необходимых для ответа на подобный вопрос. Это характер поступления токсина в организм (регулярно или разово), доза и степень выведения (возможность его обезвреживания и/или удаления). Если опасное вещество плохо обезвреживается или вовсе не может быть переведено в неопасную форму и удалено из организма (вымыто из тканей и выведено с выделениями), оно накапливается, что существенно увеличивает вред.

Особую опасность, на наш взгляд, представляет возможность наночастиц преодолевать гематоэнцефалический барьер, то есть проникать к нейронам головного мозга. Мы сочли, что этот вопрос требует отдельного и незамедлительного изучения.

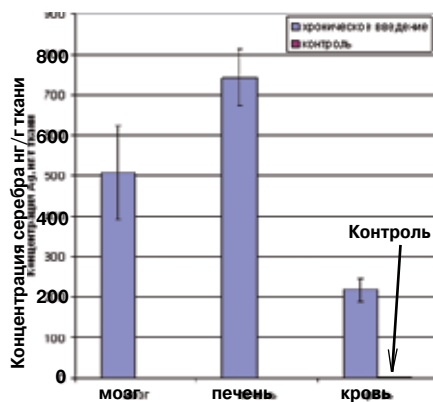
Ряд исследований на клеточных моделях *in vitro* недавно показал, что наносеребро, в отличие от микросеребра, проникает через стенки капилляров («Journal of Nanoscience and Nanotechnology», 2010, 10, 10, 6313—6317) в клетки нейроглии и нейроны, нарушая их функционирование, инициируя реакции клеточного стресса («Toxicological Sciences», 2012, 126, 2, 457—468.). Кроме того, наносеребро нарушает структуру клеток и создает помехи в работе синапсов («Toxicology», 2009, 264,

3, 179—184; «Molecular Brain», 2013, 6). Многие проведенные в начале 2000-х годов *in vivo* исследования продемонстрировали, что наночастицы серебра способны преодолевать гематоэнцефалический барьер и накапливаться в центральной нервной системе (Journal of the Royal Society. Interface», 2010, 7, S411—422).

Однако в большинстве методик наночастицы вводят внутрибрюшинно, что мало похоже на естественный путь их попадания в организм, а количественная оценка содержания наночастиц в мозге, например методами масс-спектрометрии, не учитывает возможное их остаточное содержание в русле кровеносных микрососудов мозга. (Обычно в таких методиках мозг вместе с кровеносными сосудами измельчают, растворяют и в этой массе оценивают содержание серебра.) И далеко не во всех исследованиях параллельно изучается влияние приема наночастиц на когнитивные функции животных. Поэтому мы решили поставить свой эксперимент.

## Эксперимент

Две научные группы — из Московского областного научно-исследовательского клинического института им. М.Ф.Владимирского (МОНИКИ) и Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» в рамках гранта РФФИ №15-32-20429 по конкурсу молодых ведущих ученых — занялись мышами и серебром. А именно: мы попытались выяснить характер распределения наночастиц серебра по организму животного при хроническом их приеме с питьевой водой и оценить



1 Средняя концентрация серебра в различных органах и тканях после хронического введения животному растворителя наносеребра в течение двух месяцев (2 мл в день, концентрация по серебру 55 мкг/мл). Интервалом обозначен разброс значений между особями. Количество животных — 5, погрешность методики не более 5%. Концентрация в контроле на уровне фона и погрешности — эндогенного серебра в организме нет

их проникновение непосредственно в нейрональные ткани мозга. Количество наночастиц в органах и тканях определяли с помощью гамма-спектроскопии.

Выбор наносеребра в качестве объекта исследования продиктован двумя основными причинами. Во-первых, наши более ранние работы по определению токсичности наночастиц серебра показали их весьма слабую общую токсичность для молодых мышей, фактически их нейтральность в бактерицидном плане (см. «Химию и жизнь», 2012, 10). Поэтому можно было ожидать, что, если удастся выявить какие-то эффекты, они не будут связаны с общей токсичностью вещества. Во-вторых, серебро удобно для гамма-спектроскопии. (Химический анализ содержания серебра в тканях в данном случае неприменим — речь идет о нанограммах.) Этот метод заключается в том, что высушенные образцы тканей животных облучают потоком нейтронов в ядерном реакторе, из-за чего накопленное серебро превращается в свои радиоактивные изотопы, количество которых можно рассчитать по объему испускаемого ими гамма-излучения (подробнее см. нашу статью в журнале «Российские нанотехнологии», 2015, № 1—2). Для нас было важно, что гамма-спектроскопия позволяет различать серебро в тканях и в кровеносных сосудах этих тканей, и даже в остаточной крови на стенках сосудов. Так можно отличить серебро, прошедшее через гематоэнцефалический барьер, от серебра в сосудах головного мозга, которое вроде бы находится «в голове», однако барьер не прошло и в ткани собственно мозга не попало.

Это удастся сделать потому, что радиоактивность образца ткани оценивается не только по меченому элементу — серебру, но и по изотопу железа  $^{59}\text{Fe}$ , которое сосредоточено в эритроцитах крови. По активности железа определяют максимальное количество (массу) остаточной крови в исследуемом органе. Далее по измеренной удельной активности серебра в образцах крови вычисляют максимально возможную активность серебра в кровеносных сосудах. Соответственно оставшаяся активность серебра в органе по серебру обусловлена его содержанием в тканях — по другую сторону от полости кровеносных сосудов. Природного (эндогенного) серебра в организме нет.

По нашим данным, наночастицы через пищевой тракт и кровь попадают практически во все внутренние органы, не исключая мозг. При этом из мозга, в отличие от других органов, наночастицы практически не выводятся даже в течение нескольких месяцев после прекращения приема. Содержание их со временем стано-



3  
Мышь на платформе

вится близким по порядку величины к такому в печени — основном органе, утилизирующем токсины.

Итак, накопление наночастиц в мозге налицо: через гематоэнцефалический барьер они проходят в нервную ткань, а назад выйти почему-то не могут. Возможно, это определяется особенностями строения самого барьера и способом питания нейронов мозга — не прямо от кровеносных сосудов за счет диффузии веществ, а через промежуточные активные клетки глии, которых в нервной ткани во много раз больше, чем нейронов, и для которых показано преимущественное накопление прошедших гематоэнцефалический барьер наночастиц («Toxicological Sciences», 2012, 126, 2, 457–468).

Мы предположили, что воздействие наночастиц каким-то образом влияет на работу мозга. Это можно проверить, сравнив работоспособность мозга до и после употребления наночастиц, а также в контроле у животных, не принимавших их.

Важный момент в подобных исследованиях — выбор методики: что мы примем за показатель работоспособности мозга. Обычно выбирают какую-нибудь

из так называемых высших функций мозга, требующих согласованной работы едва ли не всех его частей. Например, для этого применяется поведенческий тест под названием «водный лабиринт Морриса», который показывает, насколько животное способно ориентироваться в пространстве, как у него развита пространственная память. Грызуны пускают на определенное время плавать в круглом белом бассейне, в котором установлена белая же платформа чуть ниже уровня воды. Животному в воде не нравится, поэтому оно стремится из нее выбраться. Однако обнаружить платформу непросто, так как вода забелена молоком или мелом. Пловцу придется воспользоваться ранее приобретенным опытом и приметными ориентирами — плакатами на стенах, обстановкой лаборатории. Критерием работы мозга в данном случае служит время обнаружения платформы, а также его уменьшение от эксперимента к эксперименту — чем лучше животное помнит, где платформа, тем меньше ему требуется времени, чтобы до нее добраться.

Мыши, которых использовали в эксперименте (нелинейные SHK), предпочитали разные варианты поведения в тесте Морриса — об этом мы знали заранее, по литературным данным. Способные мыши (примерно 20% от всех) явно обследовали бассейн, и с нахождением платформы у них проблем не возникало. Мыши средних способностей металась по бассейну, наталкивались на платформу случайно. Наконец, неспособные просто оставались у бортика бассейна либо лежали неподвижно на воде, поэтому ничего не находили (подробнее см. «Российский физиологический журнал им. И.М.Сеченова», 2016, № 1, 3–17). В дальнейшем мы работали только со способными мышами, которые действовали разумно и находили платформу все быстрее раз от раза.

Отобранных животных разделили на две группы (11 и 9 особей). Первая группа два месяца получала для питья раствор наночастиц с концентрацией серебра 55 мкг/мл, в среднем мышь выпивала 2 мл раствора в день (110 мкг частиц в день на особь), вторая группа, контрольная — чистую воду без наночастиц. После приема наночастиц ориентирование и пространственная память мышей явно ухудшились. У большинства направленный поиск сменялся беспорядочным метанием. Среднее время нахождения платформы в группе после приема наночастиц превысило 2 минуты ( $135 \pm 55$  с), а до приема было менее 1,5 ( $86 \pm 50$  с), в контрольной же группе —  $78 \pm 46$  с. Изменилась динамика времени нахождения платформы по дням эксперимента: до приема наночастиц время отчетливо снижалось, а после приема даже несколько возрастало.

Конечно, эти результаты предварительные. Сегодня у нас в эксперименте 100 особей, и работа рассчитана на несколько лет. Как именно накопление в мозге наночастиц серебра влияет на когнитивные функции, более точно покажут дальнейшие опыты. Однако даже на основании предварительных результатов можно сказать, что такое влияние есть. Поэтому параллельно с развитием нанотехнологий должны развиваться, причем опережающими темпами, исследования в области профпатологии и охраны труда рабочих промышленных предприятий, имеющих дело с наночастицами.

#### Литература

Соколова О.С. Наночастицы диоксида титана в различных кристаллических формах в составе солнцезащитных кремов. Токсикологический вестник. 2012, 3, 38–42.

Абаева Л.Ф., Шумский В.И., Петрицкая Е.Н., Рогаткин Д.А., Любченко П.Н. Наночастицы и нанотехнологии сегодня и завтра. Альманах клинической медицины. 2010, 22, 10–16.



2  
Бассейн для теста Морриса



Художник Н. Воробьев

# У истоков счастья

Доктор социологических наук

**П. М. Козырева,**

доктор социологических наук

**А. И. Смирнов**

## Мнения и определения

— В чем счастье, по-вашему?

Покой, богатство, честь —

Не так ли, други милые?

Они сказали: «Так»...

Н. А. Некрасов. Кому на Руси жить хорошо

Каждый человек хочет быть счастливым — это главный ориентир существования и развития, цель деятельности и чаемый результат усилий. Однако феномен счастья с трудом поддается научному исследованию.

Сложность анализа и обсуждения проблемы связана с огромной разницей судеб людей, с трудностями поиска единых подходов — для каждого человека понятие счастья конкретно, индивидуально. Можно сказать, что каждый счастлив по-своему: «одним счастьем кажется добродетель, другим — рассудительность, третьим — известная мудрость, а иным все это вместе или что-нибудь одно в соединении с удовольствием или не без участия удовольствия, есть и такие, что включают в понятие счастья и внешнее благосостояние» (Аристотель).

На уровне обыденного сознания счастье зачастую отождествляется с благосостоянием, высшим благом, рассматривается как наивысшее достижение, включающее в себя все желаемые приобретения, в том числе богатство, здоровье, работу, славу, любовь, уважение, спокойствие, семью, детей, радости жизни

и т. д. Но при таком подходе, как полагают многие, происходит смешение счастья и средств его достижения, которые иногда выстраиваются в длинную цепочку последовательных шагов. Французский просветитель Клод Адриан Гельвеций (1715—1771) по этому поводу написал: «Если могущество и богатство являются средствами стать счастливыми, то не следует все же смешивать средства с самой вещью; не следует покупать ценой излишних забот, тягот и опасностей того, что можно иметь дешевле. Словом, в поисках счастья не следует забывать, что мы ищем счастье, а не чего-либо другого».

Обобщая различные точки зрения, польский исследователь Владислав Татаркевич (1886—1980) в фундаментальном труде, посвященном проблемам счастья и человеческого совершенства, выделил четыре основных значения данного понятия: 1) благосклонность судьбы, удача, удавшаяся жизнь, везение; 2) состояние интенсивной, глубокой радости; 3) обладание наивысшими благами, положительный баланс жизни; 4) чувство удовлетворения жизнью. Мы видим разнообразие толкований, но большинство людей подразумевают под счастьем либо состояние, когда человек испытывает радость или другие позитивные эмоции, либо удовлетворенность жизнью. Именно второго значения придерживается Философский энциклопедический словарь (1989), определяя счастье как состояние человека, которое соответствует наибольшей внутренней удовлетворенности условиями бытия, полноте и осмысленности жизни, осуществлению своего назначения.

Обобщая, можно считать, что счастье означает наиболее общую и эмоционально окрашенную, чувственную оценку человеком собственного жизненного пути, ощущение успешной или неуспешной жизни, самореализации определенных внутренних импульсов. Так как многие люди не задумываются или ясно не осознают, куда и зачем они идут, чего добиваются в жизни, каков их жизненный путь, эта оценка предполагает интенсивное участие интуиции и воображения. И в то же время, поскольку у каждого не только своя жизнь, но и свои интуиция и воображение, счастье — индивидуальное достояние каждого.

Главное различие, определяющее особенности представлений о счастье, проходит по линии разделения гедонистического и эвдемонистического восприятия жизни и, следовательно, по характеру основных ценностных ориентаций. Странники гедонистического мировоззрения связывают счастье со стремлением к наслаждению или удовольствию, носители эвдемонистического восприятия жизни — с реализацией человеком собственных уникальных достоинств и добродетелей. Для одних универсальный рецепт счастья состоит в сохранении спокойствия, расслабленном принятии происходящего, другие отвергают саму мысль о счастье как отсутствии переживаний, поскольку это может свидетельствовать лишь об ослаблении жизненного начала, омертвлении и усталости.

## Общая картина

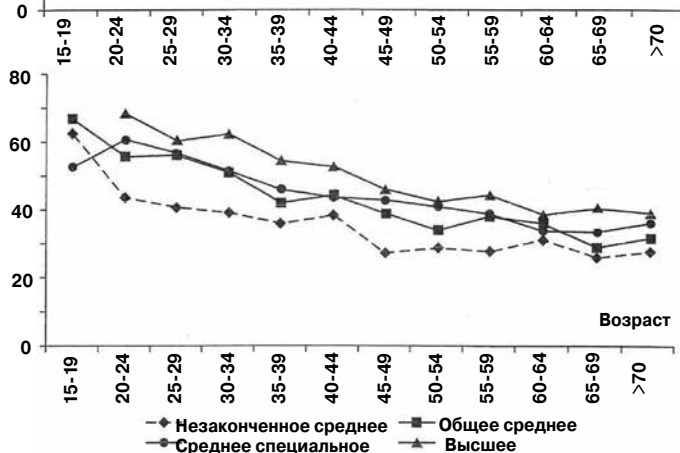
... Сошлись — и заспорили:

Кому живется весело,

Вольготно на Руси?

Представления россиян о счастье, предпосылках и источниках счастливой жизни в современной России становятся предметом социологических исследований. Одно из них было начато в 1994 году — Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения НИУ «Высшая школа экономики» (RLMS-HSE), который ведут НИУ ВШЭ и ЗАО «Демоскоп» при участии Центра народонаселения Университета Северной Каролины в Чапел-Хилле и Института социологии РАН ([www.hse.ru/org/hse/rlms](http://www.hse.ru/org/hse/rlms), [www.cpc.unc.edu/projects/rlms](http://www.cpc.unc.edu/projects/rlms)).

Согласно данным этого мониторинга, в 2014 году более 44% россиян относили себя к очень счастливым и довольно счастливым людям и еще около 38% указывали, что они скорее счастли-



Процент людей, считающих себя счастливыми

вы, чем нет (см. рис.). То, что так много людей, находящихся на разных и даже далеко отстоящих друг от друга ступенях материального благосостояния, власти, уважения, профессионального мастерства, достигают внутреннего комфорта и считают, что их жизнь складывается удачно, подтверждает мнение, что каждый человек счастлив по-своему. Счастливая жизнь необязательно должна быть максимально интенсивной, насыщенной и удачной, важно найти баланс желаемого и возможного, желаемого и требуемого. Многие зависят от того, насколько жизненная практика человека соответствует намерениям, замыслам, ценностным установкам, какие последствия те или иные события имеют для его внутреннего мира.

Счастье как состояние наивысшей внутренней удовлетворенности условиями существования, наиболее полного внутреннего комфорта, ощущения полноты жизни не исключает даже у самых счастливых людей недовольства отдельными сторонами жизни: отношениями в семье, в коллективе, теми или иными аспектами трудовой деятельности, состоянием здоровья и т. д. Среди трудоустроенных респондентов, считающих себя «очень счастливыми» и «довольно счастливыми», почти 27% не удовлетворены условиями труда, свыше 40% — возможностями для профессионального, карьерного роста, 53% — оплатой.

В целом мужчины счастливее женщин, однако картина зависит от возраста. Молодые женщины чаще считают себя счастливыми, чем мужчины, к 30 годам показатели сравниваются, а после 40-летнего рубежа ситуация меняется на противоположную. Сокращение количества счастливых людей приостанавливается у женщин после 50 лет, а у мужчин после 60-ти.

В представлениях россиян о счастье первые позиции среди определяющих факторов занимают материальный достаток, семья и здоровье. Материальный фактор играет для нынеш-

них россиян гораздо большую роль, чем для граждан высокоразвитых государств. Весьма значимы также стабильность и уверенность в будущем, любовь, успех, свобода, справедливость. С возрастом изменяется относительная важность тех или иных оснований счастья. Молодые люди связывают его прежде всего с наличием надежных друзей, любовью, материальным благосостоянием, удачной женитьбой или замужеством, интересной работой, хорошим образованием. По мере повышения возраста все большее значение приобретают семья, дети и здоровье.

## Материальные и семейные основы счастья

— Мне счастье в девках выпало:  
У нас была хорошая,  
Непьющая семья.

Счастливые люди успешнее справляются с жизненными трудностями и меньше обеспокоены материальными проблемами, чем считающие себя небогатополучными. И в то же время далеко не всегда граждане, которые становятся богаче, в большей степени удовлетворены жизнью и более счастливы. Особенно трудно быть счастливым, когда происходит конфликт между постоянным стремлением к материальному достатку, ставкой на успех любой ценой и желанием сохранять спокойствие, сдержанность, уравновешенность.

Значительное улучшение материального положения увеличивает долю респондентов, считающих себя счастливыми, более чем в полтора раза. Однако положительное влияние роста благосостояния на состояние счастья обнаруживается не всегда, а лишь до достижения определенного уровня богатства.

Одна из заметных тенденций, сопровождающих рост доходов, — возрастание требовательности граждан, повышение уровня их материальных и социальных притязаний. При этом изменяются критерии оценки — с ростом благосостояния все большая доля людей начинает судить о своем уровне жизни, сопоставляя его не со своим вчерашним днем, а с жизнью более обеспеченных граждан. Особенно это характерно для молодых людей из обеспеченных семей, которые устроились на престижную и хорошо оплачиваемую работу. Усвоение новых, более высоких моделей материального потребления часто усиливает недовольство достигнутым и стимулирует стремление к завоеванию новых вершин благосостояния, снижая уровень удовлетворенности. Чем более состоятельными становятся такие люди, тем труднее им быть счастливыми.

С другой стороны, свыше трети респондентов, занимающих низшие ступени на шкале материального благосостояния, смотрят на жизнь с оптимизмом и относят себя к категории счастливых. Это может быть следствием скромных притязаний, врожденной привычки позитивно относиться к окружающей действительности, меньшей склонности к переживаниям по поводу того, что не в силах изменить. Среди счастливых много людей, которые не завистливы, привыкли довольствоваться малым, не стремятся иметь все, а умеют без излишних переживаний обходиться тем, что есть. Немало и таких, кто ценят не столько достаток, обладание теми или иными благами, сколько материальную независимость.

Четко прослеживается тенденция, показывающая, что уровень счастья тем выше и прочнее, чем больше уверенность в лучшем будущем для себя и семьи. Зачастую возросший социальный оптимизм выражает не столько позитивную оценку существующей реальности, сколько укрепление представлений о благоприятных перспективах. Супружество, повышая ощущение счастья у многих граждан, не увеличивает общего количества счастливых людей. По мере приближения к пенсионному возрасту число семейных пар, которые теряют ощущение счастья, нарастает. Среди женатых и замужних респондентов практически столько же счастливых, сколько среди респондентов, никогда не состоявших в браке. А в когорте женщин, заключивших повторные браки, даже снижается процент получающих позитивные эмоции от жизни. Еще менее уютно чувствуют себя мужчины и женщины, проживающие вместе без регистрации отношений. Но особенно заметно уменьшают ощущение счастья раздельное проживание в зарегистрированном браке, вдовство и развод.

И мужчины, и женщины, имеющие детей моложе 18 лет, счастливее тех, у кого дети уже выросли и покинули родительский дом. И чем больше у них детей, тем больше среди них счастливых. Менее других довольны жизнью бездетные женщины, тогда как наиболее счастливы женщины, которые находятся в декретном отпуске, в отпуске по уходу за ребенком до трех лет с сохранением рабочего места, а также домохозяйки, воспитывающие несовершеннолетних детей и ухаживающие за другими членами своих семей. Женщины, имеющие детей, даже если их брак неудачен, чувствуют себя более счастливыми, чем бездетные женщины, считающие свой брак успешным.

К числу важнейших оснований счастливой жизни относится здоровье. Именно его ухудшением в немалой степени объясняется тот факт, что с возрастом все меньше людей чувствуют себя счастливыми. Очевидно также, что не только здоровье служит предпосылкой счастливой жизни, но и ощущение счастья помогает сохранить или улучшить здоровье, увеличивает продолжительность жизни. Счастливые люди меньше болеют, у них выше психологическая устойчивость, самообладание, они реже вступают в конфликты и успеха в жизни добиваются чаще.

## Работа и счастье

*«Да в чем же ваше счастье?»  
— А вот гляди (и молотом,  
Как перышком, махнул):  
Коли проснусь до солнышка  
Да разогнусь о полночи,  
Так гору сокрушу!*

Следующая важнейшая предпосылка счастья — работа. Главный, а зачастую единственный источник дохода, работа определяет материальное положение человека и его семьи. Она позволяет найти достойное место в жизни и реализовать себя, с наибольшей пользой применить свои таланты и способности, помогает сформировать круг друзей и удовлетворять потребность в общении. Труд объединяет индивидов в социальный организм, являясь транслятором культуры и условием ее развития. Вид работы и ее результаты в значительной степени определяют жизнь людей, делают ее гармоничной.

Среди респондентов, имеющих работу, в два с лишним раза больше тех, кто считает себя счастливыми, чем среди неработающих. Счастье приносят не только — а иногда и не столько — высокие заработки, сколько возможность реализовать себя, творить, помочь людям, ощущать сопричастность. Когда работа не дает возможности удовлетворения «социальности», это порой заканчивается серьезными деформациями нравственной составляющей отношения к труду. Под жестким давлением материальных проблем трудовая мораль перестает ориентироваться на общественные цели и ценности, ограничивая свою сферу только сиюминутными интересами.

В целом безработные намного чаще ощущают себя неудачниками, чем трудоустроенные, особенно если они остались без работы после 45 лет. С возрастом на ощущение счастья все сильнее влияет беспокойство о возможной потере работы и все слабее — уверенность в способности найти новую работу: даже если найдешь, не хочется терять старую. При этом ослабевают связи между счастьем и удовлетворенностью работой в целом и отдельными ее сторонами. Отсутствие работы — значимый фактор, снижающий уровень счастья у мужчин пенсионного возраста, тогда как у пожилых женщин его влияние не столь заметно. Для многих пенсионеров прекращение трудовой деятельности означает не только уменьшение достатка, но и лишение возможности ощущать себя полезным, утрату интересного занятия, коллег и товарищей по работе.

Счастливые люди более ценны для работодателей. Согласно данным одного из последних исследований британского Университета Уорвика, человек, довольный жизнью, работает в среднем на 12% продуктивнее. Поэтому если компания стремится делать своих работников счастливее, это окупается. Исследование подтвердило, что более счастливые люди добросовестнее работают и реже болеют. Результаты нашего мониторинга убеждают, что в трудовых коллективах, где большинство людей счастливо, выше общая удовлетворенность трудом и удовлетворенность наиболее значимыми его сторонами. В таких коллективах выше сплоченность и эффективность работы, меньше проблем в общении, непонимания, напряженности, враждебности и недоверия. Люди, считающие, что их жизнь складывается хорошо, к важнейшим условиям благополучия чаще относят добросовестный труд, активность и инициативу. Они в большей мере заинтересованы выполнять работу с высоким качеством.



Художник А. Лебедев

## К счастью через общение и доверие

*Почет завидный, истинный,  
Не купленный ни деньгами,  
Ни страхом: строгой правдою,  
Умом и добротой!*

Замечено, что счастливые люди заражают хорошим настроением и оптимизмом окружающих, тогда как вокруг несчастливых формируется негативная социально-психологическая среда. И чем ближе взаимодействующие лица, тем выше у них вероятность «заразиться», улучшить или ухудшить свое эмоциональное состояние.

Американские ученые Николас Кристакис и Джеймс Фаулер (см. их книгу «Связанные одной сетью». М.: Юнайтед Пресс, 2011), опираясь на данные 20-летнего исследования, утверждают, что счастье, как, впрочем, и тревога, политические пристрастия, депрессия, агрессия и многое другое, распространяется внутри социальных сетей подобно инфекции. По мнению этих ученых, позитивное восприятие жизни не определяется исключительно профессиональной успешностью, активной личной жизнью и здоровьем. Большое значение имеет среда. Если в окружении человека преобладают доброжелательные, счастливые и улыбчивые люди, то их мироощущение передается и ему. Шанс человека стать счастливым увеличивается в среднем на четверть, если счастлив его лучший друг. Если счастлив друг лучшего друга, то на 10%. И даже если счастливы знакомые наших знакомых, наши шансы повышаются на 5%. А вот каждый негативный опыт общения в 7% случаев способен вызвать ощущение несчастья.

С психологической точки зрения механизм действия «социальных вирусов» состоит в том, что мы подсознательно стремимся быть похожими на тех, кто нас окружает, чтобы стать своими в группе. Людям свойственно настраиваться на волну тех, кто рядом. Поэтому чем чаще мы общаемся с довольными людьми, тем выше наши шансы если не на счастье, то хотя бы на хорошее настроение. Другая гипотеза состоит в том, что счастливые люди распространяют его напрямую, неосознанно проявляя щедрость тем или иным образом.

Психологические объяснения подкрепляются биологически обоснованными механизмами эмоциональных состояний. Так, итальянский нейробиолог Джакомо Риццолатти основывает его на открытии зеркальных нейронов, которое он с коллегами из университета Пармы сделал в 1992 году. Зеркальные нейроны — это нейроны головного мозга, которые возбуждаются и при выполнении того или иного действия, и при наблюдении за тем, как это же действие выполняет другое животное. По-видимому, они обеспечивают способность высших животных представлять себе состояние другого, а также обучаться путем подражания. Риццолатти, в частности, доказал, что кроме зеркальных нейронов действия имеются эмоциональные зеркальные нейроны (см. книгу Джакомо Риццолатти и Коррадо Синигальи «Зеркала в мозге. О механизмах совместного действия и сопереживания». М.: Языки славянских культур, 2012). Именно последние помогают людям без всякого мыслительного анализа воспринимать эмоции других людей, видя лишь мимику и жесты. Это происходит потому, что благодаря «отражению» в мозге человек сам начинает испытывать те же ощущения. Так, если он общается с позитивным, жизнерадостным человеком или смотрит фильм с таким героем, у него возникают такие же эмоции. Он как бы заражается радостью, позитивом, счастьем. Более высокая способность женщин к пониманию и сочувствию объясняется наличием у них большего количества зеркальных нейронов в эмоциональной системе. Действительно, анализ данных RLSMS-HSE показывает, что в семьях, в которых счастливы родители, гораздо чаще бывают счастливы и дети. У абсолютно счастливых родителей вероятность того, что будут счастливы и их дети, достигает 80%. По-видимому, и дети аналогичным образом влияют на родителей.

Замечено также, что чем больше у людей родных, друзей и знакомых, чем чаще им удается с ними общаться, получать от них моральную поддержку и другую помощь, тем счастливее они себя чувствуют. С возрастом, когда круг общения сужается и все более серьезной становится проблема одиночества, ухудшается социальное самочувствие и снижается ощущения счастья. Очевидно, что у людей, которые теряют близких и все чаще чувствуют себя одиночками, гораздо меньше поводов для радости, и в современном обществе много предпосылок для обострения этой проблемы. Одиночество превращает человека во внутреннего или внешнего аутсайдера, теряющего области соприкосновения с социумом, делая

Художник Н. Воробьев



ОБЩЕСТВО

из него стороннего наблюдателя важнейших общественных событий. Среди людей, которые одиноки практически всегда или часто, несчастливых почти в четыре раза больше, чем счастливых, — 51 и 13% соответственно.

К позитивным тенденциям нового времени следует отнести ослабление враждебности, нетерпимости в обществе и нарастание уровня межличностного доверия как одного из основных факторов счастливой жизни, которое наблюдалось до 2014 года. Сопоставление данных мониторинга 2006 и 2014 годов выявило уменьшение доли респондентов, полагающих, что в отношении с другими людьми всегда надо быть осторожными, — с 56 до 43%, и увеличение удельного веса граждан, считающих, что доверять или не доверять людям следует в зависимости от оценки их индивидуальных качеств и других важных обстоятельств, — с 27 до 38%. На указанном временном интервале увеличилось также с 15 до 18% количество граждан, полагающих, что большинству людей можно доверять. Но в целом уровень межличностного доверия в нашем обществе остается пока невысоким.

Укрепление доверия, улучшение взаимоотношений с окружающими повышают уровень ответственности жизнью и усиливают ощущение счастья. Доверчивые и счастливые люди более дружелюбны, стараются жить в согласии с окружающим миром, находят общий язык с людьми. Среди работников, полностью доверяющих коллегам, а равно и руководству, доля считающих себя счастливыми в полтора с лишним раза выше, чем среди остальных.

Таким образом, для многих россиян, переживших колоссальные трудности переходного периода, материальный достаток — очень важное, но все же не единственное основание считать себя счастливым. Многие связывают счастье с тем, чтобы жить интересно, активно и насыщенно, иметь хорошую семью и воспитанных, образованных детей, увлекательную, творческую работу. Мужчины чаще, чем женщины, считают необходимой для счастья интересную работу, тогда как женщины больше значения придают семейному благополучию. У пожилых людей, особенно с невысоким образовательным уровнем, стремление к материальному благополучию и сохранению здоровья важнее интересной работы, тогда как молодежь обращает внимание на содержательные аспекты труда, возможность карьерного роста. Чаще других выдвигают на первый план ценности, связанные с трудом, лица с высшим образованием.

Россияне мечтают об экономически развитом и справедливом обществе, где господствует добродетель, а доходы людей всецело обусловлены их трудом и квалификацией, где люди живут в согласии с совестью и имеют возможность реализовать свои способности. Особенно сильно граждан тревожит недостаток или отсутствие социальной справедливости, под которой они понимают прежде всего право народа распоряжаться природными богатствами, преодоление социально-экономического неравенства, равные шансы на получение хорошего образования и медицинского обслуживания.





# ЖИЗНЬ В ЧЕРНОЙ ДЫРЕ

МЕМУАРЫ ИГНОБЕЛЯ

Художник В. Камаев



Кандидат  
физико-  
математических  
наук

**С.М.Комаров**

**Вопрос «как оно там, в центре черной дыры?» уже более столетия волнует просвещенное человечество. Теоретики извели тонны бумаги, чтобы изложить свои соображения, придумали десятки сложных для понимания теорий, однако ясность в этот вопрос внес американский телевизионный проповедник Джек Ван Импре, который 31 марта 2001 года на 12-й минуте своей проповеди определил ситуацию одной фразой: «Там все, как в аду». Эта простая констатация принесла ему и его соведущей Рокселле Ван Импре заслуженный нанограмм золота как приложение к Игнбелевской премии по астрофизике 2001 года. Впрочем, физики особого внимания на прозрение Ван Импре не обратили, а продолжили выстраивать многострочные уравнения, описывающие искажения метрики пространства при участии разного рода гамильтонианов с квантово-механическими добавками.**

## Об устройстве ада

Вопрос о том, как именно устроен ад, не так прост, как кажется. Главная проблема состоит в поиске достоверного источника.

Конечно, можно взять в его качестве нечто образное, вроде той картины, что намалевал кузнец Вакула, — где святой Петр выгоняет черта из ада. Однако сам-то Вакула в аду никогда не был, а если и общался с чертом, так это потому, что словил его в родном селе. И работник попа Балда в этом деле не помощник, он тоже дурил чертей на земле. Одиссей входит в число тех немногих героев, кто побывал на берегу реки Стикс и даже при помощи магической жидкости, в данном случае крови, пообщался с обитателями царства Аида, однако подробности об устройстве этого царства в повествовании Гомера опущены. И вообще не факт, что Аид и христианская преисподняя — это одно и то же место. Поэтому сведения приходится собирать в буквальном смысле слова по крупицам. Такую скрупулезную работу уже провел Генри А. Келли, профессор Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, который специализируется на истории литературы, искусства и религии, в частности, демонологии и написал фундаментальный труд «Сатана. Биография». Из него нетрудно узнать, что у преисподней весьма сложный рельеф и пестрый состав населения.

Согласно иудейскому преданию, первые обитатели появились в ней вскоре после изгнания Адама с Евой из рая. Так, в Книге Бытия сказано, что сыны Божии стали входить к дочерям человеческим,



В Новом Завете, а именно в Апокалипсисе, появляется огненное озеро, в котором подручные хозяина подземного мира то ли уже жарят, то ли будут жарить души грешников. Еще один обитатель ада — сам Князь мира сего: его туда помещает сам Христос во время своего сошествия в ад и заключает в оковы на некий срок. Согласно еще одному апокрифу — Евангелию от Никодима при этом он разбивает старые ворота, лишает Аида (Гадеса) его владений и выводит из них души праведников, чьи имена перечислены в некоей книге. Интересно, что операция по выводу, так называемое боронование ада, проходит не единожды: в том же апокрифе Гадес жалуется, что Христос уже изымал из его внутренностей душу Лазаря.

В переводе на физический язык — мы видим, что ад состоит из низкоэнергетической части (пещеры) и двух высокоэнергетических частей, одна из которых (огненная бездна) лишена границы, а вторая (озеро) ограничена как минимум по двум координатам — длине и ширине. Внутри находится три вида материи — ангелы и некие бестелесные образования двух типов: духи исполинов и души людей, причем последние способны совершать путешествие в обе стороны. Вероятность перемещения зависит от содержащейся снаружи информации о них, а при определенных обстоятельствах возможна передача информации изнутри наружу. Интересна и та особенность, что нигде не сказано, что способность преисподней к помещению вновь прибывающей материи как-то ограничена.

### Внутри черной дыры: классический подход

А что у нас с черной дырой? Согласно классическому описанию, следующему из общей теории относительности Альберта Эйнштейна, она возникает при условии, что деформация пространства-времени, вызванная концентрацией массы-энергии, превосходит некий предел. Граничное значение определено простейшим решением уравнения Эйнштейна, которое получил Карл Швацшильд: деформация на границе черной дыры такова, что свет не может ее покинуть и движется по окружности. Это приводит к тому, что из черной дыры наружу ничто выйти не может и сторонний наблюдатель ее не видит. Более того, для него на границе дыры — так называемом горизонте событий — время останавливается. Внутри черной дыры пространство чрезвычайно искривлено и где-то, а также когда-то в глубине этого странного пространства-времени находится сингулярность: в ней обрываются так называемые мировые линии, то есть траектории в пространстве-времени, по которым движутся все материальные тела; фактически это бездна, поскольку в ней пропадают сами понятия пространства и времени. Поскольку в сингулярности деформации пространства-времени фактически бесконечны, приближаясь к ней, любой материальный, то есть конечный объект когда-нибудь обязательно подвергнется столь высокоэнергетическому воздействию, что обратится в ничто, причем случится это за конечное время.

Сильная деформация пространства внутри дыры ведет к серьезным проблемам с вычислением объема. В обычном, недеформированном мире все просто: перемножаем высоту на ширину и длину и получаем объем. Внутри дыры не так. В частности, проблема состоит в том, что радиальная координата (а расчеты внутри дыры ведут в сферической системе, которая задана радиусом и двумя углами) — это не только способ измерения расстояния от поверхности дыры в ее глубь, но еще и способ измерения времени; фактически внутренность дыры — это растущий четырехмерный цилиндр. Его надо нарезать на слои равного значения времени и потом из них складывать объем дыры, что не раз делалось разными способами и с разными количественными результатами. В некоторых случаях внутри дыры солнечной массы помещалась целая вселенная — и даже наша Вселенная, по мнению некоторых теоретиков, уместилась внутри какой-то черной дыры, причем в качестве ее границы мы видим ту самую сингулярность, с которой все и началось почти четырнадцать миллиардов лет тому назад. Более консервативная оценка дает просто гигантский, но конечный объем.

и они стали рождать им: это сильные, издревле славные люди, которых еще называли исполинами. Широко распространенный в древности апокриф — Книга Еноха — конкретизирует ситуацию: двести ангелов, прозываемых Бодрствующими, или Стражами, забросив свои функции, стали ходить к дочерям человеческим и соблазнять их. Возглавлял их Семияз, а главным учителем порока стал Азazel. Этим-то недобросовестных стражей и поместили в темные пещеры, ожидать Страшного Суда, после чего им уготована огненная бездна. Интересно, что аналогичная судьба, по мнению древних греков, постигла других могущественных существ — титанов, которые были на веки вечные низвергнуты в бездну Тартара, то есть в место, лишенное дна. Это вовсе не царство Аида, поскольку охранять Тартар поставлены первенцы Урана и Геи — гекатонхейры, а в подручных у Аида ходит трехглавый Цербер, порождение Ехидны, которая и сама пребывает в Татраре.

Следующим поселенцами подземного мира стали духи исполинов. Само потомство падших ангелов было истреблено, однако в другом апокрифе — Книге Юбилеев — Ной жалуется, что их духи сохранились, приходят и опять соблазняют и даже убивают его внуков. Этим духам велено было заточить до Страшного суда, но по просьбе их начальника десятую часть оставили, чтобы было кому подвергать испытаниям благочестие людей.

Например, черная дыра, находящаяся в центре Галактики, имеет видимый снаружи радиус  $10^6$  км, а возраст —  $10^9$  лет. Подставляя эти данные в формулу, Мариос Христулу и Карло Ровелли из Тулонского университета подсчитали, что ее объем сейчас равен  $10^{34}$  км<sup>3</sup>, то есть она способна вместить миллионы Солнечных систем (arXiv:1411.2854v3 [gr-qc], 16 марта 2015 года). Таким образом, рассуждения о плотности вещества в черной дыре при ее переменном объеме, как и мысли о том, хватит ли места для поглощаемой материи, лишены смысла.

## Внутри черной дыры: квантовый подход

Наличие внутри дыры сингулярной бездны совсем не радует физиков. Наученные горьким опытом краха классической физики в начале XX века, они знают, что если что-то становится бесконечным, значит, проблема не с физической реальностью, а с теорией, которая перестает эту реальность описывать. Причина в данном случае понятна: деформация пространства-времени с некоторого момента оказывается неподъемной для классических методов. Чтобы исправить ситуацию, физики обращаются к квантовой механике и пытаются придумать теорию квантовой гравитации. Она еще не создана, однако отдельные интересные идеи на этом пути удается сформулировать.

Возможно, самым значимым стало явление Стивена Хокинга, который сумел вывести часть материи из черной дыры с помощью излучения, названного его именем. Сделал он это, развивая идеи В.Н.Грибова, Я.Б.Зельдовича и А.А.Старобинского. Суть идеи такова. В основе квантовой механики лежит представление о том, что положение каждого объекта задается не конкретным числом, а вероятностью его нахождения в данном месте или состоянии. Положение не может быть задано точно — этому мешает соотношение неопределенности, выраженное через постоянную Планка. С ее помощью удается задать масштаб, на котором еще имеет смысл говорить о непрерывном пространстве-времени. Соответствующие числа называют планковским масштабом: планковская длина —  $1,6 \cdot 10^{-35}$  м, время —  $5,4 \cdot 10^{-41}$  с, масса —  $2,1 \cdot 10^{-8}$  кг. На планковском масштабе расстояний и времен вакуум становится пенной из виртуальных частиц, которые порождают пары «частица-античастица» и мгновенно исчезают, как будто ничего и не было. Если же такая пара родится вблизи горизонта событий черной дыры, то одна из частиц может туннелировать внутрь, и тогда оставшейся снаружи частице не с кем станет сливаться. Она и полетит прочь, унося часть энергии, а стало быть, и массы черной дыры. Тонкости этого процесса обсуждают многие исследователи, вывод же получается такой: с течением времени черная дыра, если в нее не поступает новая материя или скорость такого поступления мала, будет испаряться. И чем меньше дыра, тем более тяжелые и энергичные частицы из нее полетят. Поэтому в конце концов дыра взрывается, выплескивая из себя всю энергию, что оказалась свободной. Как выясняется, это отнюдь не вся энергия, накопленная в дыре: часть энергии скована энтропией. Получается неунитожимый остаток черной дыры, материя в котором заключена навсегда. Считается, что подобные остатки дыр — неплохие кандидаты на роль темной материи.

А можно ли узнать, что за материя остается в черной дыре? Единства мнений по этому вопросу нет. С одной стороны, излучение Хокинга таково, что по нему нельзя ничего узнать о происходящем внутри. Его спектр отвечает спектру абсолютно черного тела, то есть определяется так называемой температурой дыры, а она, в свою очередь, зависит от массы: тем больше, чем дыра легче. Это плохо, потому что в результате теряется информация о той второй частице, что провалилась в дыру: такая потеря информации противоречит основам квантовой механики. Но с другой стороны, можно попытаться найти выход. Например, такой: вследствие квантовой запутанности состояние улетевшей прочь частицы связано с состоянием упавшей внутрь. При этом с течением времени по мере излучения дыра стареет — наполняется партнерами улетевших частиц. Тогда, если бы всех их поймать и измерить

состояния, можно было бы и «пообщаться» с теми, что пребывают в дыре. Этот подход также несовершенен, поскольку начиная с некоторого времени новая испаряющаяся частица оказывается связана с теми, что уже вылетели, а такое столь же недопустимо, как и исчезновение информации.

Некоторые теоретики для разрешения информационного парадокса придумали у черной дыры нечто вроде стража ворот или брандмауэра, который стоит сразу за горизонтом событий и мешает передавать информацию наружу: падающая частица разбивается о него или сгорает, и в таком высокоэнергетическом столкновении информация о ней должна исчезнуть. Интересно, что с точки зрения классической физики брандмауэр невозможен: падающий в дыру наблюдатель на ее горизонте событий никаких особенностей замечать не должен; то есть кирпичная стена, о которую ему суждено разбиться, вырастает внезапно, как будто из ничего.

## Переход в иное

Однако выход может быть еще интереснее: вместо непроницаемой бездны-сингулярности внутри дыры способна располагаться вполне пронцаемая кротовая нора, или червоточина: воронка, соединяющая две разные области пространства-времени или вообще разные вселенные. Это решение спасает физиков от ненужной им бесконечности, а материя и та информация, что она несет с собой, имеют возможность покинуть дыру и оказаться в другой вселенной либо в другом месте нашей. Там, на выходе, может получиться белая дыра — объект, который ничего не поглощает и все излучает.

Для формирования кротовых нор можно задействовать разные механизмы. Например, Гонсало Олмо с коллегами из университета Валенсии, проделав тщательную работу по изучению различных вариантов решения уравнений теории относительности, обнаружили, что кротовую нору на месте сингулярности можно создать, всего лишь пропуская через черную дыру достаточно мощный электрический ток. Причем существуют условия, при которых нора окажется пронцаемой для материального тела — деформации пространства-времени в ней получаются не бесконечными и отнюдь не всегда разрывают это материальное тело на составляющие (arXiv:1607.06670v1 [hep-th], 22 июля 2016 года). А вот Сун-Вон Ким из Женского университета Ихва и Му-Ин Парк из университета Соганг в Сеуле (arXiv:1502.06375v4 [hep-th], 17 октября 2015 года) придерживаются более традиционных взглядов на происхождение кротовых нор. Их существование, по мнению корейских ученых, поддерживают призраки, стоящие при воротах — горловинах нор: так называемая фантомная материя, обладающая, в частности, отрицательной массой, то есть способностью не сжимать пространство-время, как это делает привычная материя, а растягивать его. Согласно их рассуждениям, раздобыть фантомную материю не так уж и трудно, достаточно представить, что падающая в дыру античастица имеет отрицательную массу. Можно убить сразу двух зайцев — обеспечить за счет накопления такой материи снижение массы испаряющейся дыры и стабилизировать горловину кротовой норы. Тогда черная дыра становится фабрикой по производству кротовых нор — именно они остаются после того, как испаряющаяся дыра исчезнет в огненном вихре последнего выдоха своей энергии.

Как видно из этого краткого и далеко не полного обзора, при желании внутри черной дыры действительно можно распознать некоторые детали, присущие аду. Тут есть и бездна сингулярности, и выход через устье норы, и вечное заточение в остатке дыры того, что не смогло выйти при испарении, и стражи ворот, и разные виды материи с разными функциями. Не исключено, что творческое обращение с этой аналогией подскажет новые интересные особенности того, что скрывается за непроницаемым для стороннего наблюдателя горизонтом событий.



# Кислородная революция и Земля-снежок

С.А.Ястребов

## Обоюдоострый меч $O_2$

Биологические свойства молекулярного кислорода ( $O_2$ ) как минимум двуедины. Кислород — мощный окислитель, с помощью которого можно получить много полезной энергии, и в то же время сильный яд, свободно проходящий сквозь клеточные мембраны и разрушающий клетки, если с ним неаккуратно обращаться. Иногда говорят, что кислород — это обоюдоострый меч («Current Biology», 2009, 19, 14, R567—R574). У всех организмов, имеющих дело с кислородом, обязательно есть и специальные ферментные системы, гасящие его химическое воздействие. Те, у кого таких ферментных систем нет, обречены быть строгими анаэробами, выживающими только в бескислородной среде. На современной Земле это некоторые бактерии и археи.

Практически весь кислород на Земле имеет биогенное происхождение, то есть выделяется живыми существами (конечно, мы сейчас говорим о свободном кислороде, а не об атомах кислорода, входящих в состав других молекул). Главный источник  $O_2$  — это кислородный фотосинтез; других известных реакций, способных давать его в сравнимых количествах, просто нет. Из школьного курса биологии мы знаем, что фотосинтезом называется синтез глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  из углекислоты  $CO_2$  и воды  $H_2O$ , происходящий с помощью энергии света. Главным «действующим лицом» тут служит углекислый газ, который восстанавливается водой; кислород же в этой реакции — не что иное, как побочный продукт, отход. Менее широко известно, что фотосинтез может и не приводить к выделению кислорода, если вместо воды в нем используется в качестве восстановителя какое-нибудь другое вещество — например, сероводород  $H_2S$ , свободный

водород  $H_2$  или некоторые соединения железа; такой фотосинтез называется бескислородным, есть несколько разных его вариантов.

Практически наверняка бескислородный фотосинтез появился гораздо раньше кислородного. Поэтому в первый миллиард лет существования жизни (а скорее всего, дольше) фотосинтез хотя и шел, но никакого насыщения атмосферы Земли кислородом не вызывал. Содержание кислорода в атмосфере в те времена составляло не больше 0,001% от современного — попросту говоря, это значит, что его там толком не было.

Все изменилось, когда на сцену вышли синезеленые водоросли, или цианобактерии. Впоследствии эти существа стали предками пластид, фотосинтезирующих органелл клеток эукариот (напомним, что эукариотами называются организмы с клеточными ядрами, в отличие от прокариот — обладателей безъядерных клеток). Цианобактерии — очень древняя эволюционная ветвь. По меркам земной истории они удивительно неизменны. Например, широко распространенная в современных водоемах синезеленая водоросль осциллятория (*Oscillatoria*) имеет ископаемых родственников, живших 800 миллионов лет назад, причем они практически неотличимы от современных осцилляторий («Ecology of Cyanobacteria II. Their Diversity in Space and Time», Springer, 2012, 15—36). Таким образом, осциллятория — впечатляющий пример живого ископаемого. Но самые первые цианобактерии появились намного раньше нее — это подтверждается палеонтологическими данными.

Поначалу цианобактерии не были многочисленны, потому что освоенный ими кислородный фотосинтез не давал никаких серьезных преимуществ по сравнению с бескислородным, которым владели другие группы микробов. Но химическое окружение этих микробов постепенно менялось. Наступил момент, когда «сырья» для бескислородного фотосинтеза просто перестало хватать. И вот тогда пробил час цианобактерий.

Кислородный фотосинтез имеет одно большое преимущество — совершенно неограниченный запас исходного реагента-восстановителя (воды). И один большой недостаток — высокую токсичность побочного продукта (кислорода). Неудивительно, что поначалу этот тип обмена не был «популярен». Зато при малейшем дефиците других субстратов, кроме воды, обладатели кислородного фотосинтеза должны сразу получать конкурентное преимущество, что и произошло. После этого наступила эпоха длиной примерно в миллиард лет, в течение которой облик Земли определяли в первую очередь цианобактерии. Недавно ее даже предложили неофициально назвать в их честь «цианозоем» (M. Barbieri, «Code Biology. A New Science of Life», «Springer», 2015, 75—91).

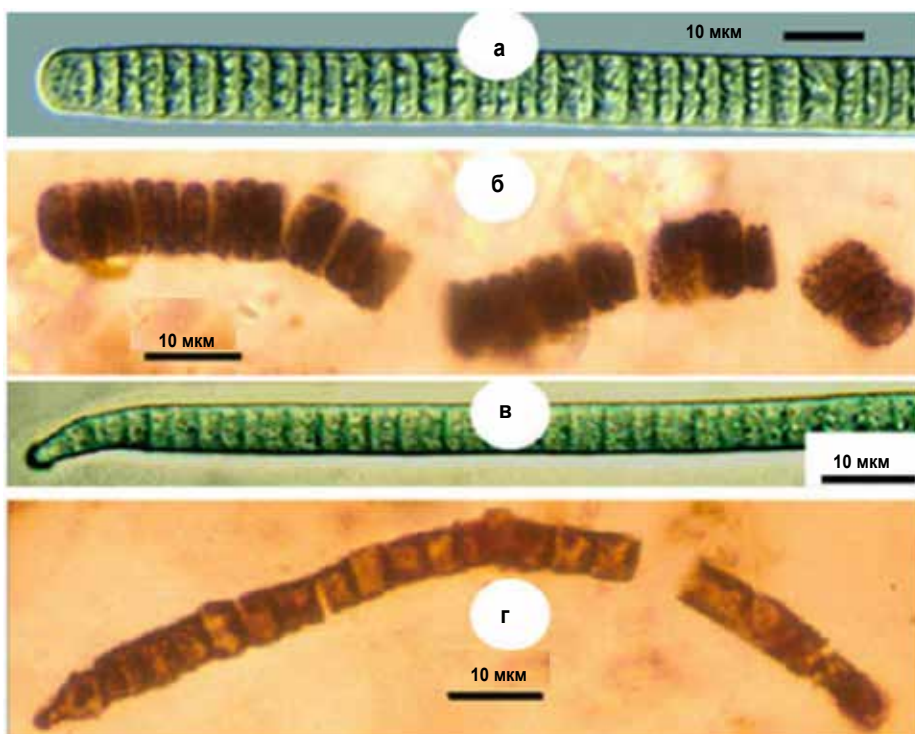
Именно из-за цианобактерий 2,4 миллиарда лет назад началась кислородная революция, она же кислородная катастрофа, или Великое окислительное событие (Great Oxidation Event, GOE). Строго говоря, это событие не было ни мгновенным, ни абсолютно уникальным («Nature», 2014, 506, 7488, 307—315). Короткие всплески концентрации кислорода, «кислородные дуновения», случались и раньше, это палеонтологически зафиксировано. И все же 2,4 миллиарда лет назад произошло нечто новое. За короткое по меркам земной истории время (считанные десятки миллионов лет) концентрация кислорода в атмосфере выросла примерно в тысячу раз и осталась на этом уровне; до прежних ничтожных величин она не опустилась больше никогда. Биосфера необратимо стала кислородной.

Для подавляющего большинства древних прокариот такой уровень кислорода был смертельно опасен. Неудивительно, что первым результатом кислородной революции стало массовое вымирание. Выжили в основном те, кто успел создать защищающие от кислорода ферменты, а иногда еще и толстые клеточные стенки в придачу (в том числе это пришлось сделать и самим цианобактериям). Есть основания полагать,



График изменения концентрации кислорода в атмосфере Земли. Первый резкий подъем — это кислородная революция

Продолжение. Начало в № 8.



Типичная цианобактерия — осциллятория — и ее древние родственники: современные синезеленые водоросли разных видов рода *Oscillatoria* (а, б), ископаемые синезеленые водоросли *Oscillatorioopsis breviconvexa* и *Cephalophytarion grande* (в, г) из австралийского местонахождения Биттер-Спрингс, возраст которого — примерно 800 млн лет. Сходство настолько велико, что эти древние водоросли вполне можно было бы и не относить к особым родам

что в первые 100—200 миллионов лет «нового кислородного мира» кислород был для живых организмов только ядом и ничем больше. А вот потом ситуация поменялась. Ответом биоты на кислородный вызов стало появление бактерий, которые включили кислород в цепочку реакций, разлагающих глюкозу, и таким образом начали использовать его для получения энергии.

Сразу оказалось, что кислородное окисление глюкозы (дыхание) в энергетическом плане намного эффективнее бескислородного (брожения). Оно дает в несколько раз больше свободной энергии на одну молекулу глюкозы, чем любой сколь угодно усложненный вариант бескислородного обмена. При этом начальные этапы распада глюкозы у пользователей дыхания и брожения остались общими: кислородное окисление послужило всего лишь надстройкой над уже имевшимся древним биохимическим механизмом, который сам по себе в кислороде не нуждался.

Группа микробов, которая освоила рискованное, но эффективное получение энергии с помощью кислорода, называется протеобактериями. Согласно общепринятой сейчас теории, именно от них произошли дыхательные органеллы эукариотных клеток — митохондрии.

По генетическим данным, ближайший современный родственник митохондрий — пурпурная спиральная альфа-протеобактерия *Rhodospirillum rubrum* («Molecular Biology and Evolution», 2004, 21, 9, 1643—1660). Родоспириллум обладает и дыханием, и брожением, и бескислородным фотосинтезом, в котором вместо воды используется сероводород, и может переключаться между этими тремя типами обмена в зависимости от внешних условий. Несомненно, такой симбионт — то есть в данном случае внутренний сожитель — был очень полезен предку эукариот.

Более того, многие современные ученые считают, что симбиоз древних архей с протеобактериями — предками митохондрий — был толчком к самому образованию эукариотной клетки (Евгений Кунин. Логика случая. М.: Центрполиграф, 2014). Эта гипотеза называется «раннемитохондриальной». Она предполагает, что разделение будущей эукариотной клетки на цитоплазму и ядро произошло только после внедрения в нее протеобактериального симбионта. Более старый «позднемитохондриальный» сценарий, согласно которому протеобактерия была попросту проглочена готовой эукариотной клеткой (самостоятельно возникшей из клетки археи), сейчас выглядит куда менее вероятным. На самом деле обе клетки — и архейная, и протеобактериальная — были в процессе объединения серьезно «пересобраны», породив своего рода химера с новыми свойствами. Эта химера и стала эукариотной клеткой; молекулярные компоненты архейного и протеобактериального происхождения в ней сильно перемешались, разделив между собой функции («Палеонтоло-

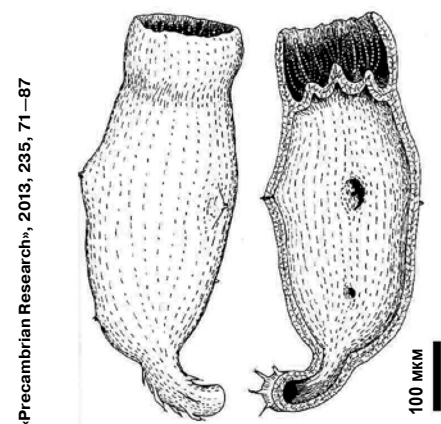
гический журнал», 2005, 4, 3—18). Без протеобактерий эукариоты не возникли бы. А это означает, что их появление было прямым следствием кислородной революции.

В свете сказанного почти не выглядят преувеличением слова двух современных крупных ученых, палеонтолога и геолога: «Все согласны с тем, что эволюция синезеленых водорослей была самым значительным биологическим событием на нашей планете (даже более значительным, чем развитие эукариотических клеток и появление многоклеточных организмов)» (Питер Уорд, Джо Киршвинк. Новая история происхождения жизни на Земле. СПб: ИД «Питер», 2016). Действительно, знакомый нам мир животных и растений сейчас не существовал бы, если бы не цианобактерии и вызванный ими кризис.

## Эпохи жизни

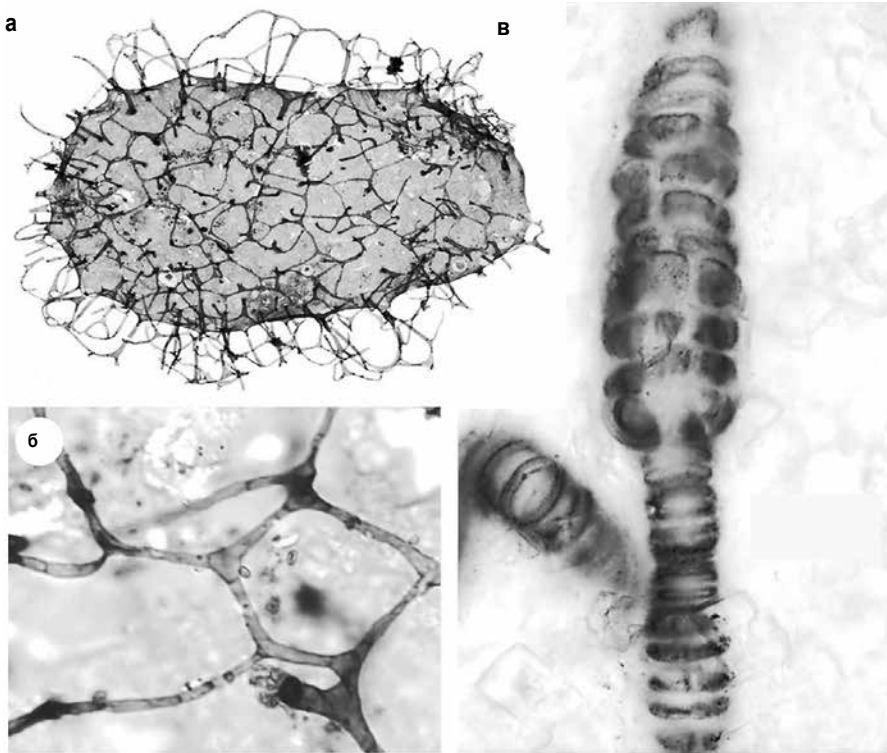
Вся история Земли делится на четыре огромных промежутка, именуемых зонами (это выше, чем эра). Названия эонов следующие: катархей, или гадей (4,6–4,0 млрд лет назад), архей (4,0–2,5 млрд лет назад), протерозой (2,5–0,54 млрд лет назад) и фанерозой (начался 0,54 млрд лет назад и продолжается сейчас). Это деление будет нам постоянно помогать, оно действительно удобно. Сделаем оговорку, что почти во всех подобных случаях запоминать стоит не временны е границы, а последовательность эпох и относящихся к ним событий: это гораздо важнее. Исключение можно сделать разве что для двух-трех основополагающих дат вроде возраста Земли.

Катархей — это так называемая догеологическая эпоха, от которой не осталось никаких «нормальных» горных пород, расположенных по слою. Классические геологические и палеонтоло-



«Precambrian Research», 2013, 235, 71—87

Самый древний известный эукариот — загадочный организм *Diskagma buttonii* возрастом 2,2 млрд лет. Он напоминает строением современные гломеромицеты — примитивные грибы, живущие в симбиозе с синезелеными водорослями



Биота «скудного миллиарда лет»: а — водный гриб *Tarrapia* возрастом 1,4 млрд лет; б — гифы таппани крупным планом; их строение показывает, что это действительно вполне типичный гриб, в — красная водоросль *Bangiotorpha* возрастом 1,2 млрд лет, относящаяся не более и не менее как к современному отряду бангиевых, еще один замечательный пример живого ископаемого

гические методы, основанные как раз на сравнении последовательных слоев, там не работают. Оставшиеся от катархея объекты — в основном маленькие зерна циркона, те самые, в которых недавно нашли предположительно биогенный углерод. О катархейской жизни (если она была) известно крайне мало.

В архее Земля принадлежит прокариотам — бактериям и археям (только не надо путаницы, совпадение корней в названии геологической эры «архей» и группы микробов «археи» на самом деле случайно). Граница архея и протерозоя приходится примерно на момент одного из сильных «кислородных дуновений», предшествующих кислородной революции. Сама кислородная революция произошла в начале протерозоя.

Протерозой — это эпоха кислорода и эукариот. С датировкой происхождения эукариот связан интересный парадокс. Дело в том, что более-менее надежно определимые многоклеточные эукариоты появляются в палеонтологической летописи заметно раньше, чем столь же надежно определимые одноклеточные. Нитчатая водоросль *Grypania spiralis*, которую обычно считают эукариотом, появилась 2,1 миллиарда лет назад («Australasian Journal of Palaeontology», 2016, doi: 10.1080/03115518.2016.1127725). Справедливости ради нужно сказать, что главным доводом за эукариотную природу

грипани служит ее крупный размер — все остальные признаки не дают уверенности, что это не гигантская цианобактерия («Palaeontology», 2015, 58, 1, 5–17). Но дело в том, что эта находка не единственная. Самым древним известным эукариотом сейчас считается грибообразный организм *Diskagma buttonii* возрастом 2,2 миллиарда лет («Precambrian Research», 2013, 235, 71–87). А еще есть загадочные крупные спиралевидные существа — скорее всего, водоросли, возраст остатков которых — не меньше 2,1 миллиарда лет, как и у грипани («Nature», 2010, 466, 7302, 100–104). Зато самые ранние одноклеточные, однозначно определяемые как эукариоты, имеют возраст всего 1,6 миллиарда лет («Philosophical Transactions of the Royal Society B», 2006, 361, 1470, 1023–1038). Это, разумеется, не значит, что многоклеточные эукариоты действительно появились раньше одноклеточных, — такое предположение противоречит всем имеющимся молекулярным данным. Одноклеточные просто хуже сохраняются, да и признаков, по которым можно определить организм, у них меньше.

Тем не менее из таких датировок следуют очень важные выводы. Вспомним, что дата кислородной революции — 2,4 миллиарда лет назад. Следовательно, мы знаем, что всего через 200 миллионов лет после нее в палеонтологической летописи появляются не просто эукариоты, а многоклеточные эукариоты. Это означает, что первые этапы эволюции эукариот были пройдены по меркам глобальной истории очень быстро. Безусловно, эукариотной клетке потребовалось время, чтобы оформить симбиоз с предками митохондрий, создать ядро, усложнить цитоскелет — внутриклеточ-

ную систему опорных структур. Но когда эти процессы закончились, создать первые многоклеточные организмы удалось почти сразу. Никаких дополнительных приспособлений на уровне клетки это не потребовало. Любая эукариотная клетка уже имеет в наличии полный набор молекулярных элементов, нужных, чтобы построить из таких клеток многоклеточное тело (хотя бы относительно простое). Разумеется, все эти элементы не менее полезны и для жизни одиночной клетки, иначе они бы просто не возникли. Общий предок эукариот, без сомнений, был одноклеточным, и очень многим его потомкам многоклеточность никогда не пригодилась. Примеры современных одноклеточных эукариот — амебы, эвглены, инфузории — мы знаем благодаря школьным учебникам, но на самом деле их гораздо больше.

Кислородная революция имела еще одно важное последствие, коснувшееся состава атмосферы. В архейской атмосфере было много азота (как и сейчас), а также углекислого газа и метана (гораздо больше, чем сейчас). Углекислый газ и метан очень хорошо поглощают инфракрасное излучение и тем самым удерживают в атмосфере Земли тепло, мешая ему уходить в космос. Это называется парниковым эффектом. Причем считается, что от метана парниковый эффект минимум раз в 20–30 сильнее, чем от углекислого газа. А в архейские времена метана в атмосфере Земли было примерно в 1000 раз больше, чем сейчас, и это обеспечивало довольно теплый климат.

Тут вмешивается еще и астрономия. Согласно общепринятой теории эволюции звезд, светимость Солнца медленно, но непрерывно растет. В архее она составляла всего 70–80% от современной — понятно, почему парниковый эффект был важен для поддержания планеты в тепле. Но после кислородной революции атмосфера стала окислительной и почти весь метан ( $\text{CH}_4$ ) превратился в углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), эффективность которого как парникового газа гораздо ниже. Это вызвало катастрофическое гуронское оледенение, длившееся около 100 миллионов лет и в некоторые моменты охватившее всю Землю: на участках суши, которые тогда находились всего в нескольких градусах широты от экватора, найдены следы ледников («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2005, 102, 32, 11131–11136). Пик гуронского оледенения наступил 2,3 миллиарда лет назад. К счастью, оледенение не могло остановить тектоническую активность земной мантии; вулканы продолжали выбрасывать в атмосферу углекислый газ, и со временем его накопилось достаточно, чтобы восстановить парниковый эффект и растопить льды.

Однако главные климатические испитания были еще впереди.

## Конец «скупного миллиарда»

За бурными событиями начала протерозоя последовал так называемый «скупный миллиард лет» (Boring Billion). В это время не происходило никаких оледенений, никаких резких перемен в составе атмосферы, никаких биосферных переворотов. Эукариотные водоросли жили в океанах, понемногу выделяя кислород. Их мир был по-своему разнообразным и сложным. Например, из эпохи «скупного миллиарда» известны многоклеточные красные и желтозеленые водоросли, удивительно похожие на своих современных родственников («Philosophical Transactions of the Royal Society B», 2006, 361, 1470, 1023—1038). Появляются в это время и грибы («Paleobiology», 2005, 31, 1, 165—182). А вот многоклеточные животные на просторах «скупного миллиарда лет» отсутствуют. Будем аккуратны: на нынешний момент никто не может с полной уверенностью утверждать, что многоклеточных животных тогда не было, но все данные на эту тему — в лучшем случае очень спорные («Precambrian Research», 2013, 235, 71—87).

В чем тут дело? Напрашивается мысль, что многоклеточность как таковая гораздо более совместима с образом жизни растения, чем животного. Любая клетка растения заключена в жесткую клеточную стенку, и нет сомнений, что это сильно облегчает регуляцию взаимного расположения клеток в сложном теле. Наоборот, клетки животных лишены клеточной стенки, их форма неустойчива, да еще и постоянно меняется при актах фагоцитоза, то есть поглощения пищевых частиц. Собрать из таких клеток целый организм — сложная задача. Если бы никаких многоклеточных животных не появилось вовсе, а биологами стали представители растений либо грибов, они, скорее всего, после изучения этой проблемы пришли бы к выводу, что сочетание многоклеточности с отсутствием клеточной стенки просто невозможно. Во всяком случае, это объясняет, почему многоклеточность много раз возникала в разных группах водорослей, но только один раз — у животных.

Есть и другая идея. В 1959 году канадский зоолог Джон Ральф Нерселл связал внезапное (как тогда считалось) появление животных в палеонтологической летописи с ростом концентрации кислорода в атмосфере («Nature», 1959, 183, 4669, 1170—1172). Животные, как правило, обладают активной подвижностью, которая требует столько энергии, что без кислородного дыхания им не обойтись. И кислорода нужно много. А в эпоху «скупного миллиарда» содержа-

ние  $O_2$  в атмосфере почти наверняка не достигало 10% от современного уровня — минимума, который часто считают необходимым для поддержания животной жизни. Правда, эта подозрительно круглая цифра, скорее всего, завышена («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2014, 111, 11, 4168—4172). Подобные оговорки, однако, не мешают признать, что старая идея Нерселла как минимум не противоречит современным данным: предполагаемое начало эволюции многоклеточных животных весьма приблизительно, но совпадает по времени с новым ростом концентрации атмосферного кислорода в конце протерозоя («Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics», 2015, 46, 215—235). Это просто не могло не стать фактором, облегчившим появление животных: в конце-то концов, чем больше кислорода, тем лучше. Не надо только считать кислородный фактор строго единственным. Будем помнить, что и во времена, когда кислорода стало сколько угодно, никаких многократных попыток создания многоклеточности животного типа не отмечается. Этот эксперимент удался природе лишь один раз.

Уютная эпоха «скупного миллиарда лет» могла бы длиться еще долго, если бы в биологию не вмешалась география. Драматические события, героем которых стала сама планета, привлекали внимание ученых на протяжении полувека, но только лет 15 назад информацию о них удалось сложить в более-менее цельную картинку. Бросим на эту картинку беглый взгляд, начав, как и положено, с начала.

В 1964 году английский геолог Брайан Харленд опубликовал статью, в которой констатировал, что абсолютно на всех континентах есть следы древнего оледенения, относящегося к одному и тому же времени — позднему протерозою. Как раз в начале 60-х годов геологи научились определять прошлое положение континентов с помощью данных о намагниченности горных пород. Харленд собрал эти данные и увидел, что объяснить их можно только одним способом: предположив, что позднепротерозойское оледенение охватило сразу все широты Земли, то есть было всепланетным. Любые другие гипотезы выглядели еще менее правдоподобными (например, пришлось бы предполагать немыслимо быстрое перемещение полюсов, чтобы все земли по очереди накрывались полярной шапкой). Как сказал Шерлок Холмс во время поисков Джонатана Смолла, «отбросьте все невозможное, то, что останется, и будет ответом, каким бы невероятным он ни казался». Именно так Харленд и поступил. Написанная им с соавтором обстоятельная статья не претендует ни на какие сенсации — там просто честно изложены факты и выводы («Scientific American», 1964, 211, 2,

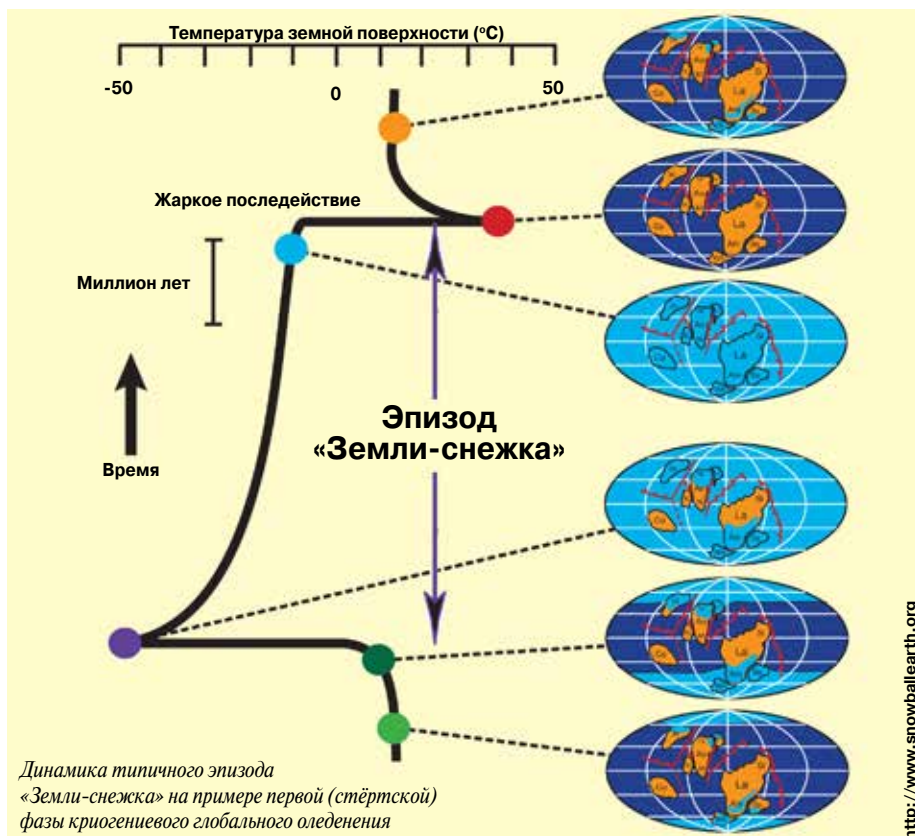
28—36). И все же гипотеза о всепланетном оледенении была для большинства ученых слишком смелой.

Буквально в те же годы теорией оледенений занялся известный геофизик, ленинградец Михаил Иванович Будыко. Он обратил внимание на то, что оледенение может саморазвиваться. Ледяной покров имеет высокую отражательную способность (альбедо), поэтому чем больше суммарная площадь ледников, тем большая доля солнечного излучения отражается обратно в космос, унося с собой тепло. А чем меньше Земля получает тепла, тем на ней становится холоднее, и площадь ледяного покрова в результате растет, повышая альбедо еще сильнее. Получается, что оледенение — это процесс с положительной обратной связью, то есть способный усиливать сам себя. А в таком случае должен существовать некоторый критический уровень оледенения, после которого оно будет нарастать, пока волны льда с Северного и Южного полюсов не схлопнутся на экваторе, полностью заключив планету в ледяной покров и понизив ее температуру на несколько десятков градусов. Будыко математически показал, что такое развитие событий возможно («Tellus», 1969, 21, 5, 611—619). Но он и понятия не имел, что в истории Земли оно несколько раз происходило! Потому что на тот момент Будыко и Харленд еще не читали друг друга.

## Земля-снежок

Сейчас оледенение, которое открыл Харленд, принято называть эпохой «Земли-снежка» (Snowball Earth). Судя по всему, оно действительно было всепланетным. А главной его причиной считается резкое ослабление парникового эффекта из-за падения концентрации углекислого газа (который стал главным парниковым газом после того, как кислород «съел» почти весь метан). Фотосинтез и дыхание тут, скорее всего, ни при чем. Если кислородную революцию биота Земли устроила себе сама, то сейчас она оказалась жертвой внешнего фактора, совершенно небиологического по своей природе.

Дело в том, что оборот углекислого газа гораздо меньше зависит от живых существ, чем оборот кислорода. Основным источником атмосферного  $CO_2$  на Земле до сих пор служат извержения вулканов, а основным стоком — процесс, который называется химическим выветриванием. Углекислый газ взаимодействует с горными породами, разрушая их, а сам при этом превращается в карбонаты (ионы  $HCO_3^-$  или  $CO_3^{2-}$ ). Последние хорошо растворяются в воде, зато в состав атмосферы больше не входят. И получается предельно простая зависимость. Если интенсивность работы вулканов превосходит интен-



сивность химического выветривания, атмосферная концентрация  $\text{CO}_2$  растет. Если наоборот — падает.

На исходе «скучного миллиарда», 800 миллионов лет назад, почти вся земная суша входила в состав единственного суперконтинента под названием Родиния. По словам одного известного геолога, гигантские суперконтиненты, как и крупные империи в социальной истории Земли, всегда оказывались неустойчивыми (В.Е.Хаин, М.Г.Ломизе. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995). Поэтому неудивительно, что Родиния начала раскалываться. По краям разломов застывал извергнутый базальт, который сразу же становился объектом химического выветривания. Почвы тогда не было, и продукты выветривания легко сносились в океан. В конце концов Родиния распалась на семь или восемь небольших — размером примерно с Австралию — континентов, которые стали дрейфовать в стороны друг от друга.

Расход  $\text{CO}_2$  на выветривание базальта привел к падению его уровня в атмосфере. Вулканизм, которым распад суперконтинента неизбежно сопровождался, мог бы компенсировать это, если бы не одно случайное обстоятельство. В силу каких-то причин дрейфа континентов и Родиния, и ее обломки находились у экватора, в теплом поясе, где химическое выветривание шло особенно быстро. Математические модели показывают, что именно по этой причине концентрация  $\text{CO}_2$  опустилась ниже порога, за которым начинается оледенение («Nature», 2004, 428, 6980, 303—306). А когда оно началось, тормозить выветривание было уже поздно.

Надо признать, что положение континентов в позднем протерозое оказалось настолько неудачным (с точки зрения обитателей планеты), насколько это вообще возможно. Дрейф континентов управляется потоками вещества земной мантии, динамика которых, по сути, неизвестна. Но мы знаем, что в данном случае эти потоки собрали всю земную сушу в единый континент, находящийся точно на экваторе и вытянутый по широте. Если бы он оказался на одном из полюсов или был вытянут с севера на юг, начавшееся оледенение закрыло бы часть пород от выветривания и тем самым приостановило уход углекислого газа из атмосферы — тогда процесс мог затормозиться. Как раз такую ситуацию мы наблюдаем сейчас, когда есть ледяные щиты Антарктиды и Гренландии («Scientific American», 1999, 9, 38). А в конце протерозоя почти все крупные участки суши находились близко к экватору — и были обнажены до того момента, когда северный и южный ледяные покровы сомкнулись. Земля стала ледяным шаром.

На самом деле эпизодов «Земли-снежка» было не меньше трех. Первый из них относился еще к гуронскому оледенению (которое, как мы помним, произошло не из-за углекислого газа, а из-за метана). Потом в течение более чем миллиарда лет никаких оледенений не было совсем. А затем последовали еще два разделенных небольшим перерывом всепланетных оледенений, одно из которых длилось примерно 60 миллионов лет, другое — примерно 15 миллионов лет. Именно их открыл Брайан Харленд. Геологический период, охватывающий эти оледенения,

называют криогением (он является частью протерозоя).

О живой природе криогения известно мало. Климат тогда на всей Земле был, по нынешним меркам, антарктическим. Большую часть Мирового океана покрывал километровый слой льда, так что интенсивность фотосинтеза не могла быть высокой. Свет, неожиданно ставший ценнейшим ресурсом, попадал в океан только местами, сквозь трещины, полыньи или небольшие участки тонкого льда. Удивительно, что некоторые многоклеточные организмы сумели пережить криогений, совершенно не изменившись, — например, красные водоросли. Они и сейчас приспособлены к тому, чтобы использовать очень слабый свет, проникающий на такую глубину, где уже не живут никакие другие фотосинтезирующие существа (Ю.Т.Дьяков. Введение в альгологию и микологию. М.: Изд-во МГУ, 2000). Никуда не делся и одноклеточный планктон. Содержание кислорода в криогениевом океане сильно упало, поэтому жизнь на его дне, скорее всего, была в основном анаэробной, но подробности этого от нас пока скрыты.

Окончания эпизодов «Земли-снежка» тоже по-своему драматичны. Во время всепланетных оледенений все процессы, связанные с поглощением больших объемов углекислого газа, в буквальном смысле замораживались. А между тем вулканы (работу которых никто не останавливал) выбрасывали и выбрасывали  $\text{CO}_2$  в атмосферу, постепенно увеличивая его концентрацию до огромных величин. В какой-то момент ледяной щит уже не мог сопротивляться парниковому эффекту, и тогда начинался лавинообразный процесс разогрева планеты. Буквально за несколько тысяч лет — то есть геологически за мгновение — весь лед таял, освобождаясь вода заливала значительную часть суши мелкими окраинными морями, а температура земной поверхности, судя по расчетам, подскочивала до  $50^\circ\text{C}$  («Engineering and Science», 2005, 4, 10—20). И только после этого начинался постепенный возврат Земли к «нормальному» внеледниковому состоянию. За время криогения весь этот цикл был пройден минимум дважды.

Продолжение в следующем номере



# Жизнь в стеклянной банке



МЫСЛИ О БУДУЩЕМ

Писатели-фантасты, описывающие межзвездные «корабли поколений», обычно помещают в них оранжереи, которые снабжают космонавтов не только продуктами питания, но и кислородом, очищая воздух от углекислого газа.

Мы, живя на дне кислородной атмосферы, как правило, не заботимся о создании полностью замкнутых экосистем. Даже тепличные хозяйства сообщаются с атмосферой, в них регулярно заменяют плодородную почву. Впрочем, круговорот вещества в оранжереях и тепличных хозяйствах и должен быть разомкнут —

ведь они предназначены для получения товарной продукции, которая потребляется вне их. Куда больше похожи на замкнутые системы большие аквариумы. Там обычно кроме рыб обитает старательно подобранный набор водорослей, улиток и прочих беспозвоночных, задача которых — обеспечивать чистоту воды. Некоторые энтузиасты делают маленькие замкнутые экосистемы в запаянных банках, как водные, так и состоящие из сухопутных растений и мелких насекомых. Такие системы могут функционировать на протяжении нескольких лет.

В течение XX века было произведено несколько весьма амбициозных экспериментов по созданию замкнутых экосистем, включающих в себя человека. Наиболее широко известен американский проект «Биосфера-2», стартовавший в начале 90-х годов XX века (<http://biosphere2.org>).

Это грандиозная оранжерея площадью в полтора гектара и объемом 200 тысяч кубических метров, внутри которой были смоделированы разнообразные природные зоны Земли. В ней поселили более 3000 видов растений и животных.

Предполагалось, что эта маленькая экосистема сможет обеспечивать пищей, водой и кислородом восемь человек.

К сожалению, этот эксперимент получился не слишком удачным. С одной стороны, не удалось обеспечить контроль численности микроорганизмов и насекомых. С другой — был допущен ряд просчетов при моделировании «неживой природы». Так, например, постоянное падение содержания кислорода во время первого эксперимента объясняют тем, что углекислый газ из атмосферы поглощался бетонными конструкциями, лишая растения материала для выработки кислорода. Кроме того, влага, конденсировавшаяся под стеклянной крышей, приводила к выпадению искусственного дождя. Поэтому «пустыня», старательно созданная в комплексе, заросла травой.

После первых неудачных экспериментов с полностью автономным функционированием этот комплекс использовали для других исследований, не связанных с полной изоляцией от большой биосферы Земли. Получился уникальный полигон для моделирования биологических процессов, пусть даже не полностью замкнутый.

Несколько более успешными оказались менее амбициозные эксперименты Красноярского Института биофизики СО РАН (<http://www.ibp.ru/labs/mc.php>). Там не ставилась задача создания целой биосферы, а разрабатывалась именно биологическая система жизнеобеспечения для космических кораблей. Более того, не предполагалось, что она будет полностью обеспечивать экипаж пищей, консервы на борту все-таки должны быть.

В результате получился заметно более компактный комплекс БИОС-3, площадью всего 126 квадратных метров и объемом 315 кубометров, способный обеспечить жизнедеятельность целых трех человек. Правда, для этого пришлось пойти на использование высокопродуктивных гидропонных систем вегетации, которые требуют постоянного контроля со стороны человека или техники, — на естественную биологическую саморегуляцию решили не полагаться. Чтобы обеспечить достаточную продуктивность, использовали растения специальных сортов.

С 1972 года до середины 80-х в этом комплексе было проведено более десяти экспериментов, достигнута 100%-ная автономность по воде и кислороду и 50%-ная по пище. Правда, в дополнение к биологической очистке воздуха и воды потребовались ионообменные водяные и термोकаталитические воздушные фильтры. Впрочем, как мы знаем, в большой биосфере Земли получение чистой питьевой воды — родниковой или артезианской — тоже связано с использованием огромных, многокилометровых песчаных фильтров.

Авторы этого комплекса в 80-х уже начали подготовку к проведению аналогичного эксперимента на орбитальной станции, но распад СССР не позволил реализовать этот план. В 2005 году комплекс, заброшенный в годы перестройки, начали восстанавливать.

В 2014 году похожий комплекс «Лунный дворец-1» (Юэгу-1, Yuegong-1) был испытан в Китае. Особенности национальной китайской кухни позволили предпринять попытку обеспечить экипаж этого комплекса животными белками. Если американцы в «Биосфере-2» разводили коз, то китайцы ограничились мучными червями. Тем не менее уровень автономности по пище в «Лунном дворце» примерно такой же, как в БИОС-3. Разработка этого комплекса производится в рамках китайской лунной программы, так что, возможно, мы увидим подобные системы на лунных станциях.

Если рассмотреть возможные области применения этих автономных систем, то «Биосферу-2» можно считать прототипом лунной или марсианской колонии, которая должна обеспечить существование людей неограниченное время, а БИОС-3 и «Лунный дворец» — прототипами систем жизнеобеспечения для небольших долговременных баз и межпланетных кораблей, которые могут себе позволить завозить с Земли до половины продовольствия.

А так ли нужна 100%-ная продовольственная автономность кораблю или базе? Полярные экспедиции, ухидившие в XX веке в Арктику и Антарктику на несколько лет, брали с собой все продовольствие, не особенно рассчитывая на пополнение запасов охотой. У опытных и предусмотрительных путешественников, таких, как Нансен, проблем с неполноценностью питания не возникало. Так что можно сказать с уверенностью, что сохранять продовольствие на протяжении сроков, необходимых для экспедиций к планетам Солнечной системы, мы умеем. Поэтому если искусственная экосистема может обеспечить круговорот кислорода и воды и только частично питание членов экипажа, этого уже вполне достаточно и для межпланетных полетов, и для долговременных баз.

Конструкции автономных экосистем размером с город, площадью в десятки и сотни гектаров, способные обеспечить жизни тысяч человек, тоже когда-нибудь придется разрабатывать. К сожалению, эти эксперименты стоят весьма дорого. Даже полуторагектарная «Биосфера-2» обошлась более чем в 200 миллионов долларов. А вероятно, потребуется еще не одна неудачная попытка, прежде чем удастся создать систему, которая с минимальным вмешательством человека будет поддерживать себя и производить достаточно продуктов питания.

Судя по всему, подобные системы будут требовать нескольких лет, если не десятилетий для выхода на режим — чтобы установилось химическое равновесие между атмосферой, водоемами и грунтом, чтобы сформировались устойчивые растительные и микробные сообщества. А потом еще надо будет отработать методику создания этих систем из инопланетных материалов. Ведь мы не сможем привезти на Марс десятки тысяч тонн плодородной почвы. Значит, придется использовать местные грунты, которые должны будут заселяться растениями примерно так же, как на Земле растения осваивают вулканический пепел или голую землю на месте рекультивированных карьеров. Вулканический пепел считается очень плодородным, земледельцы издавна селятся недалеко от действующих вулканов, невзирая на опасность извержения. Но это потому, что большая часть поверхностных горных пород, в так называемой зоне гипергенеза, обеднена биогенными элементами — она постоянно промывается атмосферными осадками, на ней тысячелетиями растут растения, поглощающие эти вещества. Выброшенные из недр вулканические породы обогащены ими, и они привлекательны для растений, хотя содержат и некоторые ядовитые вещества, например сульфиды. В кислородной атмосфере, промываемые дождями, пирокластические породы буквально через месяцы становятся пригодными для жизни почвенных микроорганизмов, а потом и растений.

Исследования ученых Вагенингенского университета (Нидерланды) показывают, что лунный реголит и марсианские породы, смоделированные по данным марсохода «Патфайндер», по способности поддерживать растительную жизнь похожи на земные вулканические пеплы (PLoS ONE, 2014, 9, 8, e103138, doi: 10.1371/journal.pone.0103138).

Представляют интерес и еще более компактные системы, которые требуют заметно меньше площади на человека, чем 40 квадратных метров, но обеспечивают в основном кислород и воду. Такие конструкции можно создать на основе фотореакторов с микроводорослями. Если создание искусственных экосистем, производящих съедобные для человека растения, требует усилий целых научно-исследовательских институтов, то эти фотореакторы вполне по силам непрофессионалам. Существуют любительские сообщества, занимающиеся выращиванием хлореллы и спирулины в домашних условиях. Хотя любители и не дышат исключительно тем кислородом, который выработан их водорослями, а только употребляют эти водоросли в пищу.

**Виктор Вагнер**



**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/)**

# Дикой природе — дикую тварь

**Ч**исленность редких животных восстанавливают разными способами. Иногда их выращивают в питомниках или заказниках, а затем перевозят на новое место, чтобы они там плодились и пополняли местную фауну. Это хлопотное и дорогостоящее дело. Обидно, если переселенное животное погибает спустя несколько дней, а такое, увы, не редкость. Хорошо бы знать заранее, выдержит ли зверь перемещение, или лучше оставить его там, где он был. К сожалению, критерии пригодности животных к переселению практически не разработаны. С одной стороны, больше шансов избежать неведомых опасностей должно быть у осторожных особей, однако при переезде они наверняка испытывают стресс, который плохо повлияет на их память и способность к обучению. В питомниках, где животным никто не угрожает, процветают отнюдь не осторожные особи, а бесстрашные и любопытные, но в дикой природе обстановка совсем другая, и бесстрашие может обернуться безрассудством. Каких же зверей предпочесть? Одно из первых исследований этой проблемы провели специалисты австралийского Университета Мердока под руководством профессора Патриции Флеминг («Behavioral Ecology», 2016, 27, 969—977, doi:10.1093/beheco/arv242).

Ученые заботятся о восстановлении численности лисовидного поссума *Trichosurus vulpecula*, он же лисий кузу, он же щёткохвост. Это зверек размером 32—58 см, с длинным хвостом, самцы существенно крупнее самок. Лисьи кузу днем спят в дуплах, а ночью кормятся листьями, цветами и фруктами. На них обычно охотятся питоны и хищные птицы, но европейцы завезли в Австралию еще двух хищников: красную лисицу *Vulpes vulpes* и дикую кошку *Felis catus*. Они легко ловят поссумов, когда те спускаются на землю, чтобы пере-



Лисовидный поссум *Trichosurus vulpecula*

браться на другое дерево, отдохнуть под бревном или поесть. В результате совместных усилий хищников и людей, добывавших лисовидных поссумов ради меха, численность этих зверьков за последние 150 лет сократилась почти вдвое.

Животных перевозили из заказника Каракамии в заказник Паруна. Территория Каракамии размером 275 га полностью обнесена забором, который защищает от проникновения наземных хищников. Площадь Паруны, расположенной в 20 км к северо-востоку, около 2000 га, огородить ее невозможно, и лисы там есть, хотя их регулярно травят (еще один австралийский способ спасения собственных исчезающих видов — уничтожение вселенцев).

Прежде чем переселять поссумов, исследователи посмотрели, как они ведут себя при контакте с человеком, в клетке и на воле, а затем проследили, как эти особенности повлияли на выживание зверьков в Паруне. Они расставили ловушки, которые проверяли на рассвете, в конце периода ночной активности поссумов. Исследователи отобрали 12 самок и 8 самцов, подходящих для переселения, и определили их вес, пульс, длину конечностей. Все поссумы были в хорошем состоянии, здоровые и упитанные. На них надели ошейники с маленькими радиомаячками, которые позволяют устанавливать местоположение зверьков. Если оно не менялось более 12 часов, животное считали погибшим.

Проделав все эти манипуляции, исследователи оставили поссумов в темном помещении в клетках-переносках дожидаться наступления темноты, чтобы выпустить обратно в лес. За время ожидания к ним заглядывали каждые два часа, проверяли, как животное себя ведет: спит ли, ест, оставляет экскременты, рвет ли бумагу, пытается сделать гнездо.

Выпускали животных вечером, наблюдая за ними с помощью прибора ночного видения. Открыв дверцу, исследователи ждали, когда поссум выйдет (если он в течение шести минут не выходил добровольно, зверька вытаскивали), и смотрели, что он делает дальше: затаивается рядом с клеткой или сразу удирает. Поскольку радиомаячки позволяли определить местонахождение животных, биологи регулярно приходили их проверять. Ученых интересовало, где поссумы кормятся ночью и отдыхают днем. Чем выше на дереве находится животное, тем в большей оно безопасности от наземных хищников. Если его заставали на земле или на бревне, это рискованное место. Если поссум пребывал на дереве, но на высоте менее пяти метров, исследователи считали, что он, возможно, кормился на земле, но, заслышав приближение наблюдателя, влез на дерево. Днем благоразумному, осторожному поссуму полагается спать в дупле, и лучше, если оно

находится выше пяти метров. Отдыхать на земле, спрятавшись под бревном, плохо, потому что может найти лисица. С учетом всех перемещений поссумов за две недели исследователи определили площади их кормовых участков и участков, где расположены места отдыха (она составляет в среднем 1,5 га у самцов и 1,1 га у самок)

Оказалось, что животные, у которых в клетке сердечко бешено колотится, неохотно покидают переноску и медленно удаляются от нее. Они же выбирают более безопасные места для кормежки и отдыха, и размер участков у них меньше, чем у стрессоустойчивых животных, которые не боятся людей и, выскочив из клетки, шустро удирают.

Спустя две недели всех помеченных лисьих кузу поймали еще раз, вместе с 36 другими поссумами отправили в Паруну и вновь поинтересовались их судьбой через пять месяцев. За это время поссумы разбрелись в радиусе от полутора до четырех километров от места, где их выпустили. Десять из двадцати помеченных особей были живы и прибавили в весе, все четыре самки обзавелись детенышами. При этом в лучшей физической форме оказались те, кто на прежнем месте вели себя более осторожно. Одно животное отыскать не удалось, возможно, он потерял свой радиомаячок. Еще девять погибли, в том числе четверо в первую же неделю. Двоих найти не смогли, и причины их смерти неизвестны, установлен только факт гибели, поскольку радиомаячки подавали сигнал из одной точки. Еще один поссум погиб из-за надоевшего ошейника. Трех прикончили лисы или кошки, двоих — питоны, еще одного — хищная птица.

Исследователи отмечают, что главным фактором, повлиявшим на выживаемость поссумов, оказалась осторожность. Те, кто в Каракамии пугались, когда их ловили, не спускались без нужды на землю и не удалялись для кормления слишком далеко от мест, удобных для ночевки, уцелели и в Паруне. Жертвами хищников стали храбрые, а точнее, беспечные поссумы, которые выбирали для отдыха места на земле, под бревном, где они хорошо заметны и легко досягаемы.

С другой стороны, у более смелых животных есть преимущества на новом месте, поскольку они решаются разведывать новые кормовые участки, на которые робкие не рискнут притязать. Недавно специалисты Тасманийского и Техасского университетов исследовали влияние темперамента тасманийских дьяволов на их выживание («Zoo Biology», 2014, 33, 36—48, doi: 10.1002/zoo.21108). Они выращивали в неволе осиротевших детенышей, а затем выпускали в места



ДНЕВНИК НАБЛЮДЕНИЙ

обитания их матерей. Среди выживших в течение полугода преобладали те, кто в неволе вел себя в 3,5 раза смелее. Смелость исследователи измеряли по числу движений в незнакомой клетке и количеству времени, потраченного на изучение новых объектов: мячика из перьев и зеркала. Однако плодоядные поссумы, попав в места, где есть незнакомые им хищники, рискуют погибнуть, если окажутся излишне смелыми.

Однако не следует ударяться в другую крайность. У двух зверьков, съеденных питоном, в Каракамии были очень маленькие территории для отдыха, всего 0,001 и 0,004 га. В течение тех двух недель, что за ними наблюдали, они всегда отдыхали в одном или двух дуплах, которые, безусловно, пропахали поссумами. Животным, на которых охотятся хищники, ориентирующиеся по запаху, а питон именно таков, следует чаще менять лежку, но эти двое и в Паруне, по-видимому, сохранили свои привычки.

Похожие исследования провели в 2004 году специалисты Королевского университета Белфаста, которые проследили за судьбой выпущенных на свободу американских корсаков *Vulpes velox* («Animal Conservation», 2004, 7, 313—320, doi: 10.1017/S1367943004001490). Этих маленьких американских лисичек вырастили в неволе. Те, кто во время жизни в вольере быстро и охотно оставляли свои укрытия, чтобы подойти поближе к новым кубикам, мячикам или незнакомым людям, погибли в течение полугода после перемещения в естественные условия.

Однако австралийские ученые подчеркивают, что никакие наблюдения в клетке не позволяют оценить манеру животного выбирать укрытие или кормиться. Патриция Флеминг и ее команда впервые оценили темперамент животных по их поведению в природной среде. Но с другой стороны, сложно наблюдать за перемещениями животных на территории в несколько сотен гектаров, а заниматься подобными исследованиями всякий раз, когда несколько десятков зверей понадобится переселить на новое место, практически невозможно.

В этой ситуации особое значение приобретают критерии, разработанные исследователями во время наблюдения за поведением поссумов, ожидающих сумерек в клетках-переносках. Животные, которые не ели там предложенные яблоки, не опорожняли кишечник, не рвали бумагу, пытались устроить гнездо, и не спали, впоследствии с опаской покидали переноски, проявляли осторожность в выборе мест для кормления и отдыха и не расширяли кормовые участки больше среднестатистических размеров. Именно эти поссумы выжили в Паруне. Животных, чувствующих себя в присутствии людей как дома, можно считать бесстрашными. Именно такие звери будут доминировать в неволе, но в природе бесстрашие губительно для потенциальной жертвы. Поэтому переселение на новое место — своего рода бутылочное горлышко, пропускающее только осторожных, боязливых животных.

Таким образом, сочетание четырех признаков, предложенных Патрицией Флеминг и ее коллегами, — простой и недорогой тест, подходящий для изучения темперамента многих редких животных, которым предстоит переселение. Храбрость, агрессивность и готовность осваивать новые территории более актуальны для хищников, а для их потенциальных жертв предпочтительна осторожность.

Переселять на новое место лучше животных, пойманных в естественных условиях, а не выращенных в неволе, поскольку они с первых дней жизни привыкают избегать опасностей. В дикой природе должны жить дикие звери. Однако в этом случае биологам придется иметь дело преимущественно с более смелыми и менее осторожными особями, поскольку именно они чаще попадают в ловушки.

**Н.Анина**



<https://en.wikipedia.org/>

# Амистативность — инерция социальных связей

Доктор  
биологических наук  
**Д.А.Жуков**

В рассказе Джека Лондона «Костер» замерзает старатель — слишком поздно попытался развести огонь, когда пальцы от холода уже задеревенели и не смогли удержать спичку. Не это огорчило меня в детстве, а поведение собаки в финале истории:

«Потом он погрузился в такой сладостный и успокоительный сон, какого не знавал за всю свою жизнь. Собака сидела против него и ждала. Короткий день угасал в долгих, медлительных сумерках. Костра не предвиделось, и, кроме того, опыт подсказывал собаке, что не бывает так, чтобы человек сидел на снегу и не разводил огня. Когда сумерки сгустились, тоска по огню с такой силой овладела собакой, что она, горбясь и беспокойно переступая лапами, тихонько заскулила и тут же прижала уши в ожидании сердитого окрика. Но человек молчал. Немного погодя собака заскулила громче. Потом, подождав еще немного, подползла к человеку и почуяла запах смерти. Собака попятилась от него, шерсть у нее встала дыбом. Она еще помедлила, протяжно воя под яркими звездами, которые кувыркалились и приплясывали в морозном небе. Потом повернулась и быстро побежала по снежной тропе к

знакомому лагерю, где были другие податели корма и огня».

Отношение собаки к человеку исключительно как к «подателю корма и огня» противоречило моему детскому стереотипу, представлению о собаке как о лучшем друге человека. Правда, я находил некоторое оправдание такого отношения в том, что для героев Джека Лондона собаки были прежде всего транспортным средством, а иногда и пищевым ресурсом. Точнее, естественный для любого небиолога антропоцентризм позволял мне объяснить, но не оправдать поведение животного. А как же быть с такими фразеологизмами, как «собачья преданность», с многочисленными историями о собаках вроде Хатико? Получается, не все собаки беззаветно преданны хозяину?

## Любить человека, любить людей

Не все. Теперь, когда я изучаю биологию поведения, я знаю, что особенность психики, которая проявляется в прочных личных контактах, в таких отношениях между двумя живыми существами, которые называются преданностью и верностью, — сугубо индивидуальна. Более того, можно утверждать, что прочность социальных контактов очень сильно зависит от биологической

*Немецкие овчарки прославлены склонностью защищать членов своей стаи. Не пытайтесь выразить свою симпатию незнакомой овчарке. Вы для нее чужой*

наследственности. И собаки — хорошая модель для изучения этого признака поведения.

Каждая порода собак представляет собой более или менее генетически однородную группу особей. Даже у тех пород, внутри которых отбор ведут главным образом по внешним признакам — размерам, телосложению, окрасу и т. п., внутрипородное скрещивание формирует и специфические особенности поведения. В описании любой породы мы находим оценки таких поведенческих качеств, как подвижность, активность, злобность, обучаемость и пр. Но мне не встречалось выделенным в отдельное свойство и оцененным в баллах такое качество, как «преданность», хотя все породы различаются по своему отношению к человеку-хозяину. Поскольку это свойство проявляется не только у собак, но и у всех животных, назовем его инерцией социальных связей, или амистативностью (от каталанского «amistat» — дружба; греческое слово «филиа» уже использовано для термина аффилиация, употребляемого в научной и психологической литературе в нескольких значениях).

Амистативность одних пород очень высокая, а других — почти нулевая. Очень высокая амистативность типична для чау-чау. В новом для нее доме чау выбирает одного из людей себе в хозяева, воспринимает его как вожака стаи. Причем это необязательно будет взрослый мужчина — чау может выбрать и бабушку, и мальчика. И все бы ничего, но остальные люди в доме для нее не более чем знакомые. Она не кусает их, но не слушается. И конечно, не позволяет с собой никакой фамильярности. Последнее бывает очень досадно, потому что собаку с внешностью плюшевого мишки хочется порой потискать, потрепать. Но у чау острые зубы и крепкие челюсти.

Высокая амистативность чау проявляется не только в отношении к людям, но и в сексуальных связях. Молодых кобелей никогда не спускают с поводка. Если недоглядеть, он может связаться со случайной сучкой, и тогда производитель потеряет для породы. Каких бы красавиц-чемпионок ему ни привозили потом на вязку, кобель чау будет верен своей первой мимолетной любви.

Противоположное, очень низкое проявление амистативности мы обнаруживаем у хаски — группы пород ездовых собак. Поведение хаски ориентировано в первую очередь, конечно, на хозяина — он же кормилец. Но и все другие люди, если они проявляют дружелюбие к собаке, легко могут вызвать если не ответные чувства, то добродушное поведение. Рассказывают, как человек поехал на пикник в лес, взяв с собой одного из своих хаски. Пес был рабочим, беговым, и, чтобы он не терял форму, хозяин навьючил на него набитый пивом рюкзачок. Пока человек разбивал лагерь — палатка, костер, — собака бегала по лесу. А когда вернулась — рюкзачок оказался пустым! Если это и байка, то вполне биологически достоверная; хаски не только позволит любому незнакомцу, умеющему общаться с собаками, себя погладить, но и будет стоять смиренно, пока тот потрошит ее рюкзак.

## Немцы и ретриверы

Если представить чау-чау и хаски как два полюса амистативности, то все остальные породы можно расположить на этой шкале. Ближе к середине шкалы со стороны хаски расположатся ретриверы — лабрадоры и золотистые, а со стороны чау — немецкая овчарка.

Конрад Лоренц в книге «Человек находит друга» много пишет о своей овчарке Стаси, дружелюбно относившейся к домашним и вполне терпимо — к посторонним, но только пока хозяин не уезжал в командировки. Такое поведение типично для немецкой овчарки, породы с высокой амистативностью.

Немецкие овчарки — универсальные служебные собаки. Высокий интеллект и хорошие физические данные позволяют использовать эту собаку почти во всех собачьих профессиях:



## РАЗМЫШЛЕНИЯ

сторожевая служба, охрана, работа по следу, задержание преступника, поиск раненых под обломками зданий, поиск пропавших в горах (немцы давно вытеснили сенбернаров из этой профессии), собаки-поводыри.

Особенно много немецкие овчарки работают в полиции и в армии. И главным, едва ли не единственным недостатком породы считается «излишняя привязанность к хозяину». Ведь полицейские и солдаты порой гибнут. Бывает, что служащего переводят в другое подразделение, а собаку передают другому кинологу. Немецкая овчарка с большим трудом и очень медленно забывает прежнего хозяина и привыкает к новому. Вспомним драматическую историю Мухтара. А создатели отличного австрийского сериала «Комиссар Рекс» растянули процесс привыкания полицейской овчарки к новому хозяину на три первые серии. И эта длинна вполне достоверна биологически.

Немецкая овчарка, живущая в семье и работающая собакой-компаньоном, любит прежде всего конечно же своего хозяина. Но и все прочие люди в доме — это члены ее стаи. Возможно, овчарка воспринимает людей не как стаю, а как отару? Все-таки ее предки были пастушьими собаками. Как бы то ни было, в доме собака всегда предпочитает ту комнату, где сейчас находится максимальное количество членов семьи. Когда же семья в полном составе, чтобы порадовать собаку, надо всем усесться на диван. Собака тоже втиснется в компанию и будет лежать с чувством полного удовлетворения ходом событий — ура-ура, вся отара в сборе. Ведь овцы хотя и низкоранговые, но тоже члены сообщества собаки-пастуха.

На незнакомца немецкая овчарка реагирует настороженно. Естественно, если собака видит, что хозяин общается с незнакомым ей человеком вполне дружелюбно, то и она не проявит враждебности. Спустя какое-то время может позволить себя потрогать, а то и сама обнюхает и лизнет нового знакомого. Но не пытайтесь на улице выражать дружелюбие незнакомой овчарке. В Австрии, в Швейцарии, в немецких федеральных землях Берлин и Бранденбург, как показали специальные исследования, риск для ребенка быть укушенным немецкой овчаркой в пять раз выше, чем получить укус ретривера («Pediatrics» 2006, 117, 3, doi:10.1542/peds.2005—1451). Конечно, это в пересчете на собачью голову — в местностях, где ретриверов много, а овчарок мало, и жалоб на укусы ретриверов будет больше, но каждый отдельный ретривер по сравнению с немецкой овчаркой значительно добродушнее к незнакомцам. Стоит прохожему почмокать губами и сказать с восхищенными интонациями: «Какой же ты красавец, парень!», как он замашет хвостом и подставит свое любимое для почесывания место. Конечно, ретриверы тоже любят своего хозяина, но не боготворят его. Точнее будет сказать, что они в отличие от немецких овчарок склонны к политеизму.

Ретривер слушается хозяина, но открыт и для других социальных контактов. Эти собаки любят компанию — любую. Кроме того, ретриверы очень любопытны, их интересуют новые люди, животные, запахи. Поэтому ретриверы могут



*В канистерапии часто используют ретриверов, а немецких овчарок — очень редко. Дело в различной амистативности двух пород*

исчезать на прогулке, по-тихому бросая хозяина, увлеченные неким интересным впечатлением. Ретриверов часто воруют, пользуясь их любопытством и неспецифическим дружелюбием, тем свойством их психики, которое мы назвали низкой амистативностью. Клубы собаководства рекомендуют не только чипировать этих собак, но и писать на ошейнике имя и адрес владельца, потому что собака необязательно будет украдена, она может просто потеряться.

Невысокая амистативность ретриверов позволила им почти полностью оккупировать некоторые специальности на рынке собачьего труда. Например, поводыри слепых. Использовать собак таким образом начали в 1920 году, и тренировали по-началу только немецких овчарок. Это сложная профессия. Собака-поводырь не должна отвлекаться на других людей и животных. Она должна различать сигналы светофора и соответственно реагировать. Она должна самостоятельно принимать решения при выборе маршрута, в частности обходить препятствия. Она должна подавать хозяину сигналы о возникающих затруднениях, например о высоком поребрике, о закрытой двери привычного магазина. Из десяти курсантов только один получает диплом поводыря. В настоящее время среди дипломированных поводырей большинство составляют ретриверы. А в некоторых странах, например в Австралии, в школу собак-поводырей принимают только их.

Интеллект и обучаемость немецких овчарок, как считается, несколько выше, чем у золотистых ретриверов и лабрадоров-ретриверов. Несмотря на это, немецкие овчарки осваивают профессию поводыря много хуже. Вероятно, дело тут в различиях по амистативности. Ведь обучает собаку один человек, а работать ей предстоит поводырем другого. Обучение длительное, за это время у собаки, естественно, складываются партнерские отношения с тренером. И переключиться на другого человека немецкой овчарке сложно, а для ретривера в этом нет проблемы.

Еще одна собачья профессия, в которой преобладают ретриверы, — канистерапия. Для лечения людей используют общение с различными животными, с лошадьми, с дельфинами. Но к дельфину и лошади человек должен прийти сам, а собака — та может прийти к человеку. Специально отобранные и обученные собаки посещают дома престарелых и клиники нервных болезней, прежде всего детские учреждения. Общение с собаками заметно улучшает самочувствие старых людей и тех, кто страдает врожденными аномалиями развития, а также способствует лечению детских неврозов.

Общение собак с людьми при канистерапии очень тесное, контактное. Животное все время гладит совершенно незнакомые люди — чтобы выдерживать такое, нужны определенные свойства психики. Прежде всего надо быть очень спокойной

собакой. Поэтому для такой работы совершенно не подходят, например, джек-рассел-терьеры, которые не прощают даже случайно причиненного дискомфорта — кусаются. А кроме того, нельзя пытаться выделить одного человека, надо быть приятной и симпатичной для всех, то есть обладать невысокой амистативностью.

## У людей

Легко заметить, что не только собаки различаются по амистативности, но и люди. Один человек легко заводит новые знакомства и так же легко прерывает контакты, когда обстоятельства становятся неблагоприятными для общения. А для другого сближение с кем-то — сложный длительный процесс. Но, сформировавшись, такая связь — дружба — не обрывается, порой сохраняется на всю жизнь.

Вариативность людей по признаку амистативности наиболее наглядно проявляется в количестве брачных союзов. Некоторые люди вступают в брак и разводятся по пять, шесть, семь раз. И далеко не все они брачные аферисты. Они подчиняются движениям своего сердца: любовь проходит; это так же естественно, как и ее приход. Персидский поэт Саади по этому поводу заметил: «Прошлогодний календарь не годится для нынешней весны». Действительно, любовная страсть угасает со временем. Неизбежные новые знакомства уже одной новизной привлекают человека: новые впечатления, а может быть, и новые физические ощущения. Кроме того, новый знакомый будет говорить и свежие комплименты. Ведь давно знающие нас люди перестают восхищаться нашими достоинствами, воспринимая их как данность. Поэтому абсолютное большинство людей, состоящих в браке, имеют внебрачные связи — так утверждают американские социологи. Можно говорить о типичной для людей полигамии, но полигамии биологической, а не социальной.



Фото: А. Константинов

*Как отмечал Конрад Лоренц, для многих такс характерна низкая амистативность. «...При первой же встрече он приветствовал меня как давно потерянного хозяина. Конечно, это мне очень льстило, пока я не заметил, что Кроки точно так же встречает всех и каждого. Его томила бурная любовь ко всему роду человеческому без всяких исключений».*

Разводятся и заводят новые семьи, а тем более разводятся многократно далеко не все. Основной фактор, удерживающий от развода, — это дети. Для некоторых людей немислимо оставить своих детей. И дело здесь, видимо, не только в чувстве долга, но и просто во врожденной большой инерции социальных связей, то есть в высокой амистативности.

Хороший пример мужчины с высокой амистативностью привел Эдуард Успенский в сказке о Простоквашине. Когда Мама заявила: «Если тебе этот кот так важен, пожалуйста — выбирай: или он, или я!», Папа, подумав, сказал: «Ну, я тебя выбираю. Я с тобой уже давно знаком, а этого кота в первый раз вижу». Замечательно, что Папа прямо объясняет свой выбор не какими-то достоинствами, которыми обладает Мама и которых нет у кота, а только продолжительностью социальных контактов. Можно смело утверждать, что не только новые коты, но и новые женщины не уведут такого мужчину из семьи вследствие его высокой амистативности. Такие люди если и имеют внебрачные связи, то есть являются биологически полигамными, остаются моногамными в социальном смысле.

## У мышей

Что еще известно о биологических основах амистативности, кроме большого вклада биологической наследственности в проявление этого признака? Около 2000 года физиологи поведения обратили внимание на два вида полевок, которые различаются по социальному поведению (полевок, строго говоря, нельзя называть мышами, они относятся к другому семейству грызунов). Один вид моногамен, а другой полигамен. У первого вида в уходе за потомством принимают участие оба родителя, а у второго — только самка. Эксперименты с перекрестным вскармливанием (кросс-фостеринг) показали, что взрослые полевки воспроизводят тип отношений своих биологических родителей, а не приемных. Было обнаружено, что два вида различаются по активности окситоцин- и вазопрессинергической гормональных систем. Это вызвало взрыв работ по теме «Окситоцин — гормон дружбы и доверия». (На самом деле, как выяснилось, все несколько сложнее, см. статью Н.Л.Резник в этом же номере.) Окситоцин и вазопрессин работают в организме — как у полевок, так и у человека — не только гормонами, но и нейротрансмиттерами в головном мозге. Поэтому интенсивно изучаются центральные нейрохимические и генетические механизмы склонности либо к моно-, либо к полигамии.

Продолжаются и поведенческие эксперименты. В частности, недавно было показано, что моногамные полевки отличаются не только высокой интенсивностью родительского поведения, но и способностью к сочувствию. Животных, получавших болевое раздражение, после возвращения в домашнюю клетку сразу окружали другие полевки. Те животные, которые оставались в одиночестве, дольше восстанавливались после стресса («Science», 2016, 351, 6271, 375—378, doi: 10.1126/science.aac4785).

Таким образом, полевки двух видов различаются прочностью социальных связей вообще, а стабильная связь внутри родительской пары и привязанность родителей к детям представляют собой частный случай более общего свойства психики — амистативности.

## Практические выводы

В заключение вернемся к рассказу Джека Лондона. Большинство собак, участвовавших в золотой лихорадке, были дворняжками с большой генетической долей хаски. Поэтому поведение собаки из рассказа «Костер» уже не удивляет и позволяет сделать практические выводы тем, кто собирается завести собаку.



РАЗМЫШЛЕНИЯ

Многие добрые люди подбирают на улице пса — ведь он сам ко мне подошел! — или забирают из приюта симпатичную дворнягу, желая спасти хоть одну собачью душу. А дальше бывает так. Какое-то время собака радует человека дружелюбием, покорностью, лаской и неприхотливостью, а потом внезапно убегает на прогулке. Иногда возвращается через пару месяцев. «Потеряшка моя, глупенькая», — думает человек, а потом собака опять исчезает. В действительности она живет на несколько домов. Надоело в одном доме, да и кормят уже не одними деликатесами, чешут пузо не так прилежно, как вначале, так что пойду-ка я к другим подателям корма и комфорта — так можно было бы, антропоморфируя, передать «рассуждения» дворняги.

Известны случаи, когда к человеку прибывалась беременная сука и исчезала, когда заканчивала кормить щенков, считая дальнейшую заботу о них обязанностью человека. Подобное поведение встречается и у уличных кошек. Беременные или с новорожденным котенком в зубах, они порой особенно назойливо преследуют людей возле дверей парадных и квартир, издавая крики, в которых многим людям слышится «мама!».

Полное отсутствие амистативности типично для дворняжек, точнее, для одичавших городских собак. Поэтому дворняг не используют как служебных собак, несмотря на их очень высокий интеллект и отличные способности к обучению. Отметим, что потомок собак двух пород — тоже, строго говоря, дворняга, убудок. Но такой метис унаследовал свойства родителей. Особенности его поведения будут, скорее всего, некой средней величиной между родительскими. Мы же говорим здесь о настоящих дворняжках, собаках, родившихся в генетически гетерогенном сообществе.

Если же вы хотите приобрести чистопородную собаку, то определитесь с желательным набором ее поведенческих свойств. Важна ли вам прежде всего преданность? Тогда имейте в виду, что собака с высокой амистативностью потребует преданности и от вас. Нельзя, к примеру, использовать немецкую овчарку как цепного пса. Собака, лишенная постоянного поведенческого контакта с хозяином, заболает.

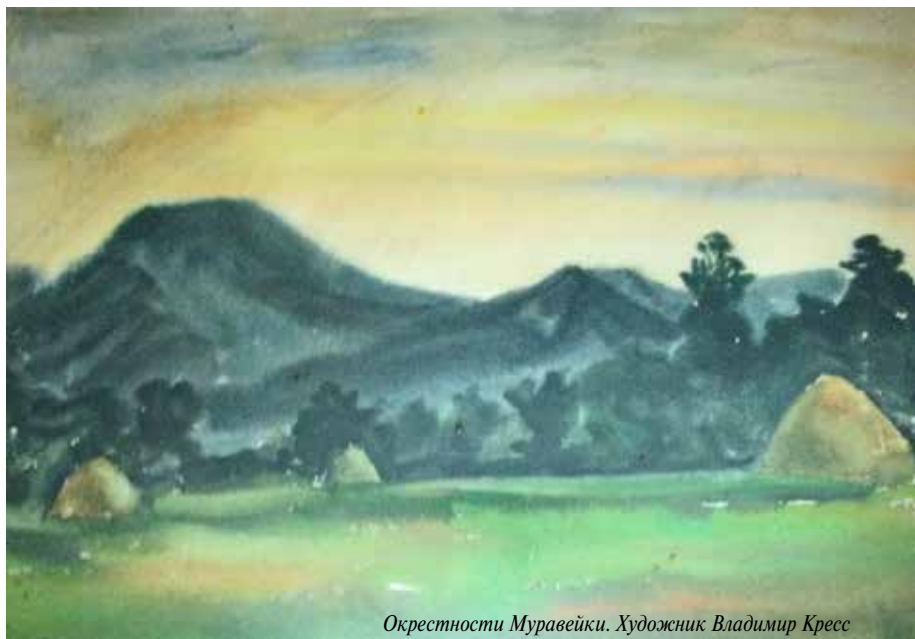
Еще более важный практический вывод должны сделать люди, выбирающие не собаку, а человека себе в мужа или жены. Помните, что амистативность — врожденное качество, которое не изменишь воспитанием.



# Загадочные бабочки

Доктор химических наук  
**Л.В.Каабак**

*Наверное, каждый исследователь рано или поздно встречается с настоящей загадкой. Одни окажутся недоразумениями, другие открытиями, третьи найдут простое объяснение, которого никто не мог ожидать, а четвертые останутся без отгадки надолго — кто знает, на сколько десятилетий. Собрание бабочек — одна из самых романтических областей полевой биологии, и где уж быть загадкам и тайнам, как не здесь! Мы попросили нашего постоянного автора, химика и энтомолога Л.В.Каабака, рассказать об этом несколько историй.*



*Окрестности Муравейки. Художник Владимир Кресс*

## Глазки с пятак

В 1976 году исполнились сразу две мои давнишние мечты: начать собирать бабочек и оказаться в приморской тайге.

Еще в Москве при выборе своей приморской «резиденции» я остановился на таежных поселках Муравейке и Каменушке. Муравейка казалась предпочтительнее: судя по карте, ее на больших расстояниях окружала безлюдная тайга. Окончательное решение я принял уже в Приморье. И в Муравейку, и в Каменушку ехать надо из Уссурийска. На автовокзале Уссурийска спрашиваю очередь в кассу: вокруг какого из этих двух поселков более дикая тайга, привлекательнее места, больше красивых бабочек? Расчет — на незаурядную наблюдательность таежников. Доброжелательная очередь после оживленного обсуждения демократическим большинством выбирает Муравейку. Поэтому беру билет до Анучина, откуда в Муравейку раз в день ходит автобус.

И вот солнечным июльским утром выхожу из автобуса в Муравейке. На мне белая войлочная шляпа с бахромой, которую издали принимали за седые космы, в руках сачок, за спиной рюкзак. Чтобы побороть смущение и показать редким прохожим, что ничего особенного не происходит, я сразу стал бегать по улице за многочисленными не виданными мной прежде бабочками.

На окраине Муравейки ко мне подошел пожилой мужчина и сказал, что особенно много бабочек бывает ночью в ДОЦе — деревообрабатывающем цехе, освещенном сильными лампами.

Вечером я отправился в ДОЦ. Это оказались несколько больших деревянных ангаров метрах в двухстах от Муравейки. С одной стороны к ним подступала тайга, с другой — широкое поле, раскинувшееся у подножия покрытых лесом сопок. Мужчина, посоветовавший ловить бабочек в ДОЦе, оказался мастером вечерней смены; вскоре мы с Василием Яковлевичем Федькиным стали друзьями.

Около девяти часов включили лампы. К десяти — внутри ярко освещенных ангаров, вокруг ламп над широкими дверными проемами, гуляла метелица из насекомых. От стремительных

вихрей отделялись ослепленные светом бабочки разнообразной окраски и различных размеров и садились на светлые стены, на застекленные окна. Рой бабочек бился в стекла снаружи... Я был потрясен, я не ожидал подобного. Особенный восторг вызывали громадные темные брамеи с размахом крыльев до 12 сантиметров.

Поделиться восхищением я кинулся к Василию Яковлевичу. Но он сказал, что эти бабочки не так уж велики, что четыре года назад здесь, на окне в ДОЦе, сидела действительно огромная бабочка — таких он ни раньше, ни потом не видел. Он был так удивлен, что взял ее



*Lobobunea*

за крылья, показал рабочим и спросил, видели ли они такого зверя? Никто не видел. Василий Яковлевич отпустил ее.

Тогда этот рассказ меня не особенно взволновал. Я был поражен увиденным и к тому же полагал, что это могла быть какая-либо известная приморская павлиноглазка — ямамай *Antheraea yamamai* или дубовая китайская *A. pernyi*, а необычно большой она показалась потому, что рядом были бабочки значительно меньших размеров. Однако когда я в августе показал этих павлиноглазок Василию Яковлевичу, он ответил, что та бабочка намного крупнее, а характерные для павлиноглазок округлые глазки на ее крыльях были величиной с пятак (около 3 см). У известных приморских павлиноглазок диаметр глазка не превышает сантиметра.

К тому времени я уже как следует узнал Василия Яковлевича и относился к его словам с полным доверием: не раз убеждался в его поразительной наблюдательности охотника, в точном описании виденного — недаром он всю войну был разведчиком.

Чтобы побольше узнать о таинственном гиганте, отправляюсь в Арсеньев, в краеведческий музей, где, как говорили, собрана огромная коллекция бабочек. Знакомлюсь с директором — молодой, очаровательной Клавдией Кресс. Влюбленная в природу Приморья, большой ее знаток, Клавдия создала великолепную выставку насекомых. Но о загадочной огромной бабочке она ничего не знала, как и другие энтомологи, которых я расспрашивал.

Следующий отпуск я снова проводил в Приморье. Работал много. Весь день ловил в тайге дневных бабочек, проходя по 25—30 км, затем с десяти вечера до часа-двух ночи — ночных: на свет костра на лесных полянах, в ДОЦе в Муравейке или на ярко освещенной территории организации «Сельхозтехника» в райцентре Анучино, в долине таежной реки

Арсеньевка. До рассвета, в пять-шесть часов, я шел «собирать урожай»: сплошь покрытые разнообразными ночными бабочками стены под сильными лампами были готовыми коллекциями. Но стоило немного проспать, как меня опережали птицы. На сон оставалось четыре-пять часов. Погода стояла солнечная, жаркая, каждый день и каждая ночь приносили ожидаемые и неожиданные находки. Поэтому я не позволял себе дополнительно сна и отдыха и лишь мечтал о затишном ненастье или хотя бы ливне на сутки.

Двадцать третьего июля я отправился ловить ночных бабочек в «Сельхозтехнику» с Александром Строевым, профессиональным энтомологом, молодым сотрудником Московской лесозащитной экспедиции. Наряду с основной работой по определению распространенности вредителей леса он собирал коллекцию насекомых.

Часам к одиннадцати вечера я с удовлетворением отметил: наконец-то ничего нового не летит и можно с чистой совестью идти спать. Добросовестный Саша не покинул пост под мощным юпитером, а я отправился в гостиницу. Спал чутко. И не только из-за мысли об упущенных бабочках — меня мучило любопытство: что наловит Саша? Едва он приоткрыл дверь, я проснулся и попросил включить свет. Саша был перемазан мазутом и очень расстроен. Минут через двадцать после моего ухода в стену под юпитером ударились бабочка. Она была так велика, что Саша растерялся. Хотел накрыть ее сачком, но сачок ходуном ходил в руке. Пока Саша пытался с ним справиться, ослепленная бабочка билась в стену, а затем спланировала под стоявшие в ряд грузовики. Он успел разглядеть большие темные глазки на светлых крыльях. Саша кинулся за ней под машины; около трех часов с фонариком искал под ними, осматривал грузовики снизу, землю и траву вокруг — безуспешно!



## ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

Я вскочил. До рассвета мы искали бабочку. Не видели ее и в следующие ночи, проведенные в «Сельхозтехнике». Не стану удлиннять повествование эпитетами, которыми я награждал себя за лень и слабость, проявленные в тот злосчастный вечер. Урок жестокий.

Последний, третий рассказ о встрече с гигантской бабочкой я услышал от супруга Клавдии Кресс — Владимира Оттовича Кресса, художника, директора Детской художественной школы в Арсеньеве и знатока бабочек Приморского края. Показательна тема его диплома: «Развитие эстетического восприятия у детей путем изучения окраски крыльев бабочек». Эту бабочку Владимир увидел в конце августа на своей даче под сопкой Хулаза, недалеко от Арсеньева. Она сидела на стене. В сумерках он не разглядел ее, но она показалась ему необычно большой. Володя смахнул ее сачком в траву и накрыл им. Он даже не был уверен, что под сачком — бабочка, и побаивался извлекать непонятное существо. Когда Виталик, его сын, сказал, что под сачком вроде бы кто-то пищит, Владимир решил, что там летучая мышь, и с облегчением поднял сачок. Существо взлетело и быстро скрылось за деревьями, но он успел разглядеть, что это все-таки бабочка, только удивительно крупная.

Я сомневался, писать ли о непойманной гигантской бабочке, которую сам не видел. И решил — потому что все три встречи произошли с моими друзьями, наблюдательными и компетентными людьми, которым я безоговорочно доверяю. Наиболее характерный признак этой бабочки — ее удивительный размер, изумивший даже тех, кто знал крупных павлиноглазок Приморья. Примечательно, что все наблюдения произошли на сравнительно ограниченной площади — в таежном районе, примыкающем к южной трети хребта Восточный Синий.

Уссурийская тайга занимает более двух третей территории Приморского края, поднимается в горы более чем на километр и отличается обилием видов растений и животных. Энтомологи до сих пор нередко находят там неизвест-



*Parnassius autoerator*

ные ранее виды бабочек. И все же вряд ли таинственный гигант — абориген Приморья, где энтомофауна постоянно и активно изучается: существование каждого вида требует весьма высокой его численности, к тому же эта бабочка летит на свет, поэтому маловероятно, чтобы ее проглядели. Не верится и в ее прилет из смежных южных территорий, где похожие павлиноглазки (а этот гигант — скорее всего павлиноглазка) неизвестны. Дальние — из тропиков — перелеты павлиноглазок исключаются: ведь их хоботок редуцирован, они не питаются и живут не более десяти суток.

Я думаю, что в Приморье завозили куколок этой загадочной бабочки с грузом из тропических стран. По описанию очевидцев — светлый фон крыльев, большие глазки на них, — она ближе всего к огромным африканским павлиноглазкам (сатурниям) рода лобобунеа (*Lobobunea*).

### Аполлонические мифы

С 1911 по 1960 год самой загадочной бабочкой, конечно, был аполлон автократор (*Parnassius autocrator*). Трудно назвать другую бабочку, с которой было бы связано столько волнений и усилий многих энтомологов.

В 1911 году офицер А.К. Гольбек привез в Петербург бабочку, полученную на Памире от пастуха, который поймал ее, по его собственным словам, на перевале Гушкон на Дарвазе. Гольбек передал ее камергеру царского двора А.В. Авинову, крупному исследователю чешуекрылых. Научная добросовестность не позволила Авинову по одному экземпляру описать эту необычную бабочку с удивительно крупными оранжевыми пятнами за задних крыльях как новый вид, и он классифицировал ее как подвид слегка сходного с ним вида аполлона Чарльтона. Подвиду он дал название *autocrator* — «самодержец».

Представленный Авиновым цветной рисунок автократора вызвал сильнейшие волнения среди энтомологов. Многие сразу отправились на Памир, на поиски загадочной бабочки. Увы, никто не нашел ее! Да и никакого перевала Гушкон на Дарвазском хребте нет.

А затем события приняли криминальный характер. В 1928 году автократор появился в Германии, на энтомологической выставке в Дрездене. Оказалось, какой-то студент похитил из ленинградского Зоологического института авиновский экземпляр и продал его немецкому торговцу насекомыми. С большим трудом удалось вернуть бабочку на ее законное место в Ленинграде.

На выставке в Дрездене бабочку видел Ганс Котч, владелец энтомологического магазина. Он загорелся



*Parnassius charltonius anjuta*

мечтой найти ее, но Памир тогда был закрыт для зарубежных энтомологов, и Котч отправился в сопредельные с Памиром области Афганистана лишь в 1936 году. Районом поиска он выбрал горный массив Ходжа Мохамед — отрог Гиндукуша, отходящий на северо-восток, в сторону памирских Ванчского и Дарвазского хребтов. Котчу повезло: ему удалось найти и собрать самцов и самок автократора. (Ни у одного из видов аполлонов нет столь ярко выраженного полового диморфизма.) Собранный им материал позволил выделить автократора в самостоятельный вид аполлонов.

Блюдя свою выгоду, Котч скрывал точное место обитания бабочек. Коллекционеры, пытавшиеся повторить его успех в горах Ходжа Мохамед, возвращались ни с чем.

Только в 1960 году в Северо-Восточном Афганистане, в долине Анжуман, автократоров, проносившихся над труднодоступными крутыми скальными склонами на высоте 3300—3500 метров над уровнем моря, заметил Колин Уайат (*Wyatt*). Позднее в Афганистане автократора собирали и изучали неоднократно. Установили и кормовое растение его гусеницы — хохлатку.

Так бабочка автократор утратила ореол таинственности.

В 1985 году наши известные энтомологи — А.В. Крейцберг, В.А. Гансон, Е.А. Тарасов и П.В. Богданов — собрали одиночных бабочек и на Западном Памире; а еще через три года в скалах Рушанского хребта над Сарезским озером автор этой статьи нашел стацию автократора с многочисленными бабочками. Стацией называют участок с совокупностью условий (рельеф, климат, пища и т. д.), необходимых для существования определенного вида. Позднее наша энтомологическая экспедиция в обычном составе — А.В. Сочивко, В.В. Лесин и я — обнаружила популяции автократоров и на Восточном Памире.

О настоящих подвидах аполлона Чарльтона «Химия и жизнь» писала не раз (1990, 7; 1994, 1; 1996, 2 и др.). Второго августа 1983 года в могучих скалах массива Мынхаджир на высоте около 4200 м впервые на Восточном Памире я обнаружил несколько аполлонов Чарльтона, которые к тому же отличались от известных подвигов. Я назвал эту бабочку «анюта» (*Parnassius charltonius anjuta*) в память своей матери. В следующих экспедициях мы выяснили, что она летает только в нечетные годы, то есть у нее двухлетний цикл развития (за одно короткое и холодное лето бабочка не успевает пройти цикл яйцо — гусеница — куколка — бабочка). Ареал ее обитания — не более четверти квадратного километра, популяция малочисленна и значительно удалена от известных мест обитания бабочек этого вида и, видимо, вообще единственная. Скорее всего, анюта — палеоэндемик, реликтовый подвид.

Самое же удивительное обнаружилось при изучении зависимости сроков вылета этой бабочки от погоды. Оказалось, выход ее из куколки определяется первым приходящимся на период ее



Хохлатка — кормовое растение аполлонов



*Parnassius davydovi*

лётá снегопадом и в меньшей степени — температурным фоном июля. Средняя температура июля не превышает здесь 8°C, в июне она обычно ниже 0°C, поэтому перезимовавшая куколка в основном развивается в июле. При этом погода в четные годы, когда анюта находится в фазе личинки-гусеницы, не влияет на появление бабочки из куколки в году нечетном. Получается, что именно куколка безошибочно чувствует, когда пройдет снегопад. Если анюта не вылетит из куколки за несколько дней до него, она может просто исчезнуть с лица Земли.

К сожалению, не исключено, что такая печальная судьба постигла *Parnassius charltonius ljudmilae*. (По современной классификации он относится к подвидам аполлона Романова, как и подвид платон, о котором пойдет речь дальше.)

Летом 1985 года кандидат физматнаук Виктор Лесин обнаружил на скальном гребне Гиссарского хребта в верховьях Диахандары, над черной серповидной осыпью на высоте около четырех километров популяцию аполлона Чарльтона. Одну бабочку ему удалось поймать. Великолепный чарльтониус изумил энтомологов: считалось, что на Гиссарском хребте этого вида нет.

Определять по одному экземпляру подвидовую принадлежность некорректно. Три лета подряд мы с Виктором искали в тех местах хотя бы еще

одну бабочку. Удача улыбнулась нам лишь в 1989 году — популяция чарльтониуса была найдена, правда, не там, где ее обнаружил Виктор впервые, а в пригребневых скалах Гиссарского хребта, километрах в трех восточнее. Собранных экземпляров оказалось достаточно для выделения их в новый подвид, который мы назвали аполлоном Чарльтона Людмилы — в честь супруги Виктора, делившей с нами испытания трех высокогорных гиссарских экспедиций.

В 2011—2013 годы в местах обитания *Parnassius charltonius ljudmilae* побывали Виктор Лесин и Андрей Сочивко. Но, несмотря на обилие хохлатки, они не обнаружили ни одной бабочки, не были найдены ни яйца, ни гусеницы, ни куколки Людмилы. Скорее всего, на известных нам стациях этой бабочки теперь нет. Возможно, она не смогла приспособиться к более суровым погодным условиям с частыми ненастьями. Надеюсь, что на Гиссарском хребте еще сохранились ее популяции.

А вот подвид аполлона Чарльтона, обнаруженный мной в 1994 году в отроге Сарыкольского хребта под озером Дункельдык (Восточный Памир) и изученный нашей экспедицией (Андрей Сочивко, Виктор Титов, Виктор Лесин и автор), сразу был назван мистерикус — таинственный. Главные его загадки: в отличие от всех известных тогда на территории бывшего



*Parnassius charltonius ljudmilae*



*Parnassius charltonius mistericus*



## ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

СССР чарльтониусов, этот — самый высокогорный! — летал ежегодно, да и хохлатки мы здесь не нашли.

Для решения первой загадки мы изучали местные погодные условия в период лётá этой бабочки — с середины июля до 10 августа. Оказалось, здесь уникально теплый микроклимат. Мы все время находились на высоте 4300—4700 м и ни разу не видели снежных осадков — они всегда выпадали дождем, даже по утрам после ночной непогоды в горах у озера снега не было. Да и облака тут стояли реже, чем над дальними горами. Скорее всего, погоду июля — августа в этой местности определяет тропический индийский муссон, хотя сам он сюда не доходит, останавливаясь над самым юго-восточным углом Памира (Беик, Кызылрабат). Вероятно, над окрестностями Дункельдыка располагаются остатки сухого теплого воздуха пустынь и равнин Индии, которые муссон гонит перед собой, двигаясь на северо-восток. Так бабочка помогла обнаружить необычный участок летнего тепла в горах. Ну а хохлатку здесь нашли воронежские энтомологи Д.В. Дубровский и К.Ю. Водянов в 2006—2007 годы. Так и мистерикус лишился своей загадочности.

Всего несколько дней сохранялась острая интрига вокруг яиц бабочки, обнаруженных нашей экспедицией в начале июля 2009 года в отрогах Туркестанского хребта на высоте всего 1500—1800 м. Мы терялись в догадках: все известные тогда подвиды чарльтониуса обитали выше 3 км. И все же таинственные яйца принадлежали именно чарльтониусу. Через трое суток появились и его бабочки, которых Андрей Сочивко и автор описали как новый подвид аполлона Чарльтона и назвали его платон (*platon*).

Я уверен: неисчерпаемая природа подарит энтомологам еще немало открытий. Ведь нашел же известный энтомолог Сергей Чуркин в июле 2005 года в горах Молдо-Тоо (Тянь-Шань) новый вид аполлона — великолепную, размером с крупных чарльтониусов бабочку! Он назвал ее аполлоном Давыдова — *Parnassius davydovi*.



# Джон Дальтон и революция В ХИМИИ

Кандидат биологических наук

**С.В.Багоцкий**

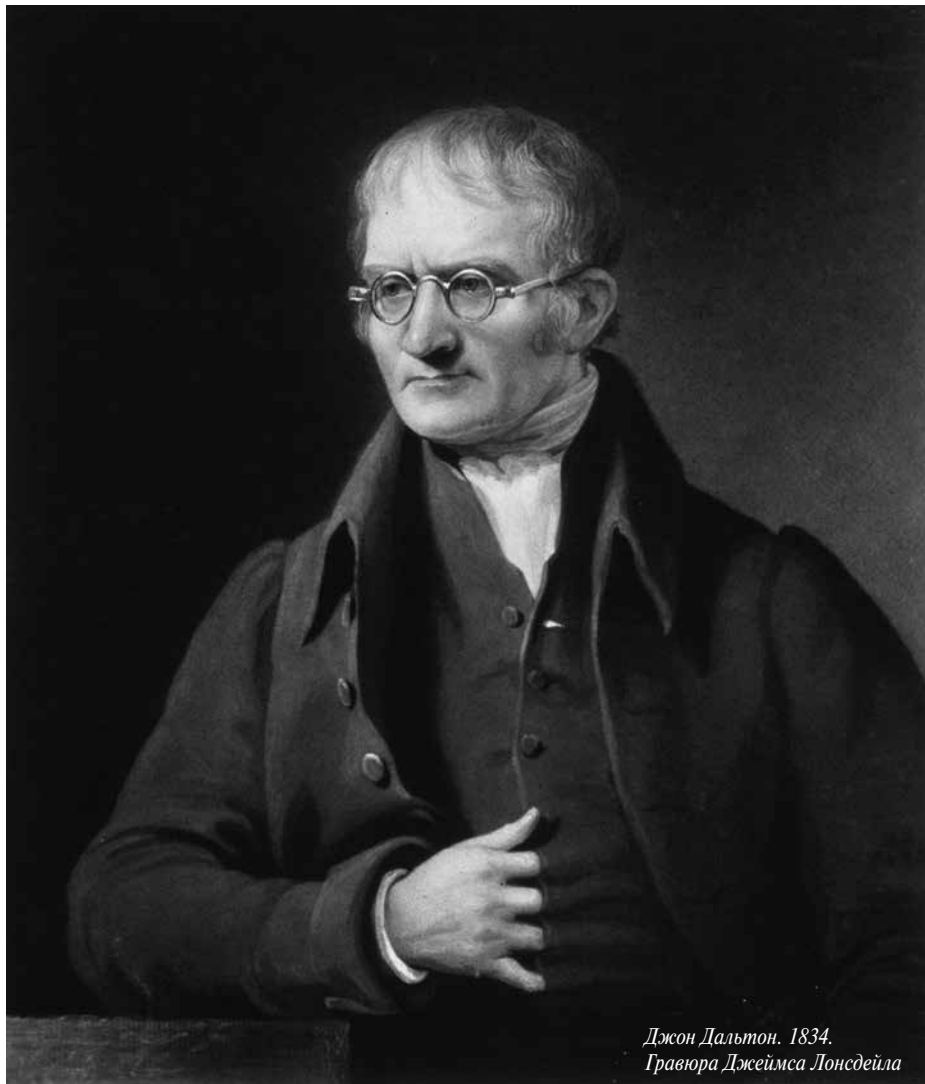
**Ш**естого сентября 2016 года исполняется 250 лет со дня рождения великого английского химика Джона Дальтона (1766—1844). Он занимался не только химией, но и другими научными дисциплинами, в частности математикой, метеорологией, языкознанием, был хорошим ботаником-любителем. Но именно его химические работы позволили совершить революционный скачок, после которого большинство исследователей пришло к выводу о реальности атомов и молекул.

Джон Дальтон родился в семье портного, родители его были квакерами. Систематического высшего образования Дальтон не получил и свои глубокие познания приобретал, общаясь с друзьями: слепым философом Джоном Гouxом (1757—1825), инженером и метеорологом Элиху Робинсоном (1734—1809) и другими.

В 1790 году Джон Дальтон устроился работать преподавателем математики в квакерском колледже в Манчестере. Однако десять лет спустя он покинул колледж, предпочитая зарабатывать на жизнь частными уроками, а в свободное время занимался научными исследованиями. Преподавателем Дальтон был неважным: не умел просто и ясно рассказывать, был малоэмоционален и даже зануден.

Первые научные работы Дальтона были посвящены метеорологии — независимо от физика Джорджа Хедли (1685—1768) он разработал теорию атмосферной циркуляции. Интерес к метеорологии Дальтон сохранял всю жизнь. Он вел «дневник погоды», в котором сделал около 200 тысяч записей о наблюдениях. А в 1801 году Дальтон опубликовал книгу, посвященную совершенно другому предмету: английской грамматике.

В начале 1800-х годов центром научных интересов Джона Дальтона становится химия. Его работы в этой области позволили сформулировать закон кратных отношений и дать экспе-



*Джон Дальтон. 1834.  
Гравюра Джеймса Лонсдейла*

риментальное обоснование стихийным представлениям об атомах.

До появления закона кратных отношений существование атомов было делом веры. Одни химики в атомы верили, как Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765), другие, например Антуан Лоран Лавуазье (1743—1794), — нет. Однако ни та, ни другая сторона не могла предложить серьезных аргументов в пользу своей точки зрения. Но в начале XIX века положение изменилось.

Это время ознаменовалось научной революцией в физике, химии и некоторых других дисциплинах. Главная ее идея — «Все связано со всем». Свет может вызывать химические изменения, идущий по проводнику электрический ток порождает тепло, магнитные явления связаны с электричеством. Безусловным лидером этой революции стал выдающийся немецкий исследователь Иоганн Риттер (1776—1810). В молодости он был активным членом и

фактическим главой кружка гуманистов, к которому принадлежали поэты Фридрих Новалис (1772—1801), Иоганн Фридрих Гельдерлин (1770—1843), писатель Людвиг Тик (1773—1853), философ Фридрих Вильгельм Шеллинг (1775—1854). Кстати, знаменитое сравнение религии с опиумом принадлежит не классикам марксизма-ленинизма, а Новалису: «Ваша так называемая религия действует как опиум: она завлекает и приглушает боли вместо того, чтобы придать силы». С кружком Риттера были связаны и молодой датский физик Ханс Кристиан Эрстед (1777—1851), который в дальнейшем покажет общность электрических и магнитных явлений, и биолог Лоренц Окен (1779—1851), в 1810 году высказавший гениальную мысль о том, что живые организмы построены из большого числа кирпичиков-клеток.

Исследуя связь между светом и химическими процессами, Риттер открыл ультрафиолетовые лучи: он выяснил, что



хлорид серебра сильнее всего чернеет под действием излучения за пределами видимой области солнечного спектра. Он также создал первый аккумулятор, при зарядке которого электричество превращается в химические вещества, а при разрядке химические вещества превращаются в электричество. Думаю, что мы вправе считать Иоганна Риттера одним из основателей физики в современном ее понимании — научной дисциплины, способной с единых позиций рассматривать механическое движение, электрические, магнитные и оптические явления. Новые научные представления кружка Риттера были философски осмыслены в трудах его члена Фридриха Шеллинга.

**В**окружении Риттера много спорили о том, является ли вещество непрерывной субстанцией или же состоит из отдельных частичек — атомов. Сам Риттер к идее атомов относился скептически, хотя и поддерживал идею о дискретности электричества, которую впервые выдвинул Бенджамин Франклин (1706—1790).

Впрочем, дискуссии о дискретности вещества были бессмысленными — вопрос следовало решать экспериментально, чем и занялся Джон Дальтон.

В 1800 году он стал секретарем Манчестерского литературно-философского общества (несмотря на «гуманитарное» название, оно активно занималось естественными науками) и в 1801 году представил серию докладов о своих экспериментах, годом позже опубликованную в виде статей.

Логика рассуждений Дальтона сводится к следующему. В эксперименте обнаружено, что существует несколько разных соединений кислорода с азотом. При этом в одном из них 7 г азота связаны с 8 г кислорода, а в другом — с 16. А 16 в два раза больше, чем 8, поэтому логично предположить, что в первом случае одна частичка кислорода связана с одной частичкой азота, а во втором — с двумя. Таким образом, вещество состоит из отдельных частичек, которые можно назвать атомами.

Отсюда следует и другой вывод: массы частичек азота и кислорода неодинаковы. Масса частички азота

составляет  $7/8$  от массы частички кислорода. Определить абсолютную массу отдельной частички определенного элемента было в те годы невозможно, но зато можно было сказать, во сколько раз масса атома одного элемента больше массы атомов другого.

Свою идею Джон Дальтон сформулировал в 1803 году в виде закона кратных отношений: «Если два элемента образуют друг с другом более одного химического соединения, то массы одного из этих элементов, приходящиеся на одну и ту же массу другого элемента, относятся друг к другу как небольшие целые числа». Однако гениальность Дальтона заключалась в том, что он увидел за этим законом дискретность строения вещества и существование атомов.

В 1808 году Джон Дальтон издает книгу «Новый курс химической философии» с изложением своих идей о строении вещества. Он ввел в химию понятие атомного веса, который измерялся, конечно, не в граммах, а в водородных единицах. Вес атома водорода принимается равным единице, атомный вес других элементов рассматривается как отношение их весов к весу атомов водорода.

Джон Дальтон установил (частично на основе собственных экспериментов, частично по данным, полученным другими исследователями) атомные веса некоторых элементов — водорода, кислорода, азота, углерода, серы, фосфора. В некоторых случаях неправильно: Дальтон, например, считал, что в состав молекулы воды входят один атом водорода и один атом кислорода, так что атомный вес кислорода у него получился равным 8, а не 16.

Основные идеи, внесенные в химию Джоном Дальтоном, можно сформулировать следующим образом:

1. Вещество состоит из очень маленьких частиц (атомов).

2. Атомы неделимы (их нельзя разложить на более мелкие частицы), они не появляются из ничего, не исчезают бесследно и не превращаются в атомы других элементов.

3. Атомы одного элемента одинаковы и отличаются от атомов других элементов.

4. Атомы разных элементов имеют различную массу.

5. Атомы разных элементов могут соединяться в химических реакциях, образуя химические соединения, причем каждое соединение всегда имеет одинаковое (простое, целочисленное) соотношение атомов в своем составе.

6. Относительные массы взаимодействующих элементов непосредственно связаны с массами самих атомов.

Последующее развитие науки внесло некоторые коррективы. Так, не все атомы одного элемента идентичны, существуют изотопы, сходные по химическим свойствам, но имеющие различные атомные веса; атомы, вообще говоря, делимы. Тем не менее эти положения составляют фундамент современной химии.

**Д**ругим научным направлением, сформировавшим представления об атомах и молекулах, стало исследование соотношений объемов газов, при которых они нацело реагируют друг с другом.

В 1802 году Жозеф Луи Гей-Люссак (1778—1850) показал, что при образовании воды один объем кислорода полностью реагирует с двумя объемами водорода. В 1808 году он же сформулировал закон объемных отношений, согласно которому объемы нацело реагирующих друг с другом газов относятся друг к другу как небольшие целые числа. А в 1811 году итальянский физик Амедео Авогадро (1776—1856) объяснил этот факт тем, что при одинаковых температурах и давлениях в равных объемах газа содержится одинаковое число частиц-молекул.

Гипотеза Авогадро позволила уточнить формулы многих химических соединений. Так, было обнаружено, что один объем водорода реагирует с одним объемом хлора, причем образуются два объема хлористого водорода. Отсюда следует, что в одной молекуле хлористого водорода содержится в два раза меньше атомов водорода, чем в одной молекуле водорода, и в два раза меньше атомов хлора, чем в одной молекуле хлора. Иными словами, и в молекуле водорода, и в молекуле хлора четное число атомов. Тем самым было



## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

опровергнуто мнение о том, что молекула водорода состоит из единственного атома. Самое простое предположение: в молекулах хлора и водорода по два одинаковых атома, а в молекуле хлористого водорода — один атом водорода и один атом хлора.

А теперь вернемся к воде. При ее образовании два объема водорода полностью реагируют с одним объемом кислорода, при этом получаются два объема водяного пара. Следовательно, атомов водорода в молекуле водяного пара столько же, сколько в молекуле водорода, то есть два. А число атомов кислорода в два раза меньше, чем в молекуле кислорода. Скорее всего, в одной молекуле воды только один атом кислорода, а в молекуле кислорода их два. Получается, что формула воды  $H_2O$ , а не  $HO$ , как полагал Дальтон, и атомный вес кислорода не 8, а 16. Сейчас даже люди, очень далекие от химии, знают, что вода — «аш-два-о». Тем полезнее вспомнить, как наука установила этот факт.

Закон кратных отношений Дальтона и закон объемных отношений, сформулированный Гей-Люссаком, стали первыми прорывами в экспериментальном обосновании существования атомов и молекул. Однако для того, чтобы ученым мир окончательно признал, что атомы и молекулы существуют, потребовалось еще полвека.

Джон Дальтон предложил систему обозначений химических элементов. Каждый элемент обозначался кружочком, в котором было что-то написано или нарисовано, они соединялись в молекулы. Похоже на современные модели молекул из шариков, но сходство поверхностное: эти «модели» не отражают ни диаметра атомов, ни длин связей и углов между ними, ни порядок соединения — только количества атомов. Эту не слишком удобную систему заменила та, которую предложил шведский химик Йенс Якоб Берцелиус в 1814 году и которой мы пользуемся по сей день.

Всем известный дефект зрения — дальтонизм обязан своим названием Джону Дальтону. Еще в юности он об-

ELEMENTS				
	Hydrogen	1	Strontian	46
	Azote	5	Barytes	68
	Carbon	5	Iron	50
	Oxygen	7	Zinc	56
	Phosphorus	9	Copper	56
	Sulphur	13	Lead	90
	Magnesia	20	Silver	190
	Lime	24	Gold	190
	Soda	28	Platina	190
	Potash	42	Mercury	167

наружил, что он воспринимает цвета окружающего мира не так, как все: «Та часть картины, которую другие называют красной, мне кажется как будто бы тенью или просто плохо освещенной. Оранжевый, зеленый и желтый кажутся оттенками одного цвета, от интенсивного до бледно-желтого». Те же особенности зрения были у его родного брата. Дальтон подробно описал свои наблюдения и пришел к выводу о том, что у него с братом имеется какое-то нарушение зрения, которое носит наследственный характер.

Как подобает настоящему исследователю, Дальтон завещал свои глаза для посмертного изучения. Глаз Дальтона многие годы хранился в лондонском Королевском институте, и в 1990-е годы из него была выделена и исследована ДНК. Теперь мы знаем, что у Дальтона была разновидность цветовой слепоты под названием дейтероанопия — в сетчатке его глаз не было колбочек, чувствительных к оттенкам зеленого. Дейтероанопией страдает каждый сотый мужчина, это более редкий случай в сравнении с дейтероаномалией, которая встречается у 6% мужчин — в их сетчатке «зеленые» колбочки есть, но пигмент, поглощающий в зеленой области спектра, поражен мутацией.

Казалось бы, дефекты цветового зрения препятствуют плодотворным занятиям ботаникой, однако на примере Дальтона мы видим, что это не всегда так. Я лично знаком с очень хорошим ботаником, страдающим дальтонизмом.

Стилем работы Дальтон больше походил на физика, чем на химика. Он пытался давать своим экспериментальным результатам простую физическую

ELEMENTS . Plate 4							
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20				
Binary							
21	22	23	24	25			
Ternary							
26	27	28	29				
Quaternary							
30	31	32	33				
Quinary & Senary							
34			35				
Septenary							
36							37

Система обозначения химических элементов по Дальтону. Молекулы из двух атомов он называл бинарными, трехатомные — терциарными и т. д.

интерпретацию, чужие результаты всегда стремился перепроверить.

Большую часть жизни Дальтон нигде не служил и зарабатывал деньги репетиторством. Среди его учеников был сын предпринимателя-пивовара Джеймс Джоуль (1818—1889), который в дальнейшем стал знаменитым физиком.

С психологической точки зрения Джон Дальтон был ярко выраженным интровертом. Он не любил публичных выступлений, трудно сходился с людьми, никогда не был женат. В последние 26 лет жизни он занимал комнату в доме, где жила семья его друга — пастора и ботаника-любителя преподобного Джонаса. Свой круг общения знаменитый ученый ограничивал немногочисленными близкими друзьями и заседаниями научных обществ.

Джон Дальтон умер в Манчестере 27 июля 1844 года после нескольких инсультов. Последняя запись в его метеорологическом дневнике датирована 26 июля.





Художник Е. Станикова

# Электричка на Пирогово



Татьяна Левченко

НАНОФАНТАСТИКА

На автобус я опоздал. С моста увидел, как он отчаливает от «летающей тарелки» — круглого автовокзала. Теперь только такси. И тут подали электричку с ярким табло «Пирогово». То, что надо! Через ступеньку, чуть не кувыркаясь, бросился вниз. Минуты не хватило. Шипя, двери сошлись, поезд тронулся и начал ускоряться.

— Давай руку! — Патлатый бомж тянул засмаженную до черноты пятерню с подковками грязи под ногтями. Двери он расклинил ногой.

Я раздумывал, пока не поравнялся с дверью. А потом вцепился в эту заскоружную руку, и мужик мигом втянул меня внутрь.

— Витек, — представился он.

— Спасибо, друг. — Я кивнул и, не желая продолжать знакомство, миновал тамбур.

Навстречу поднялась улыбчивая женщина-кондуктор. Я купил билет, огляделся. Странный вагон. Пахнет корицей. Стука колес почти не слышно, сверху льется теплый неяркий свет. За высокими креслами видны одни макушки. В спинке передо мной — монитор с наушниками. Но я уставился в окно. В этих местах не был с юности и теперь с интересом рассматривал картины за окном, хотя начинало темнеть. Мы ехали вдоль аккуратных маленьких домов, по-европейски ухоженных, с низкими заборами. Потом пересекли шоссе. Я заметил, что вместо рекламы на столбах висят вазы с цветами.

В Пирогово я понял, что не помню дороги к Тихой Бухте. Мою растерянность заметил полицейский. Я напрягся, вспоминая, в каком кармане паспорт. Сержант подошел, козырнул — и спросил, чем помочь. Мне нужна была база «Бухта Счастья». Сержант нажал кнопку рации, подкатило такси. За рулем никого не было. И руля тоже.

— Бухта Счастья, — скомандовал сержант в рацию, и я плюхнулся на мягкое сиденье, кинул рюкзак со снастями. Даже не сразу понял, что такси взмыло в воздух. Через минуту показалась Тихая Бухта.

Дальше — рыбалка, рыбалка и рыбалка. Я приходил вечером в номер, включал фоном радио, шел в душ, ужинать и спать. Я давно понял, что все не так. Это был другой мир. И самое страшное — я не хотел узнавать, как он устроен. Мне вполне хватало, что в нем не берут чаевых, еда дешевая и вкусная, а горничные не хамят. Из чего это вытекало, думать не хотел. Честно говоря, боялся,

что, проглотив эту наживку, не смогу вернуться в реальность.

Приближался день отъезда. В холле у стеклянной двери во двор висело расписание поездов. Я мог сесть на электричку, уехать и забыть, в какой из вселенных провел эту неделю. Но дотошность взяла верх.

Я сдал ключи, сделал вид, что изучаю расписание. Метнулся к стеклянной двери, рванул ручку...

— Лучше этого не делать, — привстала девушка на ресепшене.

Я шагнул за порог.

Вопреки опасениям, никто за мной не гнался — ни охрана, которой, к слову, не видел, ни сама дежурная. Обойдя дом с тыла, по асфальтированной дороге пошел к станции.

Нельзя сказать, что я был разочарован. Скорее — убедился в худших предположениях. Не было ни стоянки такси-автоматов, ни знакомого по старым годам деревянного вокзала. На месте платформы — крошка из мусора и бетонных блоков. Пути стали утоптанной тропой, по ней я и пошел в сторону Мытищ, держа курс на сотовую вышку, мигавшую красным глазом.

Вместо железной дороги — просека в лесу. В некоторых местах на прогалине бок о бок лежали ржавые рельсы. Глубокую яму заботливо перекрыли замшелыми шпалами, как мостиком. Над головой виселицами торчали опоры контактной сети. Я прошел километра четыре и увидел останки кассы на станции «Победа». Может, из-за густо-бордового цвета, в который выкрашен павильон, накатывало удивительно тоскливое чувство. Я заспешил, выбрался в скучный поселок и уперся в то самое шоссе, что запомнил по цветочным вазам. Конечно, никаких цветов не было. Как не было игрушечных уютных домиков, что мелькали в окне электрички.

Дальше пришлось продирааться через бурелом, а когда вышел на открытое место, поневоле отступил назад. Впереди на обломке шпалы, спиной ко мне, кто-то сидел.

Человек почуял взгляд и обернулся. Уфф. Витек.

— Не ври, что заблудился, — упредил бродяга, разминая о шпалу воблу. — Поезда не ходят с девяноста седьмого, типа нерентабельная ветка. А красиво сделано, да? Ешкин, да я, как туда попадаю, аж асфальт потоптать боюсь.

— А кем это сделано и для чего?

Витек посмотрел как на полоумного.

— Ну ты спросил! Может, боги шутят, а может — параллельный мир. А я, как бывший программист, считаю — система! Везде могло быть так, как показали. Но не задалось...

— Зачем тогда показали? Разве я могу что-то изменить?

— А вдруг сможешь? Не, честно говоря, от тебя и не требуется. — Витек хитро глянул, закончил гнуть воблу, ловко разодрал ее и протянул самый вкусный кусочек со спинки. Я отказался, он пожал плечами. — Большинство не хочет ничего менять. Просто система показывает, как могло быть. Вот так. Или по-другому. Я ведь часто там бываю, и всегда все разное.

— А ты сам — зачем едешь?

— Ну дык... бесплатно водяру дают. Я вроде лакмусовой бумажки. Вот ты не побрезговал взять за руку бомжа — и прокатился на электричке.

Я оглянулся на пройденную дорогу и пообещал — себе и Витьку:

— Когда-нибудь я вернусь. По приметам. Я забыл в номере пакет с книжкой и сигаретами.

Витек усмехнулся, промолчал. Я достал кошелек, выгреб что было, оставив только на билет. Положил на шпалу перед Витьком и молча зашагал к Мытищам, на вокзал. Потом что-то торкнуло, и я вернулся. Витек все так же очумело сидел с раскрытым ртом. Я протянул руку. Витек, наверное, решил, что я вернулся за деньгами, и в глазах его засветилось нехорошее.

— Дай пять!

— А, это... — Он выкинул загорелую руку и щербато улыбнулся.

Через три дня в дверь позвонили. Незнакомый мужчина назвался почтальоном и протянул синюю посылку. В ней были мои забытые вещи. От них почему-то пахло корицей. Ничего не пропало.



# Хмель

**Что за растение хмель?** Хмель обыкновенный *Humulus lupulus* принадлежит к семейству коноплевых Cannabaceae. Это многолетняя травянистая лиана с пышной листвой, обвивающая деревья и кустарники. Зимой надземные побеги отмирают, а весной заново отрастают от корневищ. Стебли у хмеля граненые и шипастые, о них можно довольно сильно поцарапаться.

Хмель любит влажные места. Дикие растения встречаются по берегам водоемов и в сырых оврагах во многих районах Евразии. Сейчас хмель распространен шире, чем тысячу лет назад, поскольку культурные растения одичали.

Хмель, как и конопля, прядильное растение. Из его волокон раньше делали веревки и грубую мешковину. На Кавказе молодые побеги хмеля, которые только-только показались из земли, едят свежими или добавляют в суп. Но самая ценная часть растения — его «шишка», сырье, необходимое пивоварам.

Что первый начал добавлять хмель в пиво, сейчас сказать трудно. Точно не древние греки и не египтяне, которые использовали для этого другие растения. В то время хмеля в Африке и Южной Европе, скорее всего, не было. Первенство оспаривают разные народы, в том числе славяне и финны. Известно, например, что король Пипин III Короткий завещал свои хмельники аббатству Сен-Дени, и было это в 768 году.

**О плодах и шишках.** Хмель — двудомное растение. Это значит, что мужские и женские цветки образуются на разных особях. Мужские цветки собраны в метелки, женские — в головчатые колосы по 40—60 штук. Во время цветения женское соцветие выглядит как маленький шарообразный желтовато-зеленый колосок. Цветки сидят в паузах перепончатых чешуек. По окончании цветения чешуйки разрастаются, образуя соплодие — хмелевую шишку. Когда плоды созревают, а происходит это в июле — сентябре, шишка желтеет. Однако собирают их раньше, в самом начале созревания. Плоды-орешки только мешают, поскольку содержат жирные кислоты, которые могут испортить вкус пива и других приготавливаемых с хмелем напитков. На плантациях разводят исключительно женские растения хмеля и размножают их вегетативно. В результате на растениях образуются пустые шишки, пивоваров интересуют именно они.

**Желтый порошок.** На внутренней поверхности составляющих шишку чешуек расположены желёзки, которые выделяют смолистые вещества, горечи, эфирное масло, дубильные вещества. Эта смесь, подсыхая, образует желтый липковатый порошок лупулин. Эфирное масло хмеля содержит около 250 компонентов, из них 22 существенно влияют на вкус. В их число входят терпеновые углеводороды мирцен и гумулен. Мирцен обладает едким запахом, гумулен и продукты его окисления придают пиву характерный аромат хмеля.

Хмелевые шишки и лупулин в чистом виде используют как лекарство. Это успокаивающее, мочегонное, желчегонное и противовоспалительное средство. Горечи хмеля возбуждают аппетит и улучшают пищеварение.

Седативной активностью хмель также обязан горьким соединениям, особенно продукту их расщепления 2-метил-3-бутен-2-олу, который повышает активность гамма-аминомасляной кислоты, важнейшего тормозного нейромедиатора центральной нервной системы. При правильно подобранной дозе препарат улучшает ночной сон, не вызывая сонливости днем.

Как и всякое лекарство, хмель небезопасен. Передозировка лупулина (1—2 грамма) вызывает тошноту и рвоту, боли в желудке, усталость и головную боль.

**Горечь хорошая и плохая.** Важнейшие компоненты лупулина — феноло-изопреноиды: оптически активные альфа-кислоты и оптически неактивные бета-кислоты. Альфа-кислоты, главная из которых гумулон, придают пиву характерный горький привкус; чтобы горечь проявилась в полной мере, их нужно нагреть в растворе. При этом образуются транс- и цис-изомеры альфа-кислот, лучше растворимые в воде и более горькие, чем исходные соединения. Когда варят пиво, высушенный хмель добавляют в сусло (воду с дроблеными пророщенными семенами) и кипятят. Вкус пива зависит от сорта хмеля, условий его произрастания — они определяют содержание альфа-кислот, — и продолжительности кипячения. Чем она больше, тем полнее изомеризация и горше пиво. Термически не обработанный хмель обладает умеренной горечью. Европейские сорта хмеля содержат 5—9% альфа-кислот, американские — от 8 до 19%. Есть еще ароматный хмель, в котором альфа-кислот менее 5%, он придает напитку запах и вкус. Его добавляют в сусло минут за 15 до окончания варки, чтобы не испарились пахучие эфирные масла.



Степень горечи определяют по степени изомеризации альфа-кислот и выражают в международных единицах горечи. Одна единица соответствует одному миллиграмму изомеров на литр сусла или пива.

Бета-кислоты, главным образом лупулон, при нагревании не изомеризуются, но легко окисляются, образуя горькие соединения. Эта горечь неприятная, она только портит вкус напитка, поэтому пивовары предпочитают сорта с низким содержанием бета-кислот.

Лупулон окисляется и при длительном хранении пива, при этом деградируют и изо-альфа-кислоты, уменьшая приятную горечь.

**Как выбрать хмель.** Хмель чаще всего продается в виде сушеных шишек или гранул, которые изготовлены из раздробленных и спрессованных шишек. Благодаря смолистым веществам они не распадаются. Гранулы занимают меньше места и дольше хранятся. Однако, по мнению некоторых пивоваров, их качество хуже, чем у целых шишек.

И гранулы, и шишки должны быть зеленого цвета, а не коричневого. Лупулину на шишках полагают быть желтым и немного липким. Оранжевый цвет лупулина — признак окисления.

**Хмельные напитки.** Хмель не содержит веществ, которые вызывают опьянение, зато способствует брожению. Изомеризованные альфа-кислоты подавляют рост грам-положительных микроорганизмов, в том числе молочнокислых бактерий, мешающих размножаться дрожжам. С хмелем дрожжи растут хорошо, а сусло не прокисает. Поэтому хмель добавляли в большинство напитков, получаемых брожением, в том числе в спиртосодержащие меды и сбитни, а потом всякий алкогольный напиток стали называть хмельным.

**Чем заменить хмель?** Пиво из разного сырья варили с древних времен, в том числе и в странах, где хмель не рос. Получалось оно не всегда качественным, и добавки, улучшающие вкус и увеличивающие срок хранения, были насущной необходимостью. В отсутствие хмеля использовали другие травы, например гравилат. Сваренное с ним пиво хорошо пахнет и долго не прокисает. Пивовары Западной Европы использовали «грюйт» — смесь горьких трав, в которую входили одуванчик, корень лопуха, календула, плющ, вереск, полынь, тысячелистник, багульник. Некоторые из этих компонентов в отличие от хмеля обладают легким наркотическим и тонизирующим действием.

**Хмель на Руси.** Славянам хмель был отлично известен еще в X веке. В «Повести временных лет» читаем: «В год 6493 (985). Пошел Владимир на болгар в ладьях с дядею своим Добрынею, а торков привел берегом на конях; и победил болгар. Сказал Добрыня Владимиру: “Осмотрел пленных колодников: все они в сапогах. Этим дани нам не давать — пойдем, поищем себе лапотников”. И заключил Владимир мир с болгарями, и клятву дали друг другу, и сказали болгары: “Тогда не будет между нами мира, когда камень станет плавать, а хмель — тонуть”. И вернулся Владимир в Киев». В XIII веке производство хмеля было уже поставлено на широкую ногу, это был экспортный товар.

Автор знаменитого «Домостроя» (XVI век) включил хмель в перечень важнейших хозяйственных запасов. С хмелем делали хлебный уксус, хмельной мед, квас и сбитень. Хмель также использовали как компонент пряной смеси, сочетая с гвоздикой, корицей, кардамоном, мятой, душицей, мускатным орехом, душистым перцем, имбирем. Чтобы сушеные шишки было легче удалить из готового напитка, их завязывали в тряпочку с камушком, и хмель тогда не плавал, а тонул.

Хмелем пересыпали при засолке рыбу. Он придавал ей особый вкус, плотную консистенцию и предохранял от порчи. И наконец, хмель, перемешанный с суслом, использовали как закуску.

**Хмельные закваски.** Интернет полон рецептов получения дрожжей из хмеля. Они предлагают прокипятить хмель с водой и медом, остудить и добавить в эту смесь пшеничную муку, иногда картофель. Через день-другой жидкость начнет пениться, это и есть хмельные дрожжи. Скажем сразу: превратить хмель в дрожжи не в человеческих силах. На хмеле дрожжей нет, особенно после того, как его прокипятили. Дрожжи попадают в эту смесь из воздуха или из муки, но лишь в том случае, когда она грубого помола, и растут, как могут, на расщепленном крахмале. Часто ничего не получается, и жидкость не бродит.

В эпоху «Домостроя» о существовании дрожжей даже не догадывались. Однако за несколько тысяч лет до того, как дрожжи стали продавать в пачках и пакетах, люди использовали закваски: кусочек теста или жидкость, которые забродили от случайно попавших туда дрожжей. В наше время такой проблемы нет, промышленные штаммы дрожжей гораздо эффективнее диких. Но если кому-то придет в голову использовать рецепт хмельной закваски, надо отдавать себе отчет, что хмельной отвар не порождает дрожжи, а лишь создает для них благоприятную среду.



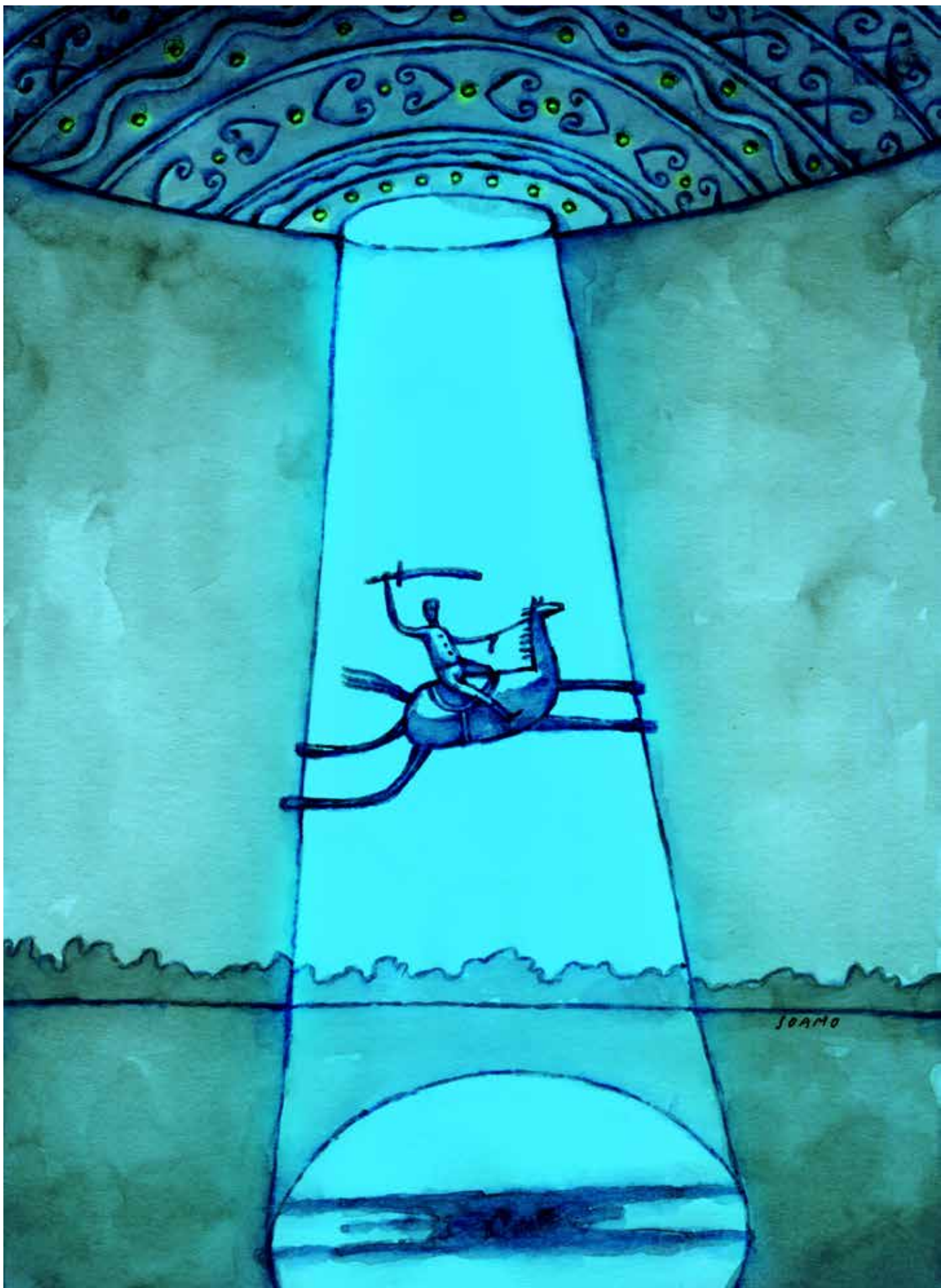
ЧТО МЫ ПЬЕМ

Художник Н. Колпакова



Н. Ручкина





# Хунтурук

Владимир Аникин

Несмотря на первую русскую революцию, начало двадцатого века выдалось в стране богатым на географические экспедиции. Особенно по освоению азиатской части и севера Российской империи.

Владимир Клавдиевич Арсеньев в 1906 году прошел хребет Сихотэ-Алинь и береговую полосу Амура. В 1907 году он продолжил исследования к северу от залива Джигит (Рында) и к западу от рек Иман и Бикин. В 1908 году завершалась китайская экспедиция во главе с Карлом Маннергеймом, организованная Генштабом России и начатая еще в 1906 году. В том же 1908-м задумывалась также новая экспедиция Арсеньева. Да с большим размахом: если на предыдущую давали три тысячи рублей, то на эту, в связи с 50-летием официального присоединения Приамурского края к России, — все пять. Так как деньги давал Штаб военного округа, то и цели были военно-стратегические и колонизационные. Границами района экспедиции Арсеньеву определяли нижний Амур — пролив Невельского (Татарский) — реки Хор и Самарга. Магнат Рябушинский на исследование Камчатки пообещал двести тысяч!

Выехал и этнограф Алексей Алексеевич Макаренко по Катанге, верховью Подкаменной Тунгуски. Императорское Русское географическое общество дало средства еще в 1907 году — на изучение расселения, образа жизни, шаманства и обычаев эвенков. Этнографический отдел Русского музея императора Александра III в Санкт-Петербурге заказал коллекции.

В седьмом году проехал Макаренко гужевым транспортом в селение Панолик, оттуда на лодке проплыл до устья Подкаменной Тунгуски, а по Енисею вернулся в Красноярск. В восьмом же году хотел подняться с тунгусами по реке Чуне. С собой брал лоцмана Павла Трефильевича Воронова, фотографа Константина Александровича Масленникова и старшего урядника Николая Харитоновича Ефремова. Вышли в марте, на месяц раньше, чем в прошлый год. Но сразу все не заладилось — эвенков не было. Объясняли, что из-за эпидемии оспы те откочевали, чтобы не заразиться от русских.

Наконец дошли до тунгусских стойбищ, но увидеть камлание не удалось. Шаман Полигус был пьян, более того — в запое. Двинулись дальше по реке. Собирали материалы для коллекций. Только в середине мая шаман Хинкорча два дня камлал для Алексея Алексеевича. А еще через день шаман с братом выковали для музея образец старинной тунгусской брони «хольдэ». Затем эвенки начали сворачивать стойбище — мол, комары закусали оленей, надо отходить к северу.

— Что ж такое? — сердился Макаренко. — Как будто бегут они от нас...

Ефремов ближе других сошелся с инородцами. Помогал им ковать броню, по хозяйству подсобил. Вообще от работы не отказывался. Когда уходили тунгусы с оленями, шаман ему шепнул:

— Уходите, домой, домой. — Он по-русски плохо говорил.



ФАНТАСТИКА

- Что ж так?
- Хунтурук придет.
- Кто он?
- Они.
- И много их?
- Мало-мало. Но придет.

Экспедиция дошла до Байкита. Там стало ясно, что лодка, груженная местными экспонатами и редкостями, четверых не возьмет. Макаренко решил переговорить со старшим урядником.

— Николай Харитонович.

Молодой человек зарделся:

— Что вы меня по отчеству — просто Николай.

Этнограф объяснил ситуацию и добавил:

— Все лето еще впереди. Не могли бы вы пройти по Катанге вверх, на лодке или лошадь. Я дам вам денег, а вы поищите еще чего для коллекций. А к осени возвращайтесь.

Молодому казаку такое понравилось. К местным он относился по-доброму, лошадь у него была справная, да и воля выходила — езжай куда хочешь, сам по себе. Николаю и согласился.

Вечером отправились на камлание к шаману Кормилу Парченову, пришедшему с Панолика. Шаман русский язык знал неплохо, показал родовую куклу «мойдычан», переходившую от деда к отцу и внуку. После камлания получил деньги, попрощался со всеми, а Николаю тихо сказал:

— Не ходи по Катанге. Хунтурук, однако, будет.

— Много их? — как о чем-то хорошо известном спросил юноша.

— Много, — с тревогой ответил старик и многозначительно посмотрел слезящимися глазами. — Симтудя там.

«Много, мало», — раздумывал озадаченный Ефремов. Хотел посоветоваться с Макаренко, а потом решил, что этнограф примется разыскивать этих хунтуруков и не будет ему вольницы. Спросил только:

— Алексей Алексеевич, что за симтудя такая?

Этнограф переспросил пару раз, задумался.

— Слово эвенкийского языка, но диалектное. Означает что-то вроде «большой медный котел».

Казак решил, что котел не страшно. А еще решил, что хунтуруки, видно, племя, враждебное тунгусам. В одни места заходят редко, поэтому первый шаман и сказал, что их мало. А Парченов много повидал и знает, что хунтуруков куда больше — много, в общем. Это успокоило, и выехал старший урядник диковины инородческие искать.

В первый же день пути встретил тунгусов Полигуса. Обрадовался, что знакомые, заговорил. Оказалось, что шаман Полигус из запоя так и не вышел, умер. Другого шамана в племени не было. Старшим шел Дюлекан. Он сказал:

— Я на север не пойду. Южнее уйду. Хунтурук боюсь.

— Ладно все будет, — храбро выпалил казак.

Дюлекан посмотрел на него. Смотрел долго, о чем-то томительно размышлял. Потом порылся в складках одежды, достал мешочек, протянул Николаю:

— Возьми. Это хунтурука, от шамана осталось. Может, тебе надо будет.

Николай в мешочек заглядывать не стал, просто в седельную суму положил.

К середине июня Ефремов далеко уже вверх по Катанге поднялся, только местные как пропали. Стал он от реки уходить, к тайге жаться — нельзя же было с пустыми руками вернуться. А однажды утром воду на костре кипятил, а тут как жажнет где-то в небе! И будто ураган пронесся. Лошадь сорвалась и не побежала даже, а давай метаться. Чудо чудное, диво дивное! Что такое? А потом успокоилось все, и через пару дней стало казаться, что пригрезилось. Только вдали дым был виден — наверное, тайга горела.

И вот как-то к полудню едет Ефремов и мерещится, будто кто-то заиграл на тунгусском кэне, который другие народы кто хомусом, кто варганом зовут. Прислушался — а звук рядом где-то. Потом смекнул, что вроде как из седельной сумки играет, а точнее, из мешочка шаманского. Подумал Николай и поостерегся открывать. Поехал дальше — звук стал тише.

Тут старлица речная на пути, и Ефремов понял, что объезжать ее надо с другой стороны. Начал возвращаться — снова хомус загудел. Страшновато стало, но любопытно. И давай Николай так лошадь направлять, чтобы звук громче становился. И верно ведь — все громче и громче играет! Уже хорошо слышно из сумы. И вдруг — вроде как плачет кто. Смотрит — точно: мальчонка тунгусский лежит и скулит. Николай с ним заговорил, а тот понять ничего не может. Инородец, что с него возьмешь. Стал его поднимать, а тот стонит, но показывает на суму. Ефремов задумался, потом сообразил.

— Твое? — Вынул и отдал мешочек шаманский. — Бери.

Малец мешочек развязал, пошарил в нем. Достал что-то вроде незамысловатых игрушек: камешки какие-то, палочки, дощечки. Два камешка паренек за щеку сунул — верно, припрятал. С дощечкой играть стал — сразу звук раздался, как будто горловое пение. До Николая только тогда дошло, что хомус-то давно затих. Тунгусенок вдруг залопотал что-то и стал рукой махать в сторону.

— Туда хочешь? — Николай тоже рукой показал, парнишка кивнул. — Я доведу.

К вечеру чум увидели. Странный чум, чем-то серым обтянутый. Не шкуры олени, не кора, не мешковина. Урядник удивился даже: почему чум один, где племя остьальное? Когда ближе подъехал, выбежали два тунгуса, тоже мелкие какие-то. Сначала подумалось, что братья. Или сестры — кто их, нерусей, разберет. Но принялись хлопотать как взрослые. Стало быть, отец с матерью. Потасили мальчика в чум, а Николая не пустили. В чуме что-то мерцало и негромко урчало. Путешественник наш неподалеку расположился и все размышлял: что за тунгусы, на тунгусов не похожие? И тут он понял: это же хунтуруки! Вот, значит, они какие.

Неделю прожил рядом с чумом. Парнишка поправлялся быстро. Разговаривать пробовали. Старший урядник считал, что не его великодержавное дело инородческие языки учить. Пусть хунтурук учит. И тот дня через три залопотал. Попытался назвать себя, но Ефремов твердо ему внушил:

— Ты — хунтурук.

И тот согласился. Хунтурук, так хунтурук. Сказал, что на небо уйдет.

— К верхним людям? Рано тебе помирать еще, пацан ты совсем.

Тот вроде опять согласился. Но сказал, что жить на небе будет. Там у вроде малого стойбища. А где-то еще дальше на небе — большое стойбище.

— Креститься тебе надо, — заключил православный казак. — Тогда и не будешь чужь городить.

В сторону тундры местный Николая не пускал, отговаривал — там, мол, опасно. Видно, за родню переживал. Это не было в диковину, эвенки тоже не любили, когда у них что выглядывали. А потом Николай разглядел котел большой за сопкой — симтудя ихняя! Небось какое место шаманское, куда чужому ходу нет. Казаки говорили, что за осквернение святынь в тундре и убить могут. Или порчу навести.

— Бережешь ее, симтудю свою? Всегда она здесь?

Хунтурук отвечал, что они здесь недавно. Котел их испортился «Верно, прохудился», — смекнул Николай. Надо топливо.

— Бери, лесу вон сколько хочешь.

Однако по словам хунтурука выходило, что лес для котла не годится — они ходят за другим топливом куда-то.

Через неделю стал Ефремов собираться. Взять для лекций было нечего, хотя он и просил что-нибудь. Когда прощались, хунтурук дал изделие из непонятного материала. Наверное, мамонтова кость. И сказал:

— Будет плохо, позови.

К осени вернулся Николай Харитонович из своего путешествия. Отдал добытое Макаренко, и тот был рад. А мамонтовую вещицу Коля себе оставил. Как-никак личный подарок. Да и вообще про хунтуруков ничего рассказывать не стал — мало их, беззащитные они. А какие у них с тунгусами нелады, так это их дело.

В четырнадцатом году грянула большая война. Сотник Ефремов в составе двадцатого корпуса наступал в полосе Первой армии. Сначала все складывалось очень хорошо. Потом стали отступать. Зимой попытались было снова идти вперед. А затем в конце января попали под немецкое наступление. Уже были в составе Десятой армии генерала Сиверса. Корпус погибал в окружении. Казачий полк состоял при штабе корпуса и собрался на северном берегу реки Волкушек. Враг бил из пулеметов и винтовок, но казаки рассыпались лавой и бросились на прорыв на запад, вдоль речки. Прорыв вначале казался удачным, однако на пути встало растаявшее болото. Кто-то прорвался, а Николай Харитонович свою полусотню повернул назад. Ушли в лес. Из окружения так и не выбрались. Через день соединились с арьергардом под командой начальника штаба 27-й дивизии. Бойцов было тысячи две, да пулеметов и батарей по восемь.

Стемнело. Обойдя своих казаков, Ефремов присел думать невеселую думу. Корпус практически погиб, он со своими людьми в окружении. Даже если кто-то прорвался, есть ли силы у русских частей, чтобы вызволить их? Холодало. Луна к полуночи странно пожелтела и светила зловеще. Хотелось есть. Сотник стал шарить в заплечном мешке в поисках заваливающего сухаря, но за последнюю неделю боев без обозов подъелось все подчистую. Вдруг нашарил что-то. Найденный предмет на ощупь походил на кусок высохшего хлеба, но запутался в нитках и выпутываться не хотел. Наконец удалось извлечь вещь за божий свет, и оказалась она старым тунгусским талисманом. Николай и не понял сразу, что это. А потом припомнил мальчонка-хунтурук.

— Где ж ты? — вздохнул Ефремов. — Вот стало плохо. Даже если позову тебя, чем поможешь?

Продрог казак, придремал. И грезится, будто из чащи тот паренек-инородец крадется. Совсем такой же, как и был. И манит за собой. Поднимается Николай и за ним идет молча. Проходят с километр, а там, на прогалине, котел их стоит. И скорее даже не котел, а сковорода перевернутая. Только без ручки. И пар от нее идет. Зовет инородец его внутрь.

— Вывезу тебя в безопасное место.

А сотник говорит:

— Да как же я без людей своих?

И вдруг сон слетел, а он и вправду на поляне рядом с котлом и тундраком стоит.

— Свят-свят! А ты здесь откуда?

— С неба. Полетели!

— Нет, без казаков своих я никуда. Нешто я их брошу? Не по-казацки это.

— Всех не вывезем.

— Да как ты, тундра, меня вывезешь на сковороде?

— Это самолет, — пояснил хунтурук.

— Час от часу не легче. Откуда ж у тебя самолет? Да и выглядят аэропланы не так.

— Времени нет объяснять. Подожди.

Ночной гость полез в свой котел-сковороду, а Ефремов задумался: «Может, я помер во сне? Хунтурук сказал, что он с неба, а у тунгусов к «верхним людям уйти» означает помереть. Может, он меня на тот свет зовет? Да как же так, он ведь нехристь...»

— Ты крестился, что ли? — крикнул Николай и сам испугался своего голоса в тихом ночном лесу.

Хунтурук вернулся и сказал:

— Ты мне помог — я тебе помогу. Искать меня будут, плохо говорить мне будут, но помогу. С рассветом на прорыв пойдете, на большой город.

— На Гомель?

— Да. На город. Пойдете вдоль железных путей.

— Неудобно там. Мы открытые будем. Перебьют. Лесом сподручнее.

— Мы в лесу не поможем. Открытое место надо. Топлива мало, но там выведем.

— Я здесь не начальник. Здесь повыше меня чины имеются. Как я скомандую вдоль железной дороги выходить?

— Думай. — Хунтурук напрягся, у сотника в мозгу словно засвербело. И вдруг инородец совсем четко по-русски сказал: — Прояви смекалку казацкую.

За час до рассвета Ефремов пришел к начальнику штаба.

— Казак наш приходил через линию фронта. Сказал, прорываться на Гомель надо вдоль железной дороги. Нас там ждать будут. И помогут встречной атакой — огнем наш выход прикроют.

Начштаба засомневался:

— А где казак?

— Обратно ушел, ему до рассвета надо обернуться, подтвердить, что на прорыв пойдём.

— Ты, сотник, не имел права сам такое согласовывать!

— Да я и не согласовывал, ваше высокоблагородие. Мне было сказано приказ передать.

Полковник собрал старших офицеров и с ними побеседовал. Потом подозвал Николая:

— Нет у нас другого пути, как поверить тебе, сотник. Похоже, на смерть идем. У немцев вокруг большие силы сейчас. Да семь бед — один ответ!

Зазвучали команды. Роты стали выстраиваться к маршброску. Батареи и пулеметы вышли на ударные позиции. Забрел рассвет, мела поземка.

— А то, Бог даст, и получится, — прошептал начштаба. — Фронт менялся, окопов у немца нет. Траншей и заграж-



## ФАНТАСТИКА

дений прорывать не придется. Авось повезет. Может, и пройдем по такой погоде.

Двинулись, но скоро вошли в соприкосновение с противником. Ударили орудия. Пулеметами сманеврировали, перебросили их на правый фланг. Сами залегли за насыпью железной дороги, откуда стрелять было удобнее. Вдруг рельсы завибрировали, послышался нарастающий грохот. Из зыбкого марева появилась размазанная в снежном потоке туша бронепоезда. Немецкий! Солдаты отхлынули от железнодорожного полотна, побежали к лесу. Было слышно, как на бронепоезде отдает команды старший артиллерийский офицер.

И тут над лесом показалась тунгусская «сковородка!» Низко с мерным гулом пошла она вдоль железки. Ход ее выровнялся с ходом бронепоезда. Немцы ошалело смотрели на непонятное явление. Напротив летящего аппарата двигалась платформа с броневым «домиком», из которого торчало 75-миллиметровое орудие. «Сковорода» выстрелила — «домик» снесло начисто, раздался крики ужаса. А «крылатая» батарея принялась громить бронев вагоны с артиллерийскими башнями. Один бронев вагон пробили с одного выстрела, а по второму промазали. Тогда притормозили, зависли над землей и дали сдвоенный залп. Выстрелы были непривычные — трескучие, сухие. Били как шарами огненными. Хотя стволов никаких видно не было. Через пять минут диковинного боя от бронепоезда осталась искореженная груда металла. Железка тунгусская снова зависла и стала покачиваться. Ефремов понял, что их зовут за собой.

— Ура! — завопил он что было мочи и повел свою полусотню туда, откуда пришел бронепоезд и куда теперь призывали его неожиданные союзники. Пехота потянулась за казаками. Опять прижались к железнодорожной колее и стали двигаться вдоль нее. Хунтуруки на своем летательном устройстве перевалили через насыпь и прикрывали со стороны неприятеля. Они теперь стреляли тонкими лучами, на манер пулеметных очередей, только луч ровный шел и без стрекота. Николаю показалось, что били не прицельно, больше для острастки. Летел аппарат не быстро, так, чтобы и пехота поспежала. Офицеры сориентировались и отдавали команды, перемещая батареи и создавая временные прикрития для отходящих частей. Пару раз останавливались, подтягивая отставший обоз. К полудню совсем завьюжило. Воздухоплаватели рванули куда-то, но Николай помнил, что войскам надо держаться железной дороги. Части двигались дальше. Через некоторое время вдали раздался знакомый сухой треск, и сотник понял, что их спасители подавляют немецкие батареи. Слышен был

ответный огонь. Заволновался: справятся ли неруси? Но вскоре они вернулись и продолжили их сопровождение. В одном месте летучий аппарат притормозил и стал качаться. Казак уже понимал, что это знак. Свернули на большак, правда сильно заметенный снегом. К вечеру вышли к Гомелю. Куда делась «сковорода», никто и не заметил. Радости не было границ. Из окружения вышли! Корпус почти весь погиб, а им повезло.

Про странный летающий и стреляющий объект старались не разговаривать. Только несколько человек сходили к священнику исповедаться.

— Так то ангел был, — умиленно сказал батюшка.

Кто-кто, а Николай поверить этому не мог. Он знал, что это были хунтуруки. Долго грыз себя в душе и думал: не с бесами ли связался?

Через год оторвало Ефремову немецким снарядом ногу. Пока мыкался по госпиталям да инвалидным командам, случилась революция. Большевиков казак не принял и ушел за границу, а семья за Уралом осталась. Так больше и не свиделся ни с кем. Сначала в Париже осел, там-сям как-то подрабатывал. Потом понял, что инвалиду здесь только милостыню просить. Решил перебраться в другую местность, поближе к земле. На прощание зашел в кафе посидеть. Умопомрачительно пахли мягкие, свежие круассаны с пылу с жару. Но он взял только стакан чаю, на большее денег не было. Задумался, и вдруг входит китаец. Идет через все кафе и садится напротив:

— Пришел «до свиданья» сказать.

Николай всмотрелся, а это хунтурук окаянный!

— Ты здесь откуда?

— Домой лечу. До свиданья. Не мог улететь и не сказать. Как жив-здоров?

Ефремов грустно усмехнулся, кивнул на культу:

— Как видишь, но живой, слава Богу. Наверно, спас ты меня тогда.

— Ты меня спас. Я тебя спас. — И встал.

Казак придержал его:

— Постой. Одно мне ответь: кто ты такой?

Тот рассмеялся:

— Хунтурук я, ты же сам сказал. Работал здесь, на небе. Теперь домой лечу. На другую землю.

— Ты бес? — осторожно поинтересовался Николай.

— Нет. Хунтурук, ученый, летчик.

— Побожись.

— Это как?

Николай показал. Инородец размашисто и с каким-то удовольствием перекрестился. Тут православному полегчало, и он от души сказал:

— Счастливого тебе пути. Прилетай еще.

— Нет. Все. Моя работа здесь закончена. Другие придут.

— Много?

— Мало-мало, не бойтесь. — И ушел.

Перебрался Николай Харитонович в Южную Францию. Там на ферме пристроился за лошадьми смотреть. Коней он любил — казак с ними с малолетства. Хозяин был доволен работником. Хороший конюх, хоть и без ноги.

А по вечерам пил Ефремов красное вино, глядя на закат, и думал, думал. Что не так сделал в жизни? Выходит, что все не так. Может, надо было не на запад во Францию, а на восток за Урал уходить? Не к семье даже, а в тундру. Жил бы с эвенками, охотился, рыбу ловил. Там, в тундре, и не знают, какая в стране власть. Может быть, и с хунтуруками знакомство ближе свет бы. Чем черт не шутит, и в гости бы на небо слетал. На другую землю не надо, а на небо одним глазком взглянуть — все-таки любопытно. Главное, не бесы они, это точно.



  
**молекула**  
Научно-популярный сайт  
о современной биологии



## Конкурс научно-популярных статей

### Номинации

- Свободная тема по биологии
- Своя работа
- Бионанотехнология
- Наглядно о ненаглядном: нарисуй науку!
- «Места»: где работать в биологии?



Прием работ до 1 октября 2016 года!

[www.biomolecula.ru/content/1947](http://www.biomolecula.ru/content/1947)



Партнеры конкурса





# Московский Дом Книги

## СЕТЬ МАГАЗИНОВ



КНИГИ

**Рафаил Нудельман**

Тайные ходы природы:  
Как гены-заики и другие чудеса  
ДНК определяют пути эволюции  
ЛомоносовЪ, 2013



Эта книга рассказывает о невероятных путях эволюции живого на Земле и отвечает на многие вопросы, общие и частные. Как возникли мужской и женский пол? Почему термиты таракуа при приближении другого вида взрываются, словно камикадзе? Как и зачем рачок-саккулина меняет пол краба, на котором паразитирует? И еще один общий вопрос: какую роль во всех этих странностях и невероятностях играют гены?

**Ричард Докинз**

Расширенный фенотип:  
длинная рука гена  
АСТ, 2014



Ясность изложения, юмор и железная логика делают даже строго научные труды Докинза доступными широкому кругу читателей. «Расширенный фенотип» развивает идеи его знаменитой книги «Эгоистичный ген», где эволюция и естественный отбор рассматриваются «с точки зрения гена». «Расширенный фенотип» по праву считается одной из важнейших книг в современной эволюционной биологии.

**Владимир Динец**

Песни драконов.  
Любовь и приключения  
в мире крокодилов  
и прочих динозавровых  
родственников  
АСТ, CORPUS, 2015



Эта книга — тройное путешествие. Физическое — экстремальный вояж по экзотическим уголкам планеты, к чудесам природы и опасным поворотам судьбы. Академическое — экскурсия в неведомый, сложный, полный сюрпризов мир крокодиловых. И наконец, эмоциональное — поиск настоящей любви, верной спутницы на необычном жизненном пути.

**Михаил Никитин**

Происхождение жизни.  
От туманности до клетки  
Альпина нон-фикшн. 2016



Поражаясь красоте и многообразию окружающего мира, люди на протяжении веков гадали: как он появился? Каким образом сформировались планеты и как зародилась жизнь на Земле? В этой книге собраны самые актуальные ответы на эти вопросы. И хотя на переднем крае науки не всегда есть простые пути, автор постарался сделать все возможное, чтобы книга была понятна читателям, далеким от биологии. Те читатели «Химии и жизни», кто помнит цикл статей Михаила Никитина «Биогенез» (январь — декабрь 2013 года), найдут в этой книге много знакомого.

**Нил Шубин**

Вселенная внутри нас:  
что общего у камней,  
планет и людей  
АСТ, 2013



Нил Шубин утверждает, что человек состоит в кровном родстве не только со всеми живыми организмами, но и с землей, с водой и воздухом, с нашей планетой, с Галактикой и всей Вселенной. Наши тела сотканы из звездной пыли за миллиарды лет эволюции. Автор пересказывает — буквально с космическим размахом — историю человечества, начавшуюся еще в момент Большого взрыва.

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



Художник Эшли Гаррет

## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

### Робот-исследователь на Марсе

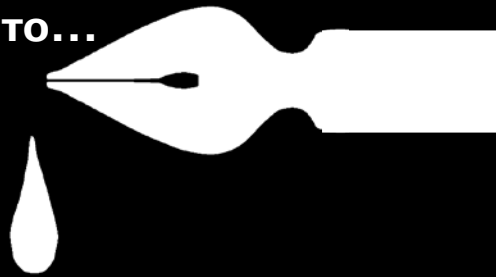
По определению, роботы должны освободить людей от тяжелого, монотонного или опасного труда, а такой труд бывает не только где-нибудь в шахте, у металлургической печи или за прилавком магазина. В исследовательской лаборатории зачастую приходится проводить множество однотипных опытов, для чего не всегда требуются высокая квалификация, пять лет университета и три года аспирантуры. Поэтому возникают идеи создания роботом-лаборантов. Одним из первых был робот-биолог, который мог исследовать аминокислоты. Он не только сливал пробирки и фиксировал результаты опытов, но и делал на их основании умозаключения и корректировал план работы (см. «Химию и жизнь»...). А вот теперь, похоже, робот-исследователь трудится за пределами Земли (Агентство «NewsWise», 21 июля 2016 года).

Марсоход «Кьюриосити» ползает по поверхности Красной планеты уже четвертый год, намного превысив запланированные сроки. Исследование камней, а всего проведено полторы тысячи анализов, превратилось в рутину, и неудивительно, что сотрудники НАСА озаботились автоматизацией процесса. Ведь раньше как было? Подъезжает марсоход к камню, останавливается и передает на Землю фотографию. В Центре управления полетами есть соответствующий оператор, он фото рассматривает и если находит какую-нибудь особенность — жилу там или вкрапление минерала, — то отдает приказ нацелить лазер в интересное место. По спектру отражения прибор марсохода определит химический состав в выбранной точке. А ежели оператора нет на месте? Тогда либо его будут ждать, либо «Кьюриосити» продолжит свой путь.

С новым программным обеспечением и работы для оператора, и задержек станет гораздо меньше. Теперь марсоход сам сможет определить по фотографии объекта, есть ли в нем что-то интересное, и в случае положительного ответа проведет химический анализ. В это время на Земле уже получают изображения и оценят, правильно ли сделан выбор. Если нет, марсоход конечно же подправят, указав ему верную цель. Но очевидно, что со временем, по мере обучения, потребность в корректировках станет меньше. Важно, чтобы роботу дали правильное указание цели, иначе он может как пропустить что-то интересное, так и найти что-то ненужное.

С.Анофелес

## Пишут, что...



...очередной номер журнала «Human Evolution» посвящен изучению останков Леонардо да Винчи современными методами, в частности, речь идет о достоверной идентификации его предполагаемых останков и о поиске ДНК в отпечатках пальцев на картинах («Human Evolution», 2016, 31, 3, 125—189)...

...систему CRISPR/Cas, избирательно редактирующую геном, уже можно доставлять в организм взрослого млекопитающего, для этого предложено использовать аденовирусы; редактирование идет успешно («Investigative Ophthalmology & Visual Science», 2016, 57, 3470—3476, doi: 10.1167/iovs.16-19316)...

...межгодовая изменчивость инсоляции для планет Солнечной системы определяется не только колебаниями активности Солнца, но в значительной степени движением их спутников, которое влечет на их положение относительно светила в одно и то же время года («Астрономический вестник», 2016, 50, 3, 233—238)...

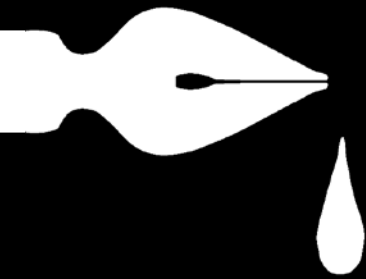
...в остатках микроорганизмов нижнего плейстоцена, сохранившихся на дне Тихого океана, найдены атомы <sup>60</sup>Fe — следы взрыва сверхновой, прибывшие на Землю 2,6—2,8 млн лет назад, во время глобального похолодания («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2016, 113, 33, 9232—9237, doi: 10.1073/pnas.1601040113)...

...«позеленение» российской Арктики — следствие не только изменений климата, но и расширения территорий, пострадавших от деятельности человека, доля которых составляет более 20% Арктической зоны РФ («Известия РАН. Серия географическая», 2016, 3, 28—39)...

...хронические заболевания, связанные с низкой физической активностью людей, обошлись мировой экономике в 2013 году в 58,3 млрд долларов («The Lancet», 2016, doi: 10.1016/S0140-6736(16)30383-X)...

...капсид вируса иммунодефицита человека не распаковывается в клетке, как считалось ранее, а только открывает поры, это защищает его от клеточных противовирусных систем («Nature», 2016, 536, 7616, 349—353, doi:10.1038/nature19098)...

...у пациентов с некоторыми нарушениями речи при вербальном и пространственном мышлении выключаются области активации мозга, характерные для здоровых людей, и активируются другие («Журнал высшей нервной деятельности», 2016, т.66, 3, 313—326)...



...создан биоробот в виде ската, плавники которого приводятся в движение светом; его тельце сделано из эластомера, а мышцы из клеток эмбрионов крысы («Science», 2016, 353, 6295, 158—162, doi: 10.1126/science.aaf4292)...

...на основе морфофункционального анализа конечностей птерозавров построена биомеханическая модель их крыла и показана ее эволюция («Журнал общей биологии», 2016, 77, 3, 182—238)...

...сибирский углозуб — рекордсмен среди холоднокровных позвоночных по адаптации к низким температурам, он выдерживает до 45 суток при  $-35^{\circ}\text{C}$  и кратковременное охлаждение до  $-50^{\circ}\text{C}$ ; поскольку в местах его обитания температура редко опускается так низко, эта способность должна была сформироваться в иной климатической обстановке («Доклады Академии наук», 2016, 468, 5, 589—593)...

...из пахотных почв в Башкирии выделен штамм бактерий *Pseudomonas koreensis* ИБ-4 с антигрибной и нитрогеназной активностью, способный к синтезу цитокиноподобных веществ; при обработке картофеля раствором штамма повышаются урожайность и устойчивость к фитопатогенам («Микробиология», 2016, 85, 3, 317—326)...

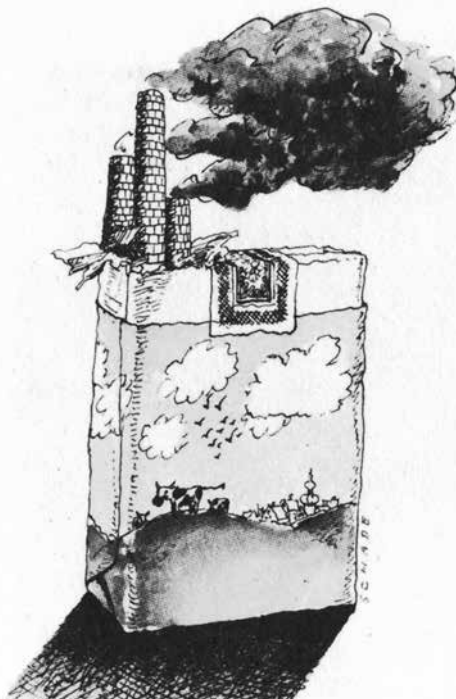
...полученный из кристаллов просяного масла милиацин подавляет образование биопленок патогенных бактерий *Salmonella*, но при этом не влияет на полезных лактобацилл и бифидобактерий («Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии», 2016, 4, 3—9)...

...рыбки данио, инфицированные паразитами нервной системы *Pseudoloma neurophilia*, плавают ближе друг к другу; экспериментаторы часто интерпретируют такое поведение как признак тревоги и стресса, однако на самом деле оно вызвано инфекцией («Journal of Fish Diseases», 2016, doi: 10.1111/jfd.12512)...

... качество спермы ретриверов и немецких овчарок ухудшается из-за некоторых загрязнителей окружающей среды, содержащихся в кормах для собак; вероятно, этот фактор действует и на людей («Scientific Reports», 2016, 6, 31281, doi: 10.1038/srep31281)...

...впервые издан аннотированный каталог геофилломорфных многоножек европейской части России, отвечающий современным нормам классификации, проанализированы все первоописания, приведены типовые места обитания; и это несмотря на то, что их изучение в нашей стране в последние десять лет практически прекратилось («Зоологический журнал», 2016, 95, 669—678)...

Художник Райнер Шаде



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Сигарета к сигарете, дым под лампой...

Казалось бы, после изобретения электронных сигарет, в которых ничего не горит и, стало быть, нет вредных продуктов сгорания органики, курильщики избавились от опасностей. Теперь они могут вдыхать чистый никотин и наслаждаться его наркотическим действием. Ан нет: и в электронной сигарете нашли причины для беспокойства.

Пар электронной сигареты исследовали в Лоуренсовской национальной лаборатории Минэнерго США (агентство «NewsWise», 22 июля 2016 года). Спектрометр угостили двумя сигаретами — дешевой, где наркосодержащую жидкость нагревала одна спираль, и дорогой, с двумя спиральями, а также опробовали разные курительные жидкости и режимы их испарения. Результат был один: в паре сигареты содержались и канцерогены, и раздражители слизистой оболочки, например ацетальдегид, формальдегид и акролеин. Концентрация же зависела от того, сколько времени прошло после раскуривания. Так, дешевая сигарета при напряжении питания 3,8 В давала 0,46 мкг акролеина при первых пяти затяжках, а затем, выйдя на рабочий режим, — до 8,7 мкг в одной затяжке. То есть за двадцать затяжек, что соответствует выкуриванию одной табачной сигареты, человек получает 90—100 мкг этого вещества. В дыме табака содержание акролеина гораздо выше — 450—600 мкг. Использование сигареты с двумя спиральями снижало концентрацию вредных веществ, зато изменение напряжения питания с минимальных 3,3 В до 4,5 В десятикратно увеличивало концентрацию. Свой вклад вносит и карамелизация — нагорание веществ курительной жидкости на нагревательных спиральях: девять циклов курения по 50 затяжек без очистки спиралей увеличивали на 60% дозу ацетальдегида.

Откуда же вредные вещества? Из растворителей — пропиленгликоля и глицерина. Они безопасны при употреблении внутрь, однако курильщик не пьет жидкость, а вдыхает ее пары. Проверка чистой смеси этих двух веществ без всяких добавок никотина и ароматов выявила в их парах 31 вредное вещество, включая подозреваемые в канцерогенности пропиленоксид и глицидол. «Подобные исследования проводят не для того, чтобы скомпрометировать новое увлечение. Зная наши результаты, изготовители могут повысить безопасность своей продукции, а регулирующие органы будут знать, на что им следует обратить внимание», — говорит руководитель работы Хьюго Дестаиллате.

А.Мотыляев

«Химия и жизнь», 2016, № 9, www.hij.ru



# Сказ о погрешностях

Существует лишь то, что можно измерить.

Макс Планк

Некоторые люди — за последние годы их количество в России сильно уменьшилось — понимают, что их знание неточно. Можно предположить, что точным наше знание вообще может быть только при дискретной шкале. Нетрудно дать верный ответ на вопрос, сколько шариков в мешке, но их точный вес неизвестен. Можно точно знать, какая оценка получена на экзамене, но нельзя — какие знания были в голове во время экзамена.

Это тривиально, но от тривиального до непостижимого (что в жизни, что в физике) один шаг. Как оценить точность наших знаний? Если мы знаем точное значение — это легко, но в реальной ситуации точного значения мы обычно не знаем, и не факт, что оно вообще существует. Что, если реальная величина слегка изменяется со временем, а мы, производя измерения на коротком интервале и с ограниченной точностью, просто этого не замечаем? Что такое в этом случае «точное значение»?

Поэтому, употребляя всуе слово «точность» и рассуждая на эту тему, надо понимать некоторую условность всех этих рассуждений. Тем не менее физики и инженеры, занимаясь измерениями, не вдаются в философию — потому что за каждым их действием стоят огромный (во многих случаях вековой) опыт и накопленная информация.

Например, в большинстве книг говорится, что любое измерение нужно повторять многократно. Однако на практике большинство измерений делается один раз, если за спиной измерителя стоит опыт. Измеряя напряжение в сети надежным вольтметром, мы получаем 225 вольт, и нам и в голову не приходит перемерять. Потому что мы прекрасно знаем, что должно быть немного меньше 230, и примерно знаем, сколько в какое время суток.

Какова реальная тактика повторения измерений, когда человек решает, что измерения надо повторить? А проделать третий раз? Когда он начинает подозревать зависимость от времени? Какие гипотезы клубятся в его голове и как это влияет на его дальнейшие действия? К статистической обработке данных это не имеет отношения — какая статистика, когда измерений всего, например, три. Это имеет отношение к опыту и психологии исследователя.

Многочратное повторение измерений — вообще не панацея, потому что оно может сильно исказить результаты, если само измерение влияет на объект. Например, социологи считают, что человека нельзя слишком часто опрашивать, к тому же в качестве необходимого зазора называют сроки до полугода. Видимо, считается, что серьезная анкета вопросов на сто пятьдесят — это такая нагрузка, что повторный опрос на любую тему будет искажен раздражением. С другой стороны, психологи считают повторение результатов теста важным признаком его релевантности. Как это совместить с ограничением на повторы? Какие-то рекомендации на эту тему у социологов есть, но они весьма фрагментарные и у разных социологов разные.

Обычно различают погрешность, вызванную объективными обстоятельствами, и ошибку, вызванную субъективными обстоятельствами. Это деление условно: скажем, субъективное дрожание рук, увеличивающее ошибку, бывает вызвано объективными причинами (недосыпанием или расстройством желудка), его параметры поддаются измерению и управлению. Другой пример — при визуальном определении момента прохождения звезды через меридиан объективно существует индивидуальная погрешность, так называемая «личная разность».

Когда мы что-то измеряем, то к началу измерений у нас есть модель объекта. В некоторых случаях мы знаем, что это упрощение, и идем на него, если нам не нужна высокая точность. В иных случаях мы не знаем этого и работаем с простой моделью, пока не наткнемся на противоречие. Вот пример исключения параметра при упрощении модели. Мы измеряем диаметр цилиндра и не проверяем эллиптичность, отклонения от цилиндричности. Потому что знаем: на этом оборудовании и в этом техпроцессе получают такие цилиндрики, что для дальнейшего применения нужно контролировать диаметр и не нужно — эллиптичность. Но в другой ситуации может оказаться иначе.

Выбирая обувь и одежду, мы ориентируемся на размеры — и все же примерка необходима. Это означает, что система размеров разработана плохо? Однако

*С.К. САФОНОВУ, Москва: Покрытие для ванны, о котором вы спрашиваете, очевидно, не просто акриловое, а акрилово-эпоксидное, коль скоро к нему полагается отвердитель; такие покрытия относительно прочные, но желтеют со временем; о том, насколько полезны добавки наносеребра и шунгита, скромно промолчим.*

*Л.А. МУРАВЬЕВОЙ, Уфа: Борная кислота действует на таракана, во-первых, при приеме внутрь, как яд, нарушающий метаболизм, а во-вторых, наружно, повреждая экзоскелет; успехов в борьбе!*

*Р.В. ЛАЗАРЕВОЙ, Санкт-Петербург: «Золотые» ручки кастрюли, конечно, не позолочены, но могут быть покрыты нитридом титана; не чистите их жесткими абразивами, и все будет хорошо.*

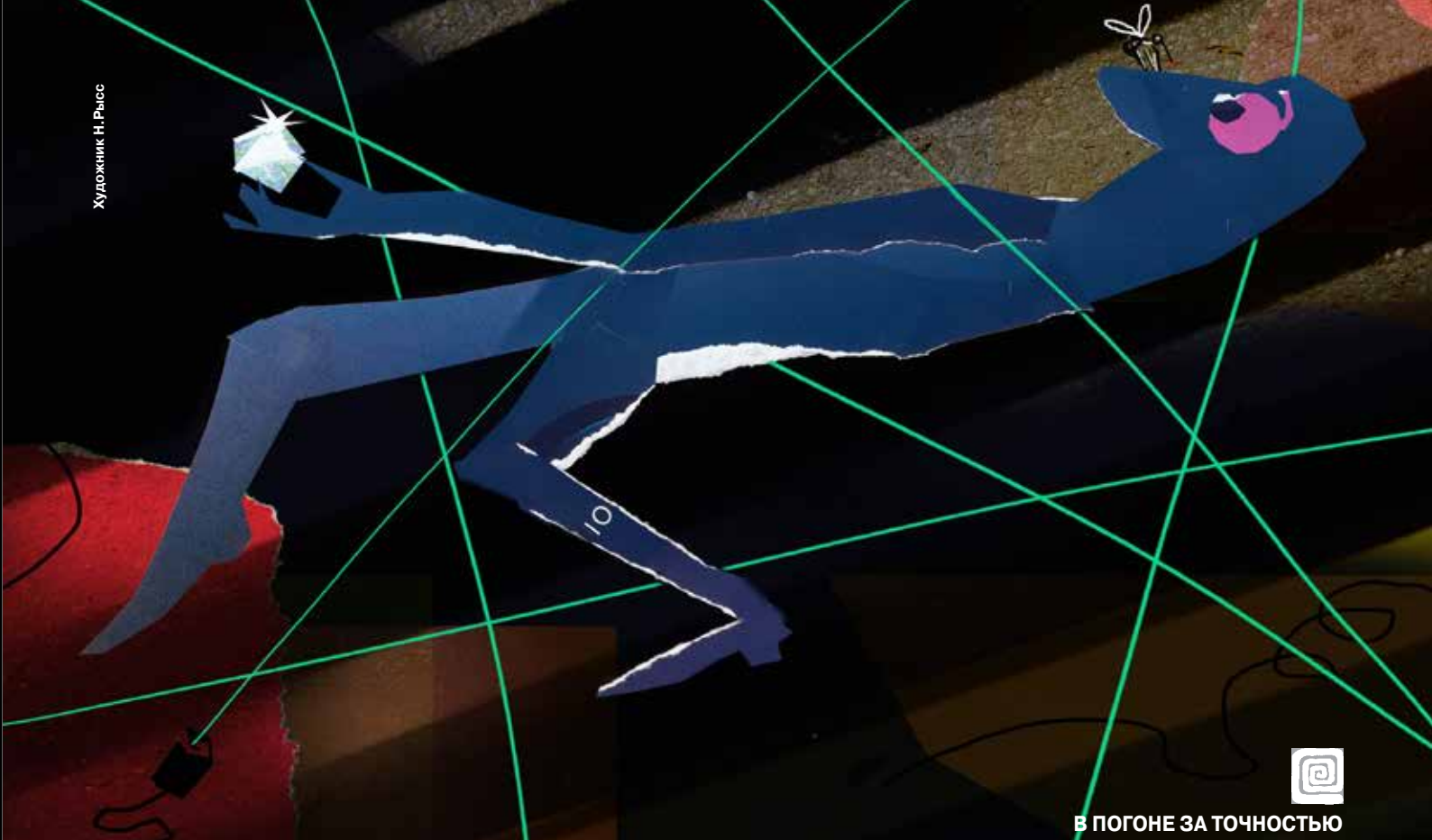
*А.П. СЕМКО, Брянск: Травяные пятна со светлой, но не белой ткани можно попытаться удалить спиртом или эфиром, а если нет ни того, ни другого — крепким раствором соли (столовая ложка на полстакана воды).*

*Н.Н. ПАВЛОВУ, Волгоград: Дальневосточная сельдь иваси на самом деле сардина, представитель рода *Sardinops*, на сельдь она только похожа, впрочем, те и другие относятся к семейству сельдевых.*

*ПИАР-ЦЕНТРУ, приславшему новость о чистке одежды: Спасибо, только одежду чистит не жидкая уголекислота, а сверхкритический  $CO_2$ , и температура не комнатная, а выше  $30^\circ C$ , при давлении более 73 атмосфер; именно сверхкритический флюид служит растворителем в подобных технологиях.*

*М.Г., электронная почта: Животное под названием silverfish в процитированном вами английском тексте отнесено к насекомым, потому что эта «серебряная рыба» и есть бескрылое насекомое — сахарная чешуйница из отряда щетинохвосток; полезно заглянуть в словарь, прежде чем критиковать автора.*

*ПОСЕТИТЕЛЯМ РЕДАКЦИИ: Летом мы не работали по понедельникам и пятницам, но сейчас снова вернулись к обычному режиму, заходите, пожалуйста!*



**В ПОГОНЕ ЗА ТОЧНОСТЬЮ**

при большом количестве параметров изготовитель не смог бы обеспечить все варианты или не справился бы продавец: при двух параметрах ему надо иметь в продаже десятки размеров для каждой модели, при трех — сотни. Но более детальное описание сократило бы время на поиск нужного — поэтому система размеров одежды, вероятно, будет совершенствоваться.

Попробуем перечислить источники погрешностей. Погрешность модели: мы описываем явление или объект в соответствии с каким-то нашим пониманием и вычисляем параметры в рамках этой модели, а объект или явление устроены сложнее. Например, мы хотим изучить температурную зависимость сопротивления проводника или размеров образца, то есть определить температурный коэффициент сопротивления или расширения. Все замечательно, но эти зависимости нелинейны, и, аппроксимируя их прямой, мы уже делаем ошибку.

Частый вариант методической погрешности — влияние прибора на объект. В некоторых случаях это влияние настолько сильно, что разрушает или повреждает объект, поэтому в технике есть термин: «неразрушающие измерения». В принципе возможна и ситуация, когда прибор влияет на объект так, что искажение данного измерения невелико, но будут искажены последующие измерения.

Погрешность метода: модель-то наша правильная, но мы не учитываем какого-то фактора или какого-то влияния на учитываемый фактор. Например, идя по мокрым следам великого Архимеда, мы хотим сделать простенький пробирный анализ взвешиванием сплава Au+Ag в жидкости и на воздухе. При этом, как обычно, пренебрегаем плотностью воздуха, зависимостью плотности воды от температуры, пузырьками воздуха и объемом нитки. Погрешность инструментальная — собственно погрешность прибора (весов, если продолжать предыдущий пример). Затем погрешность оператора — неправильный отсчет, неправильная фиксация данных, пропуск отсчета при периодических измерениях. Сюда же — возможные ошибки от предубеждения.

Условия измерения можно разделить на две группы. Первая группа — это другие параметры объекта или сигнала. Например, вольтметр предназначен для измерения переменного напряжения

частоты 45—55 герц синусоидальной формы. При выходе частоты за эти пределы или при существенном отклонении формы от синусоидальной возникает дополнительная погрешность. Вторая группа внешних условий — это «настоящие» внешние условия: температура, давление, влажность, освещенность. Они тоже могут влиять на результаты измерений, и в мануалах обычно оговорено, в каких условиях должны вестись измерения и какова будет дополнительная погрешность.

Специфический вид погрешностей возникает при уменьшении времени, отведенного на измерение, например при увеличении частоты измерений. Прибор, всегда имеющий ограничение по времени реакции хотя бы на принципиальном уровне (он должен получить информацию), может не успеть правильно измерить. Эти погрешности называются динамическими. Есть, например, понятие постоянной времени для самописца — и если спектр с острыми пиками записывать быстро, их интенсивность снизится.

Главное деление погрешностей — это деление на систематические и случайные. Смысл кажется вполне понятным из названий, однако на самом деле он непонятен. Если верить физике, то истинно случайное — это область действия квантовых закономерностей, от обычной метрологии это достаточно далеко (хотя эталоны все больше становятся квантовыми). На практике случайными считаются погрешности, причина которых нам неясна. Отчасти это действительно так, но важно еще то, что у погрешностей, называемых нами случайными, обычно много сравнимых по мощности причин, действующих независимо. Это неслучайно — если бы какая-то причина преобладала, мы бы ее раскусили и объявили систематической. А если причин много и они сравнимы и независимы, то формируется определенная картина: распределение погрешностей подчиняется так называемому нормальному распределению, симметричной функции колоколообразной формы. Симметричность позволяет путем вычисления среднего от многократных измерений уменьшать погрешность, а знание функции распределения позволяет оценить достижимую точность. Именно в этом случае целесообразно проводить много измерений.

**Л.Намер**



# ХИМИЯ

ХИМИЧЕСКАЯ

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

И НАУКА

2 0 1 6

19–22.09

 ЭКСПОЦЕНТР

**19-я международная  
выставка химической  
промышленности и науки**



**Зеленая химия**



**Индустрия пластмасс**



**Химмаш. Насосы**



**Хим-Лаб-Аналит**

**Салон защиты  
от коррозии «КОРРУС»**



Организатор: ЗАО «Экспоцентр»

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
- Российского Союза химиков
- ОАО «НИИТЭХИМ»
- Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- РХТУ им. Д.И. Менделеева

Под патронатом  
Торгово-промышленной палаты РФ

Реклама



12+



[www.chemistry-expo.ru](http://www.chemistry-expo.ru)