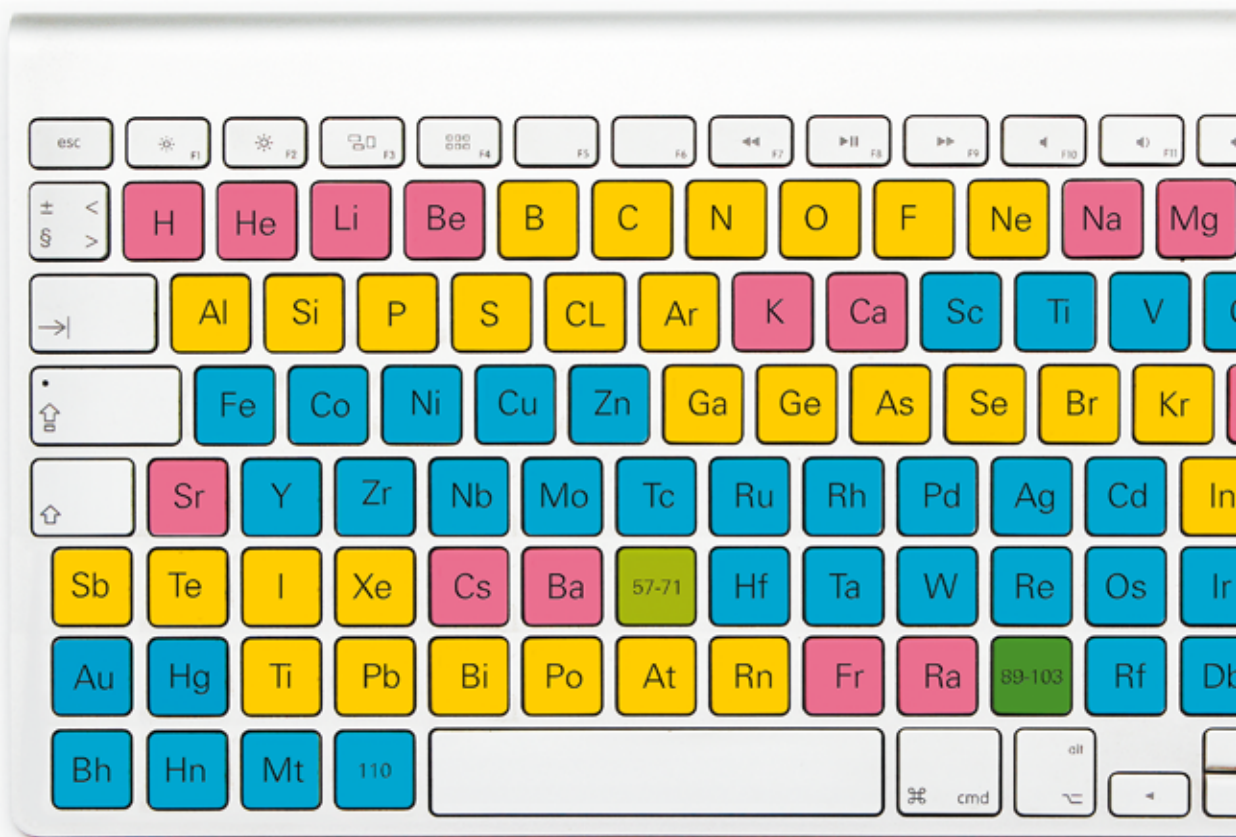
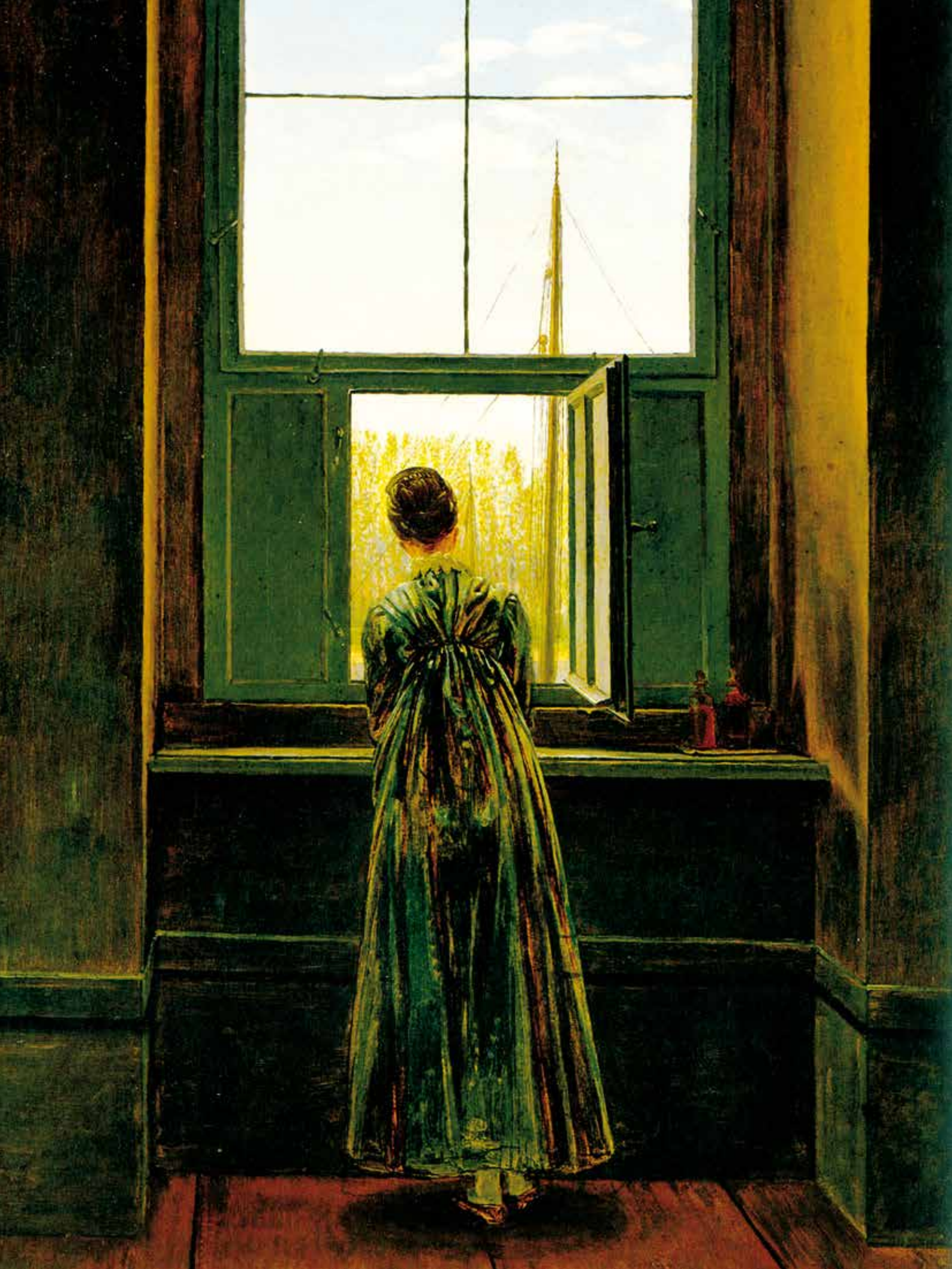




**ХИМИЯ И ЖИЗНЬ**

**6** /2017









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

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

Подписано в печать 24.05.2016

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 —  
картина художника Каспара Давида  
Фридриха «Женщина у окна» (1822).  
Ждать метеоритного дождя ей оста-  
лось пару веков. Подробности в статье  
«Следите за тауридами».

*Занимаясь наукой, человек получает  
возможность устанавливать свои правила.  
Чтобы потом выяснять,  
какие из них соблюдаются,  
а какие нет.*

*Дэвид Л. Ху*

## Содержание

### Технологии

|                                                      |   |
|------------------------------------------------------|---|
| ТАК ЧТО ТАМ С НЕЙРОКРУЖЕВОМ? Е.Клещенко .....        | 2 |
| ДИАГНОСТ, КОТОРОГО НОСЯТ С СОБОЙ. А.И.Курамшин ..... | 6 |

### Элемент №...

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| АНТИВОДОРОД: ФАКТЫ И ФАКТИКИ. А.Мотыляев ..... | 10 |
|------------------------------------------------|----|

### История современности

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ. А.В.Наумов ..... | 14 |
|------------------------------------------|----|

### Хемоскоп

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| КАК ОТЛИЧИТЬ ЛЕГКУЮ ВОДУ ОТ ТЯЖЕЛОЙ. ПОЛУЧАТЬ БОРОРГАНИКУ<br>СТАЛО ПРОЩЕ. САМОСБОРКА НАНОТРУБОК. А.И.Курамшин ..... | 18 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### Болезни и лекарства

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| ОЧЕРКИ КОМБУСТИОЛОГИИ: ГЛАВНЫЙ ПРИНЦИП — НЕ НАВРЕДИ. Т.Г.Руденко.... | 20 |
|----------------------------------------------------------------------|----|

### Жертвы науки

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| ЛЕЧЕБНЫЕ КУРЫ. С.Ястребова ..... | 24 |
|----------------------------------|----|

### Земля и ее обитатели

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| А ГЛАЗ КАК У ОРЛА. О.Н.Нестеренко..... | 26 |
|----------------------------------------|----|

### Проблемы и методы науки

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| КОНВЕРГЕНЦИЯ. Н.Л.Резник..... | 30 |
|-------------------------------|----|

### Размышления

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| НАУКИ — НАУКАМ. Л.Намер, И.Ильин ..... | 32 |
|----------------------------------------|----|

### Мемуары Игнобеля

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| МЕХАНИКА МЯГКОЙ СИЛЫ. С.М.Комаров..... | 38 |
|----------------------------------------|----|

### Нанофантастика

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| НОВАЯ ЖИЗНЬ ЛОКИ. Роман Павлов..... | 41 |
|-------------------------------------|----|

### Ученые досуги

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| СЛЕДИТЕ ЗА ТАУРИДАМИ. С.Анофелес..... | 42 |
|---------------------------------------|----|

### Память

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| И.В.ПЕТРЯНОВ-СОКОЛОВ: ПЕРВЫЙ И ГЛАВНЫЙ. Г.Д.Засухина-Петрянова ..... | 46 |
|----------------------------------------------------------------------|----|

### История современности

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| АЭРОЗОЛЬНЫЙ СЛЕД ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ. Б.И.Огородников ..... | 46 |
|---------------------------------------------------------|----|

### Что мы съедим

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| РОГАТЫЙ ОГУРЕЦ. Н.Ручкина. .... | 52 |
|---------------------------------|----|

### Фантастика

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| ЧТО ВЫ ЗНАЕТЕ О ШУШУРБАНЕ? Елена Щетинина ..... | 54 |
|-------------------------------------------------|----|

### Химики и лирики

#### ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| БРАТЬЕВ СТРУГАЦКИХ. Владимир Борисов, Александр Лукашин ..... | 60 |
|---------------------------------------------------------------|----|

### Радости жизни

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| СТЕЛЛА АРУТЮНОВА: ИСКУССТВО КАК АЛХИМИЯ ..... | 64 |
|-----------------------------------------------|----|

|                           |        |                  |    |
|---------------------------|--------|------------------|----|
| В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ | 13, 29 | КНИГИ            | 51 |
| ИНФОРМАЦИЯ                | 28     | КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ | 62 |
|                           |        | ПИШУТ, ЧТО...    | 62 |

# Так что там с нейрокружевом?

Е. Клещенко

Илон Маск обещал через четыре года вывести на рынок устройство для прямой передачи информации из мозга, альтернативу речевой коммуникации. Насколько это серьезно?

## Space X, Tesla, Neuralink

*Нейрокружево выпало из сети. Последним сообщением, по ней ушедшим, вероятно, стал аварийный сигнал бедствия (...). Она точно знала, что сообщение отправлено: где-то в центре ее головы с легким треском разломилась тонкая стеклянная нить.*

Иэн Бэнкс. Черта прикрытия

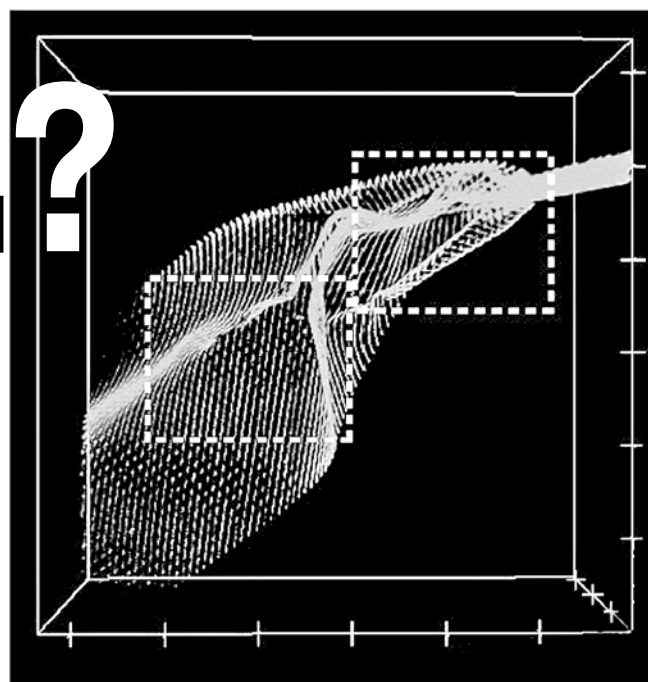
«@elonmusk Что с нейрокружевом? Скоро анонсируете? — Возможно, в следующем месяце» (твиттер Илона Маска, 25 января 2017 года). Знаменитый миллиардер-прогрессист и раньше говорил, что заинтересовался проблемой прямого взаимодействия между человеческим мозгом и компьютером, причем употреблял такие выражения, как «слияние биологического и цифрового интеллекта», «повышенная скорость соединения между вашим мозгом и вашей цифровой версией». Обещанного анонса пришлось ждать чуть дольше: в конце марта 2017 года генеральный директор SpaceX и Tesla Илон Маск объявил, что стал сооснователем и главой компании Neuralink, которая займется разработкой нейрокompьютерного интерфейса.

Термин «нейрокружево» (neural lace) придумал писатель-фантаст Иэн Бэнкс для своего цикла романов «Культура», начатого в 80-е годы XX века. В нашей реальности специалисты обычно используют другой термин: интерфейс мозг-компьютер (ИМК), он же нейрокompьютерный интерфейс; англ. Brain-Computer Interface (BCI), Brain-Machine Interface (BMI).

Начать «Нейралинк» планирует со сравнительно скромных задач: нейропротезирование, помощь страдающим нейродегенеративными и другими заболеваниями. Прямой вывод информации с мозга помог бы парализованным после инсульта общаться с окружающими, а возможно, и обслуживать себя; ввод сигналов с видеокамеры на зрительную кору даст ослепшему человеку аналог зрения. Кстати, на том и другом направлении уже есть результаты. По столь серьезным показаниям электроды вживляют в мозг, но в попытках со здоровыми добровольцами, конечно, используют неинвазивные методы: транскраниальную (сквозь череп) регистрацию сигналов — электроэнцефалографию, магнитоэнцефалографию, функциональную магнитно-резонансную томографию.

Стратегические задачи новой компании Илона Маска куда амбициознее: создать нейроинтерфейсы, которые заменят речевое общение, став средством быстрой коммуникации, и в конечном счете помогут нам избежать подчинения искусственным интеллектом. Маск назвал и сроки: первое подобное устройство на рынке — через четыре года, а достаточно эффективное и безопасное, чтобы заинтересовать здоровых людей, — через восемь — десять лет. Пока что на сайте «Нейралинк» висит только объявление о найме специалистов, готовых поучаствовать в создании «ультраинтерфейсов с высокой пропускной способностью для соединения людей и компьютеров».

Скептики не совсем правы в том, что все это фантастика и утопия. В этой и близких областях работают десятки, если не сотни научных групп по всему миру, и многим уже есть что предъявить.



## Нейрон и электрод

— ИскИны — одна из сложнейших проблем во вселенной, — вздохнул он и окинул влюбленным взглядом нейрошунты и метакортикальные процессоры, которые только что извлек из собственной головы.

Дэн Симмонс. Гиперион

Нанобиоэлектроника, то есть создание наноустройств-посредников между живыми и неживыми системами, — бурно развивающаяся область. В следующей статье номера расскажется о миниатюрных устройствах, которые ведут прямые репортажи из организма хозяина о его давлении или биохимических показателях. Нанобиоэлектроника делает следующий шаг туда, где, по выражению Фейнмана, полным-полно места: ее тема — взаимодействие живого и неживого на клеточном и молекулярном уровнях.

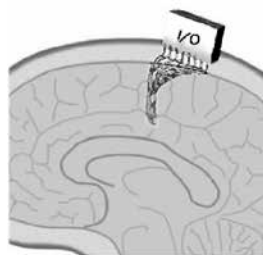
Чарльз Либер, профессор Гарвардского университета, в 2011 году, по данным агентства Thomson Reuters, занял первое место среди химиков мира по суммарному импакт-фактору. Либер — пионер нанотехнологий, в последнее время занимается нанобиоэлектроникой. Наноустройства, вживляемые в организм, бывают разными, это могут быть, например, сенсоры, распознающие индивидуальные молекулы. Применительно к интерфейсу мозг-компьютер всех, конечно, интересуют электроды, принимающие сигналы от нейронов (или подающие на них сигналы).

Одну из разработок группы Либера журналисты как раз и называют «нейрокружевом», а сами авторы говорят «сеть» (mesh) или «электроника для инъекций». Проводящую наносеть с полимерным покрытием, скатанную в рулончик, можно ввести шприцем — для инъекции достаточно маленького отверстия. Попав внутрь, она расправляется и при этом не повреждает клетки, а деликатно вплетается в живую ткань. Таким способом в мозг можно имплантировать уже не электрод, а целое наноустройство. Авторы проделали опыты с мышами и крысами — правда, передача не была беспроводной, но активность нервных клеток в ответ на прикосновение, например, к вибриссам животного исправно фиксировалась.

Когда мы говорим об электродах в нервной ткани, то обычно представляем себе металлическую иглолку или нить. Но это не единственный вариант. В 2015 году был опубликован обзор под названием «Мягкие материалы в нейроинженерии для жестких проблем нейронауки» («Neuron», 2015, 86, 1, 175—186, doi: 10.1016/j.neuron.2014.12.035). Авторы обзора указывали на то, что биоматериалы отличаются от металлов по физическим свойствам, нам лучше подойдут материалы гибкие, в меру пластичные и упругие. Среди компонентов электродов будущего упоминаются полимеры — поли(3,4-этилендиокситиофен) или



Электросхема, которую можно ввести шприцем  
*Nature Nanotechnology, 2015, 10, 629—636*



ТЕХНОЛОГИИ

полипиррол с добавкой наночастиц, увеличивающих проводимость, гидрогели из коллагена, альгината, поливинилового спирта, полиэтиленгликоля, а также графен или кремниевые наномембраны.

Осталось понять, что мы можем делать с помощью таких электродов.

## Образ мысли

*...Ментоскоп у Бегемота был хорош. Он позволял довольно глубоко проникать в воспоминания и обладал весьма высокой разрешающей способностью. Располагая такой машиной, можно было, пожалуй, обойтись и без знания языка. (...) Когда на экране Максим взрывал ледяную скалу, придавившую корабль, или скорчером разносил в клочья панцирного волка, или отнимал экспресс-лабораторию у гигантского глупого псевдоспрута, Бегемота было за уши не оттянуть от ментоскопа.*

А. и Б. Стругацкие. Обитаемый остров.

В запоминание определенных эпизодов или объектов вовлечены определенные группы нервных клеток. Такая группа называется энграммой, от греческого слова, означающего буквально «внутренняя запись». Как и «ген», «энграмма» когда-то была теоретическим понятием, которое теперь наполнилось конкретным содержанием. Уже существуют методы, позволяющие непосредственно наблюдать группу нейронов, которые активировались в ответ на некий стимул.

Можно, например, создать трансгенное животное, в клетках которого есть генноинженерный флуоресцентный белок GCaMP3, взаимодействующий с ионами кальция. Концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  растет в активных нейронах, и они у таких животных начинают светиться. Метод подходит для самых разных животных, от круглых червей до млекопитающих. Млекопитающие, в отличие от червей, непрозрачны, но, скажем, мыши можно заглянуть в голову с помощью миниатюрного эндоскопического микроскопа. Ученые из Стэндфордского университета под руководством Марка Шнитцера рассматривали таким способом глубокие структуры мозга мышей, которые в это время обследовали знакомую клетку или бегали по прямой дорожке. Данные получали в течение 45 дней, регистрируя сигналы от 500—1000 нейронов гиппокампа — структуры мозга, ответственной за память. Интересно, что каждый день у такой мыши активировался уникальный набор клеток. Эти наборы перекрывались как минимум на 15—12% в любых двух картинах активности, зафиксированных в одном и том же месте, но чем больше времени проходило между записями, тем меньше было перекрытие. Значит, даже у подопытного грызуна один день не похож на другой.

Для экспериментов на людях приходится совершенствовать неинвазивные методы. Они менее информативны (см. интервью с Михаилом Лебедевым в «Химию и жизнь», 2016, 4), но все же позволяют получить удивительные результаты. В лаборатории Джека Галланта (Калифорнийский университет, Беркли) добровольцам показывают картинки или видеоролики и при этом следят за активностью зрительной коры с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Используя данные фМРТ, математические модели реконструируют зрительные образы — рисуют на экране то, что данный человек видит. Можно и наоборот — предсказать, какой должна быть активность мозга

человека, когда он начнет рассматривать ту или иную картинку. А это уже путь к передаче мыслеобразов: надеваешь шапку с электродами, принимаешь сигнал, активирующий нужные участки коры, и перед внутренним взором встает картина. Или к созданию зрительной системы искусственного мозга, который будет видеть мир так же, как мы. Если же не загадывать столь далеко, результаты Галланта с коллегами помогут понять как устроена обычная человеческая зрительная система, восстанавливать зрительные функции, нарушенные из-за повреждений мозга, создавать новые методы диагностики.

В той же лаборатории ищут подходы и к реконструкции услышанной речи по сигналам мозга. Ученые создали интерактивную карту, на которой показано, какой участок коры мозга реагирует на то или иное слово. Кстати, карты симметричны в обоих полушариях.

## Включите память

*— Должно быть, я потеряла счет времени, — тревожно поделилась она. — Это не трудно, когда много дней сидишь в одиночной камере и никого не видишь. Хотя вчера я проснулась в их лазарете и не смогла вспомнить, как я там оказалась.*

*«А если этот хирург действительно так хорош, как кажется, то никогда и не вспомнишь», — подумала Корделия.*

Лоис Макмастер Буджолд. Осколки чести

Манипуляции с памятью трансгенных мышей методами оптогенетики (см. «Химию и жизнь», 2012, 12; 2016, 2), строго говоря, не имеют отношения к интерфейсам мозг-компьютер. С другой стороны, когда нейрокругево понижет ткань мозга, можно будет выполнять аналогичные действия программными методами.

Пока что воспоминания можно избирательно включать и рекомбинировать только у трансгенных животных с оптоволоком, вживленным в мозг. Подобные эксперименты проводят сразу несколько команд, в том числе группа исследователей под руководством нобелевского лауреата Сусуму Тонегава из Массачусетского технологического института. В нейронах, которые реагируют на новые впечатления, активируется ген *c-fos*. У трансгенных мышей Тонегавы вместе с этим геном активировался и ген ченнелродопсина, но только если мышь получала определенный препарат — своего рода команду «начало записи». Иными словами, в нейронах, ответственных за данное воспоминание, появлялся ченнелродопсин — белок, который образует канал в мембране клетки и открывает этот канал (тем самым активируя нейрон), когда на него попадает свет. Что получается в итоге? Мыши подсвечивают мозг, и все нейроны, помеченные ченнелродопсином, становятся активными — мышинная память возвращает ее в тот момент, когда она начала принимать препарат. Например, если мыши во время «записи воспоминания» получали удар током, то, когда включалась подсветка оптоволокну, они выказывали признаки страха, даже находясь в совершенно другой обстановке.

В других подобных опытах создавали синтетическую память — произвольно включая помеченные каналом нейроны, порождали у мышей память о ситуации, составленной из реальных и «призрачных» элементов. А можно заменить ченнелродопсин другим белковым каналом, который при подсветке не включает нейроны, а блокирует их, не позволяя что-то вспомнить.



Реконструкция образов по активности мозга. Слева кадры кинофильма, который смотрит доброволец, обычные или оконтуренные, справа реконструированные изображения

Пока что оптогенетические методы используются для изучения поведения, психических заболеваний и, собственно, любых заболеваний, связанных с возбудимостью клеток (например, клеток миокарда). Но как будут применены наработки по манипуляциям с воспоминаниями, когда нейроинженерия станет рутинной, — на эту тему можно строить самые смелые предположения. От загрузки новых навыков непосредственно в мозг до «пластических операций», создающих новую память и новую личность.

Другое направление, для которого применение в клинической практике кажется более реалистичным, — нейропротезирование, замена электроникой поврежденных участков мозга. Теодор Бергер и его коллеги из Университета Калифорнии — Лос-Анджелес (UCLA) и Института Уэйк Форест создали искусственный гиппокамп для крысы. Сигналы от отделов мозга, связанных с гиппокампом, поступали в компьютерную модель этого отдела мозга, а выходные сигналы были аналогичны тем, которые генерирует «живой» гиппокамп. Включение устройства восстанавливало у крыс память, испорченную фармакологическим вмешательством (см. «Химию и жизнь», 2011, 8), — фактически оно замещало живой гиппокамп. Выключение снова делало их беспмятными. В 2012 году та же группа поставила опыты с макаками, в 2013-м успешно опробовала протез гиппокампа на приматах. В 2015 году были начаты испытания на людях — сначала на больных эпилепсией, которым имплантируют электроды в мозг по медицинским показаниям. Предполагается, что подобные протезы вернут память пациентам с травмами мозга и нейродегенеративными заболеваниями.

Эти идеи планирует воплотить в жизнь стартап Kernel, который создал в 2016 году основатель платежной системы Braintree и бывший партнер Илона Маска по PayPal Брайан Джонсон. Компания собирается создать имплантируемое устройство для улучшения памяти и обучаемости у людей с соответствующими нарушениями, и сам Бергер участвует в этом проекте.

## Механическая рука

*Совсем рядом с глазами шута моя рука сжимала рукоять меча. Правая рука.*

*Железная.*

*Моя.*

*— Получилось, — одними губами выдохнул шут.*

Генри Лайон Олди. Путь Меча

Одно из самых эффектных приложений для интерфейсов мозг-компьютер — управление внешними механическими устройствами. Чтобы посмотреть, как это работает, необязательно ехать за границу. Интерфейс мозг-компьютер для подвижных приложений разработали в лаборатории нейрофизиологии и нейроинтерфейсов (биофак МГУ) под руководством доктора

биологических наук, профессора А.Я.Каплана. Человек надевает шапочку с электродами для снятия электроэнцефалограммы, программное обеспечение распознает компоненты (паттерны) ЭЭГ, и через несколько минут обучения и настройки участник эксперимента может «силой мысли» собрать пазл на экране компьютера или покатасть игрушечную машинку. Выполнять задачу не мешают шумы, комментарии зрителей и т. п., а большинство других протоколов, в том числе зарубежных, к таким помехам чувствительны.

Понятно, что подобные устройства вызывают живой интерес у индустрии компьютерных игр, и тут просматривается быстрая окупаемость. Среди спонсоров в разных странах также военные ведомства. Но более полезными могут оказаться развивающие игры, тренажеры и, конечно, протезы с нейроуправлением.

Мы не один раз писали об экзоскелете для бразильского атлета Хулиано Пинто и о том, как он на открытии Чемпионата мира по футболу 2014 года смог встать и пробить по мячу. Экзоскелет управляется с помощью интерфейса мозг-компьютер, теми же самыми сигналами ЭЭГ, — правда, преобразователь сигналов размером как рюкзак. Интересная особенность этого экзоскелета в том, что он дает пользователю обратную связь. На его подошвах есть датчики прикосновения, сделанные по технологии «искусственной кожи». Они передают сигналы от поверхности ступней к той части устройства, которая соприкасается с пальцами пациента, — это помогает ощутить экзоскелет как часть тела, а не как инородный предмет.

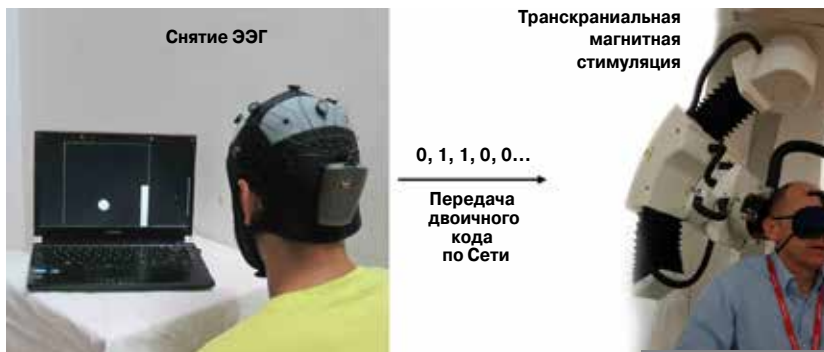
Интерфейс мозг-компьютер, управляющий экзоскелетом для Хулиано Пинто, разработали в лаборатории Мигеля Николеллиса (Университет Дьюка). Там же много лет экспериментируют на макаках-резусах с электродами, вживленными в мозг: обезьян учат управлять протезами рук, правда, пока виртуальными, на экране компьютера. Подобные протезы когда-нибудь помогут парализованным людям. А если, например, поврежден участок спинного мозга, передающий сигналы от коры головного мозга к руке, возможно, удастся аналогичным способом вернуть руке подвижность. Чтобы управлять двумя виртуальными руками, необходимо регистрировать сигналы примерно от 500 нейронов в обоих полушариях.

На свете есть и человек с механической рукой, управляемой мозгом. В 2012 году 52-летней Джен Шерман (Jan Scheuermann), у которой было парализовано все тело ниже шеи, но сохранена речь, вживили в кору головного мозга две матрицы по 96 электродов, с помощью которых одновременно регистрировалась активность до 270 нейронов коры. Операцию сделали в Питсбургском университете под руководством Эндрю Шварца. Сигналы от электродов трансформировались в движения протеза, и уже через две недели Джен смогла пожать руку экспериментатору, а через несколько месяцев самостоятельно ела, собирала пирамидку. Искусственную руку для Джен создали в лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса по заказу Управления перспективных исследований Министерства обороны США, Минобороны поддерживало и исследования команды Шварца. Возможно, это самая сложная искусственная конеч-



Джен Шерман ест шоколадку. Своей третьей руке она дала имя Гектор





Технотелепатический сеанс со словами *hola* и *ciao*  
*PLoS ONE 9(8): e105225. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105225>*



ТЕХНОЛОГИИ

ность в мире. Она очень похожа на живую человеческую руку и имеет десять степеней свободы, но проведение осязательной информации от руки к мозгу — пока дело будущего.

В России имеется разработка, менее фантастическая по дизайну, зато более доступная: экзоскелеты для рук, управляемые сигналами ЭЭГ и предназначенные для реабилитации после инсульта. Механизмы обратной связи много значат для нашей нервной системы. Если человек воображает движение и экзоскелет передает его живой руке, помогая ей выполнить задуманное, то подвижность возвращается быстрее. Алгоритмы для распознавания сигналов ЭЭГ создали в РНИМУ им. Н.И.Пирогова под руководством профессора А.А.Фролова.

Существуют и другие проекты экзоскелетов и протезов, управляемых сигналами мозга. Но даже если забыть о высокой себестоимости, экзоскелет составит конкуренцию инвалидной коляске не раньше, чем научится ходить по лестнице, а это пока что проблема. Хотя и над ней работают.

## Передача мыслей на расстоянии

*Резкий бросок в другое тело. Матрица исчезла, вокруг волны звука и цвета... Молли шла по заполненной людьми улице мимо киосков, торгующих уцененным софтом (...) Несколько секунд ошеломленный Кейс пытался управлять телом девушки. Но затем принудил себя к пассивности, стал пассажиром, глядящим на мир ее глазами.*

Уильям Гибсон. Нейромант

Информацию можно передавать не только от мозга к компьютеру и обратно, но и от мозга к мозгу через компьютер — то самое, что поставил своей целью Илон Маск. Еще одно создание лаборатории Николеллиса, о котором мы писали, — брейнет (Brainet), несколько мозгов, объединенных в сеть. В мозг животного электроды вживляют, в случае с человеком используют транскраниальную регистрацию и стимуляцию. Самое сложное — правильно распознать сигнал, связанный с определенным ощущением или намерением, и передать его без искажений.

Что может брейнет? Например, передавать осязательную и моторную информацию от одной крысы к другой, так что одно животное выполняет задание, а другое учится вместе с ним. Интересно, что в этом эксперименте первая и вторая крыса находились в разных странах — одна в Бразилии, в Международном институте нейронаук города Натал, другая — в Университете Дьюка в США. В другом варианте эксперимента спящей крысой управляет человек, заставляя ее шевелить хвостом. Возможно, когда-нибудь мы сможем таким образом управлять и нашими домашними питомцами — наша собака никогда не будет непослушной. Тут опять-таки можно придумать много фантастических применений, утопических и антиутопических. Однако в лаборатории Николеллиса думают в первую очередь о командной работе — совместном решении сложных или объемных задач, а также о медицинских приложениях. Например, передавать сигналы мозга парализованного больного терапевту, чтобы он, «почувствовав» их напрямую, лучше понял природу болезни. Или

наоборот: сигналы от мозга здорового человека стимулируют мозг больного и помогают ему преодолеть недуг.

Лаборатория Николеллиса — один из лидеров, но опыты по «передаче мыслей на расстоянии» проводят и в других научных центрах. Например, исследователи из Вашингтонского университета в Сиэтле во главе с Раджешом Рао снимали ЭЭГ у человека, который наблюдал за компьютерной игрой-стрелялкой, но сам не мог выполнять игровые задания — только думать о движении рукой, ни джойстика, ни мыши ему не давали. А человек-приемник в подключенной к Интернету шапочке с электромагнитами для транскраниальной стимуляции области мозга, ответственной за движение руки, сидел в темной комнате без компьютера, положив руку на тачпад. Комнаты находились в разных зданиях на расстоянии в полкилометра, в опытах участвовали три пары. В зависимости от способностей передатчика четко формулировать свои мысли приемник угадывал от 25 до 83% команд.

В 2014 году команда исследователей из Испании и Франции аналогичным образом передавала слова *hola* («привет» по-испански) и *ciao* («здравствуй» и «до свидания» по-итальянски). Точнее, отправитель воображал движения рукой или ногой, результаты его ЭЭГ превращались в двоичный код, адресат в 5000 км от него благодаря транскраниальной магнитной стимуляции видел фосфены — световые вспышки в закрытых глазах: есть вспышка — 1, нет — 0. Передача велась со скоростью примерно 2 бита в минуту, ошибки составили 15%.

Очевидно, что от этих результатов до мгновенной ментальной коммуникации — как до Марса. Но если появится абсолютно безопасная, а может (мечтать так мечтать), даже полезная технология вживления пластичных электродов в мозг, и картирование слов в коре полушарий будет доведено до совершенства, и технологии передачи информации сделают еще несколько шагов вперед — телепатическая связь, в которой нам отказала природа, будет реализована техническими средствами. Понравится ли это нам, другой вопрос.

Данная статья не претендует на полноту обзора, многие интересные работы по необходимости остались за кадром. Цель ее в другом: показать, что стену между естественным и искусственным интеллектом (а заодно между материальным и идеальным) уже сегодня штурмует армия, пусть не многомиллионная, но высокопрофессиональная. Рано или поздно в этой стене появятся бреши, может быть, и благодаря Илону Маску. Философы и биоэтики, осознав это, начали задавать вопросы. Что станет с понятием индивидуальности, если воспоминаниями можно будет обмениваться, как файлами, — и кто в этом мире сможет верить собственным воспоминаниям? Как быть с гражданской или уголовной ответственностью за поступок, решение о котором принял брейнет? О том, что произойдет с приватностью, личной информацией, и подумать страшно. Утешают две вещи: времени у нас еще много, и первыми, скорее всего, придут хорошие перемены — помощь слепым, парализованным и потерявшим память. Не потому, что человечество такое доброе, а потому, что большие деньги за жизненно важное мы платим охотнее, чем за игрушки.





Художник Н. Рысс

# Диагност, которого носят с собой

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

*Судя по студентам и аспирантам, у которых я имею счастье вести занятия, один из самых желанных подарков сейчас — фитнес-трекер (см. «Химию и жизнь», 2015, 7). Эти маленькие и недорогие браслеты могут посчитать количество пройденных человеком шагов или километров, расход калорий, определить частоту пульса, давление и даже выяснить, насколько хорошо высыпается хозяин. Они, без сомнения, удобнее датчиков с метровыми проводами, которые мы видели в документальном кино десяти-двадцатилетней давности, — с их помощью следили за здоровьем космонавтов или спортсменов. При этом информация, которую выдают фитнес-трекеры, достаточно репрезентативна.*

Недалек тот час, когда появятся новые устройства, следящие за состоянием организма, еще более компактные, удобные и не требующие регулярной подзарядки. Собственно, они уже есть, и недавно мы рассказывали читателям о том, как они передают информацию с поверхности тела или даже из глубины его (см. «Химию и жизнь», 2016, 11). А теперь поговорим о материалах, из которых сделаны эти устройства — от гибкой биосовместимой оболочки и микрокапиллярных систем до биохимических сенсоров и гибкой электроники, оперативно передающей результаты анализа на смартфон или планшет.

## Главное — гибкость!

Над созданием гибких и портативных сенсоров, отслеживающих состояние носителя, работает специалист по химии материалов Джон Роджерс (Северо-Западный университет США). Он выбрал эту тему, желая прежде всего облегчить состояние



пациентов в палатах интенсивной терапии. В сложных случаях, когда пациент требует постоянного наблюдения, на его теле закрепляют огромное количество датчиков и проводов, что создает огромные трудности и для него, и для медицинского персонала. Простая задача, которую мы многократно и успешно решаем каждую ночь, — перевернуться с боку на бок, — становится практически невыполнимой, врачам при перемещении больного в другую палату (или экстренном медицинском вмешательстве) нужно сперва удалить с его тела датчики. Между тем промедление может стоить человеку жизни. Главной же целью Роджерса было создание гибких и удобных сенсоров для самых маленьких пациентов, оказавшихся в неонатальных центрах.

Роджерс и его коллеги начали работать над гибкими беспроводными сенсорами, способными отслеживать электрическую активность мозга, сердца и мышц, в 2003 году. Одной из ключевых задач стал подбор или дизайн материалов, свойства которых были бы максимально близки к свойствам кожи, — это необходимо и для удобства человека, и для более точного измерения параметров.

Начав сотрудничать с чикагским центром реабилитации пациентов, перенесших инсульт, химики поняли, что для получения полной картины о мышечной активности пациентов, проходящих реабилитацию, а также для мониторинга их подвижности нужны всего три датчика, прикрепленных к различным участкам тела. Каждый из них должен содержать электромиографические сенсоры, измеряющие электрические сигналы мышечной ткани, и трехосевой акселерометр, детектирующий движение тела. Проблема была в другом: для точного измерения требуется очень плотный контакт с кожей, а корпус устройства должен быть гибким, способным менять форму при движениях больного, то есть химики должны были сделать электронные устройства более «биологичными». Но они понимали, что «классические» материалы для электроники не удастся приблизить к биологии ни на йоту — нужно было подобрать необычный полимер.

Есть много полимерных материалов, которые могут быть мягкими, гибкими и даже существовать в форме ультратонких пленок. Однако далеко не каждый может стать платформой для размещения мобильного датчика — некоторые типы полимеров будут заметно влиять на его работу. Наиболее подходящими оказались полимерные материалы на основе поли(диметилсилоксана), главная цепь которых построена из чередующихся атомов кремния и кислорода. Они прочные, не рвутся, а главное, гораздо эластичнее карбоцепных,



поскольку межатомное расстояние Si-O больше, чем C-C. Эластичность полисилоксана можно еще повысить, введя в его структуру дополнительные сшивки или дополнив состав эластомерами или другими добавками. Еще одно преимущество — поли(диметилсилоксан) газопроницаем, а значит, будет более комфортным для пациента.

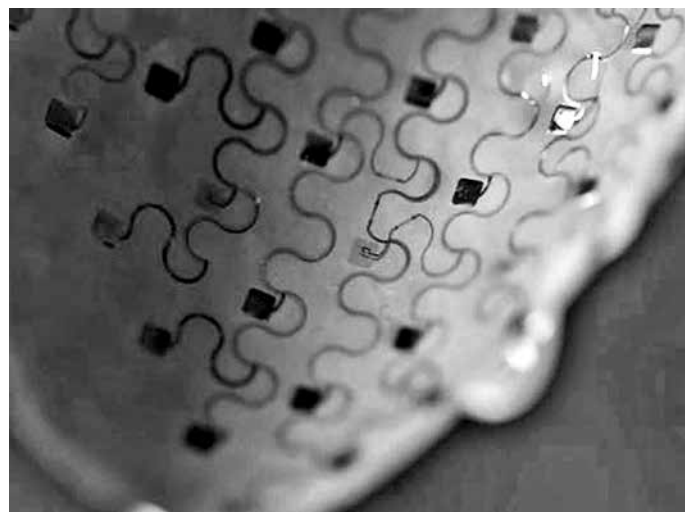
Поверх полимерной основы размещают гибкие электронные схемы и систему сенсоров — они должны изменять форму вместе с полимерной подложкой. Один из подходов, с помощью которого исследователи добились такой гибкости от электрических компонентов системы, — создание из обычных для электроники материалов, таких, как кремний или арсенид галлия, тонких выходящих нанолент, растягивающихся подобно двумерной версии спиралевидного телефонного провода, которыми когда-то, лет 30 назад, трубка соединялась с телефонным аппаратом (рис. 1; «Science», 2011, 333, 6044, 838—843, doi: 10.1126/science.1206157). Миниатюрные электроды, введенные в электрическую схему, могут записывать электрическую активность тела, и эта информация передается без проводов на приемник с помощью миниатюрного радиопередатчика или чипа Bluetooth. Существуют и другие опробованные к настоящему времени технологии — тянущаяся ультратонкая «фольга» из металла или электропроводящего полимера либо полоски графена, легированные небольшим количеством металла.

Так появились — и уже нашли применение в клинической практике — гибкие датчики, которые могут отслеживать давление, пульс, температуру тела и его электрический потенциал. Эти параметры, конечно, важны, и по их значениям можно немало сказать о состоянии человека, однако есть и другой «язык тела», который хотелось бы научиться понимать с легкостью, — биохимические показатели.

## Семь потов для сенсора

Одним из первых, кто смог непосредственно отследить протекающие в организме биохимические процессы, стал Такао Сомейя из Токийского университета. Он разработал сенсоры большой площади, которые можно изготавливать из печатаемых электропроводящих органических материалов. Изначальная идея была в том, чтобы получить информацию о человеке, анализируя онлайн его биологические жидкости. Звучит просто, однако на самом деле задача оказалась нетривиальной. Ведь главными свойствами сенсора должны быть надежность и воспроизводимость результатов, а против этого работает то, что многие вещества в составе биологических жидкостей действуют на сенсоры разрушительно.

Сомейя с коллегами создал сенсор из светоизлучающих диодов и органических фотодетекторов микрометровых размеров, способный определять содержание кислорода в крови («Nature Nanotechnology», 2016, 11, 472—478, doi: 10.1038/nnano.2015.324). Принцип работы сенсора прост: диод светит на кожу, свет отражается, а по интенсивности отражения при определенной длине волны можно установить,



Джон Роджерс

1  
Датчики, закрепленные на коже. Они анализируют пот человека и извлекают важную информацию о его здоровье



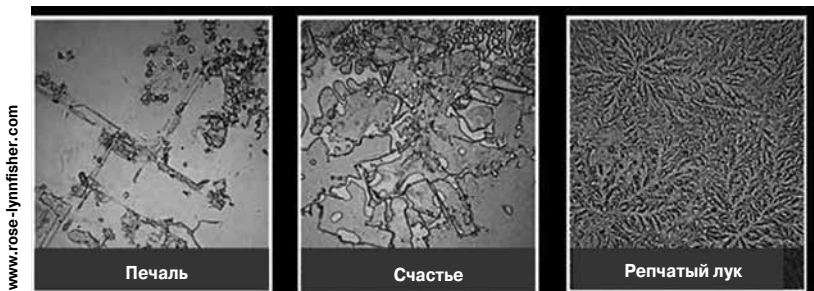
2

*Применение материалов, имитирующих кожу человека, помогло сделать портативные датчики удобнее, а измерения — более точными*

какая часть молекул гемоглобина в крови оксигенирована (рис. 2). Датчик измерял оптические характеристики, но это уже была информация о химии организма!

Кислород в крови — это уже хорошо, но как же биохимические показатели? Какую жидкость организма может анализировать дистанционный датчик в режиме реального времени? Кровь отпала почти сразу — взятие пробы для анализа не должно быть инвазивным. Слюну отбирать проще, чем кровь, но она — слишком грязный объект для анализа, в ней много посторонних компонентов, зависящих от того, что и когда человек прожевал. Слезы многое могут сказать и о физическом, и даже об эмоциональном состоянии человека (рис. 3), однако закреплять у слезных желез датчики, содержащие пусть даже маленькие электронные детали и хемосенсоры, не только неэстетично, но и опасно. Методом исключения осталась одна подходящая биологическая жидкость — пот. Кстати, и датчики для его анализа можно закреплять на теле под одеждой, не создавая особых неудобств.

Образец пота для экспресс-анализа отобрать сравнительно просто. Сам же пот — сложная по составу жидкость, содержащая множество биомаркеров, концентрации и соотношения которых варьируют в зависимости от состояния потеющего. Маркеры — это самые различные соединения: ионы, низкомолекулярные и высокомолекулярные соединения (глюкоза, молочная кислота и ее анионы, ионы натрия, калия, хлорид-ионы, гормоны белкового и небелкового строения). Известно, что концентрации практически всех веществ, содержащихся в поте, коррелируют с их же концентрациями в крови.



www.rose-lynnfisher.com

3

*Фотограф из США Роуз-Линн Фишер — автор проекта «Топография слез». Она подсушивала слезы и фотографировала их, используя 100-кратный оптический микроскоп. Слезы, вызванные разными причинами, имеют различный химический состав и, вполне естественно, образуют кристаллы различной формы*

В числе пионеров этой области был ученик Роджерса, Дэ Хён Ким, к тому времени занимавшийся собственными исследованиями в Национальном университете Сеула. Он с коллегами создал прототип гибкого датчика, позволявшего в режиме реального времени контролировать физиологическое состояние больного сахарным диабетом («Nature Nanotechnology», 2016, 11, 566—572, doi: 10.1038/nano.2016.38). Это устройство не только анализировало пот и по результатам определяло концентрацию глюкозы в крови, но, если она повышалась до критического уровня, немедленно подавало сахаропонижающий препарат метформин в организм. Правда, пока не в человеческий: «умный шприц», самостоятельно принимающий решение о времени инъекции, испытывали только на лабораторных мышах, больных диабетом.

Устройство Кима нельзя назвать очень простым. Пот по системе из микрокапилляров попадает в камеру сенсора, содержащую фермент глюкооксидазу. Как ясно из названия, этот фермент окисляет глюкозу, причем образуется пероксид водорода. Легированный золотом электрод из графена реагирует на изменение силы тока, сопутствующее изменению концентрации  $H_2O_2$ . Поскольку температура и pH пота могут повлиять на точность определения, в датчик встроены также сенсоры, позволяющие измерять эти параметры и учитывать при расчете содержания глюкозы.

В другой части устройства расположена система ввода лекарства. Метформинном загружена система микроигл, которые внедрены в тридекановую кислоту, твердую при температуре тела, но плавящуюся при 41—42°C. Когда концентрация глюкозы становится опасной, электрод из графена и золота нагревается, плавит тридекановую кислоту и микроигла перфорирует кожу, вводя лекарство в организм. На мышах-диабетиках такое устройство отлично работало, содержание глюкозы в крови снижалось. Теперь исследователи планируют увеличить точность определения сахара и дозировки вводимого лекарства.

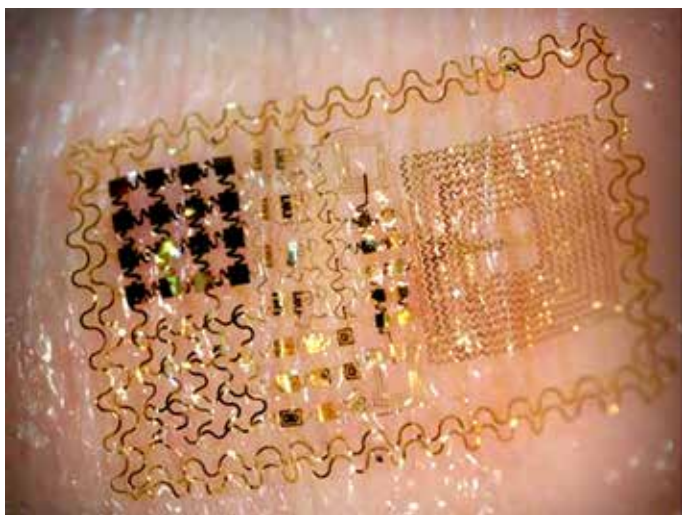
## Почему футболка сухая и не пахнет?

При анализе пота есть одна проблема. Мы легко потеем, догоняя автобус, после тренировки в спортзале или просто одевшись не по погоде, но в нормальных условиях обычный человек не склонен к интенсивному потоотделению.

Для создания датчика, собирающего пот у человека в любом состоянии, пришлось немного адаптировать старый медицинский подход. Несколько десятилетий назад, чтобы заставить вспотеть небольшой участок кожи, на него наносили вазелин, — кожа нагревалась, и с этого участка собирали пот, обильный и незагрязненный. Но если поместить сенсор

прямо на вазелин или другой жирный материал, он перестанет работать. Поэтому слой вазелина накрыли тонким листом поливинилового спирта, через него пот попадал в датчик для анализа («Lab on a Chip», 2016, 16, 4415—4423, doi: 10.1039/c6lc01013j). Такой подход позволяет исключить влияние загрязнений на коже и снизить количество пота, необходимое для анализа, — сенсору теперь требуются не микро-, а нанолитры.

Сегодня эта технология пока еще недоступна для всех желающих. Она только начинает развиваться, но ее успешно применяют для отслеживания эффективности тренировки спортсменов (предоставить микро- и даже миллилитры пота для них не проблема). Пот членов национальных сборных, текущий с них на тренировках, анализировали еще до миниатюризации аналитических устройств, но это было не очень удобно — пока соберешь пот, пока отправишь в лабораторию и дождешься результата,



Джон Роджерс

4  
Компоненты микросенсоров должны быть достаточно тонкими для того, чтобы они могли свободно сгибаться, повторяя движения носителя

возможность внести коррективы в уже идущую тренировку будет упущена. В начале 2016 года Али Джави (Университет Калифорнии, Беркли) решил эту проблему, сообщив об «умном браслете», который может измерять содержание различных параметров в выделениях пота непосредственно во время упражнения («Nature», 2016, 529, 7587, 509—514, doi: 10.1038/nature16521). Система гибких сенсоров, содержащая микроэлектроды, селективные к определенным ионам, и размещенная в эластичном браслете, определяет концентрации ионов калия и натрия, а внедренные в тот же браслет сенсоры на основе ферментов следят за концентрацией глюкозы и молочной кислоты. Гибкая электронная схема обрабатывает результаты анализа и пересылает их на смартфон или планшет через Bluetooth.

На аналогичных принципах основана и система, разработанная для спортсменов Роджерсом. В ней результаты анализа получить еще проще: пот попадает в микрокапилляры с красителями, которые меняют цвет в зависимости от изменения pH, содержания глюкозы, молочной кислоты и хлорид-ионов («Science Translational Medicine», 2016, 8, 366, doi: 10.1126/scitranslmed.aaf2593). Изменения цвета можно проанализировать как с помощью камеры смартфона, так и невооруженным глазом. По мнению Роджерса, датчик физического состояния, анализирующий пот, должен быть настолько дешевым, чтобы его было не жалко выкинуть после того, как его владелец достаточно пропотел и получил о себе всю необходимую биохимическую информацию (рис. 4).

## Сенсор клеим или вводим внутривенно?

Казалось, что к сосудам прилепить сенсор невозможно, но кровь настолько интересная и перспективная для анализа биологическая жидкость, что ученые решили и эту задачу. Такую сенсорную платформу разработала группа Кевина Плакско из Университета Калифорнии в Санта-Барбаре («Journal of the American Chemical Society», 2016, 138, 49, 15809—5812, doi: 10.1021/jacs.6b08671). Устройство диаметром 100 микрометров можно имплантировать на внутреннюю стенку вены с помощью иглы. Во время испытаний такой внутривенный датчик успешно определял концентрации лекарственных препаратов и их метаболитов у крыс, тем временем резвившихся в своих клетках. Прибор, посылающий на монитор данные о составе крови каждые три секунды, — большой шаг вперед по сравнению с отбором крови из вены каждые десять минут и анализом в лаборатории.



## ТЕХНОЛОГИИ

В клинической практике новый сенсор смог бы значительно упростить подбор дозировки лекарства. Это очень важно, когда пациент тяжелый и от правильной дозы зависит все, но было бы полезно практически всем, и в первую очередь маленьким детям, для которых дозы лекарств зачастую сильно усреднены. Рекомендации вида «детям до 12 лет по одной таблетке, старше — по две...» не учитывают особенностей метаболизма человека, вес и многое другое. Внутривенный датчик сможет измерять фармакокинетику любого лекарства индивидуально для каждого пациента, а пациент с помощью приложения на смартфоне, получающего информацию с этого сенсора, вовремя узнает, какой препарат и в какой дозировке необходимо принять.

В сенсоре, разработанном Плакско, используются аптамеры — короткие одноцепочечные олигонуклеотиды, способные с высоким сродством и избирательностью связываться с молекулами различной природы. С какими именно молекулами — зависит от нуклеотидной последовательности аптамеров, а значит, их применение можно рассматривать как обобщенный подход. Возможность настроить аптамер на распознавание строго определенной молекулы позволяет рационализировать подход к созданию мини-сенсоров. Этот способ может оказаться куда эффективнее, чем более привычный, с помощью избирательно реагирующих на определенное вещество ферментов: получить синтетический аптамер проще, чем выделять фермент из живой ткани. К тому же, если речь идет об определении концентрации фармакологически активных препаратов в крови или в выделениях пота, фермента, специфичного к определенному лекарственному средству (особенно синтетическому или полусинтетическому), может и не существовать в природе.

Итак, миниатюрные устройства, следящие за биохимическими показателями, уже перестали быть фантастикой, их работающие прототипы проходят испытания в лабораториях. Возможно, в ближайшем будущем приклеенные на кожу или введенные в кровеносные сосуды мини-устройства будут носить не только лабораторные крысы и кролики, но и человек. А спустя еще какое-то время районные поликлиники начнут рассылать объявления: «Просьба родившимся в таком-то году подойти в процедурное отделение для проверки и реактивации вашей портативной биохимической лаборатории».





# Антиводород: факты и фактики

А. Мотыляев

## Сколько на Земле антиводорода?

Нисколько. Из антивещества на нашей планете есть лишь одна стабильная античастица (если не считать нейтрино) — антиэлектрон, то есть позитрон. Он рождается при распаде ядер, в которых слишком много протонов; испустив позитрон, лишний протон становится нейтроном, и ядро приобретает стабильность. Долетают к нам и позитроны космических лучей — подсчитывая их число, астрофизики пытаются понять, существуют или нет во Вселенной области со скоплениями антиматерии. Решение этого вопроса очень важно для фундаментальной физики, поскольку в Солнечной системе антивещества нет и быть не может — в противном случае оно бы постоянно аннигилировало с веществом. Если же антивещества в обозримом количестве нет и во всей Вселенной, тогда нарушается принцип симметрии, ведь оба вида материи равноправны и в Большом взрыве должны бы родиться в одинаковом количестве. Видимое отсутствие антивещества — одна из величайших загадок нашего мира. Впрочем, антивещество можно получить искусственно, создав антипротон и соединив его с позитроном в атом антиводорода.

**Кто первым получил антиводород?** Это сделали в ЦЕРНе в 1996 году на установке LEAR (от low energy antiproton ring, то есть кольцо с антипротонами низкой энергии), но то были считанные атомы, полученные в весьма экзотических условиях. К надежному производству с гарантированным выходом антиводорода в ЦЕРНе приступили в 2002 году в эксперименте ATHENA.

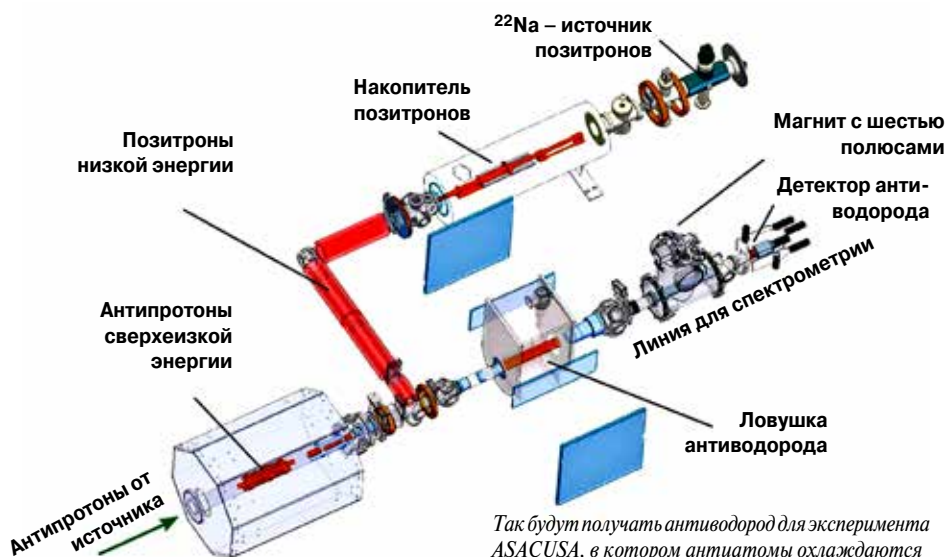
**Как синтезируют компоненты для изготовления антиводорода?** Антипротоны берутся из столкновения разогнанных до высокой скорости протонов с массивной мишенью. Теряя энергию при ударе, протон порождает новые частицы, среди которых есть и протоны, и антипротоны. Чем больше энергия исходного протона, тем больше будет и дочерних частиц: так работает эйнштейновский принцип перехода массы в энергию и энергии в массу. Ядра антиводорода научились

получать давно, как только появились мощные ускорители, — первые антипротоны сделали в Калифорнийском университете на знаменитом Беватроне в 1955 году. В 1965-м в Брукхейвенской лаборатории синтезировали ядра антидейтерия — антидейтроны, то есть сумели соединить антипротон с антинейтроном. Антитритоны появились в 1970 году стараниями советских физиков из Протвино. Источником позитронов служит распад ядер натрия-22. А вот окружить антиядро позитронной оболочкой долго не удавалось.

**В чем главная проблема получения антиводорода?** В высокой энергии исходных компонентов. Для того чтобы антипротон соединился с позитроном, они должны хорошо сблизиться. Очевидно, что «горячим» частицам это сделать гораздо труднее, чем «холодным», а рождаются обе частицы именно «горячими», и чем больше рождается антипротонов, тем они «горячее». Поэтому главная забота — их охладить. И прежде всего надо охладить антипротоны, ведь они при рождении обладают колоссальной энергией — 2,7 ГэВ. Это делают с помощью электромагнитных



полей в специальном ускорительном кольце — протонном деселераторе (видимо, это слово — антоним акселератора-ускорителя). В настоящее время за 100 секунд энергию снижают до примерно 5 МэВ с малыми потерями: на выходе из деселератора после каждого удара протонного пучка по мишени получается партия из десятков миллионов антипротонов. Однако и эта энергия очень велика, поэтому далее следует каскад охлаждения. Сначала поток антипротонов ударяется о мембрану из фольги, за которой стоит электромагнитная ловушка. В фольге большая часть антипротонов теряется, но часть, избежав прямого столкновения с веществом, теряет свою энергию, и на выходе в ловушке оказывается несколько десятков тысяч антипротонов с энергией 5 кэВ, а более горячие ее проходят насквозь. Сейчас в ЦЕРНе смонтировали альтернативную установку, в которой протоны сперва охлаждают с помощью микроволнового излучения до 100 кэВ, а потом уже бьют получившимся холодным пучком по тонкой пленке ПЭТФ. Размер у этой установки гораздо больше, но и выход



Так будут получать антиводород для эксперимента ASACUSA, в котором антиатомы охлаждаются во время полета внутри ловушки, после чего предполагается проведение точных спектроскопических измерений. «Nature Communications», 2014, 5, 3089; doi:10.1038/ncomms4089

охлажденных антипротонов в 5—50 раз выше. Первые атомы антиводорода с ее помощью в эксперименте ASACUSA получены в 2014 году.

На этом путешествие антипротонов по каскаду не окончено: они попадают в плотное облако электронов. Поскольку это разные типы элементарных частиц (антипротоны — адроны, а электроны — лептоны), они не могут аннигилировать, но при соударении электроны, в силу своей многочисленности, быстро отбирают энергию и излучают ее вовне. Всего за несколько секунд антипротоны приобретают ту температуру, что была у электронов, затем последних из ловушки выталкивают. Повторяя эту процедуру со все более холодной электронной плазмой, температуру антипротонов снижают примерно до 100 К. В принципе этот метод позволяет охлаждать и далее, однако на практике это не удается — видимо, начинает сказываться нагрев от стенок аппаратуры. Для синтеза антиводорода, как оказалось, этого уже достаточно, но вот для того, чтобы эти антиатомы поймать и удержать, еще нет.

Холодные антипротоны попадают в камеру смешения, которая окружена электромагнитной ловушкой нейтральных антиатомов. А с другой стороны туда вползает облако холодных позитронов. Их охлаждают в одну стадию

(благо начальная энергия позитронов гораздо меньше, чем у антипротонов) с помощью разреженного газа — азота: при столкновении с его тяжелой молекулой позитрон отдает много своей энергии, и за несколько секунд облако охлаждается до 9 эВ. Накопив несколько сотен миллионов позитронов в ловушке, их отправляют в смешительную камеру. При столкновениях с позитронами антипротоны еще более охлаждаются, и вскоре начинается образование антиатомов. Например, слияние облаков из 90 тыс антипротонов и 1,6 млн позитронов дает 25 тыс антиатомов.

#### Как еще можно делать антиводород?

Столкнуть антипротоны с атомами позитрония. Позитроний — искусственное образование, экзотический атом, состоящий из позитрона и электрона. Его можно возбудить так, чтобы расстояние между обеими частицами стало большим — физики это называют «получить ридберговский атом», — и тогда при столкновении с антипротонами антиводород образуется более интенсивно. Недостаток этого метода — трудности в создании большого числа позитрониев, которые и живут-то считанные мгновения. На практике позитроны накапливают в холодной губке из диоксида кремния в непосредственной близости от облака антипротонов. Этот метод предполагают использовать в дальнейших экспериментах.

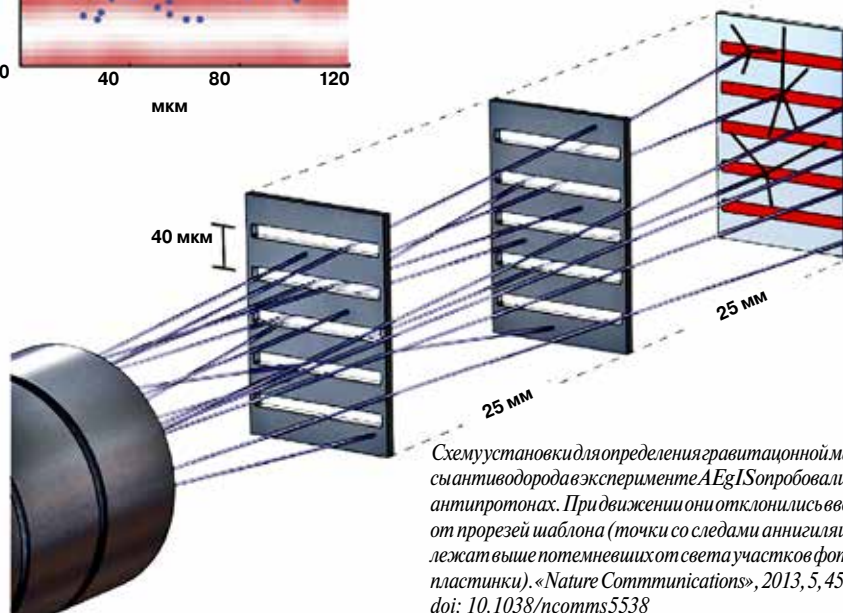
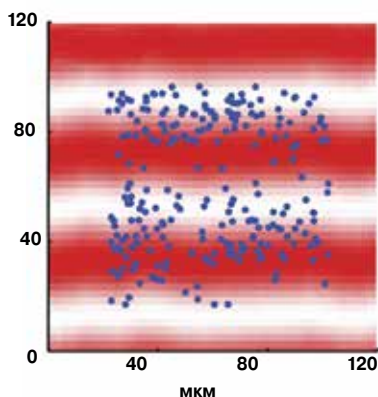
**Что происходит с антиатомами после образования?** В первых опытах они просто улетали и аннигилировали, давая характерные следы на детекторе. Дело в том, что ловить нейтральные атомы гораздо труднее, чем заряженные частицы. Единственное, что можно использовать, — наличие у них доволь-



ЭЛЕМЕНТ №...

но слабого магнитного момента. Для этого нужно строить ловушку из мощных магнитов, причем размещать ее внутри электромагнитной ловушки для антипротонов и позитронов. Поля и оборудование всех этих ловушек могут мешать друг другу, так что задача совсем не тривиальна. После долгих трудов у физиков из ЦЕРНа получилась ловушка, которая может удержать очень холодные атомы — с температурой не более 0,5 К. Поэтому в 2002 году антиводороды с температурой около 300 К поймать не удалось. Зато к 2011 году — за счет снижения температуры позитронов — относительно холодные антиводороды стали получаться и задерживаться в ловушке. В эпохальном эксперименте конца 2010-го исследователям из сообщества ALPHA («Nature», 2010, 468, 673—676; doi:10.1038/nature09610) удалось поймать 38 атомов за 335 попыток. Это было расценено как величайший успех, подтвердивший справедливость заложенных в эксперименте идей и обеспечивший возможность дальнейшего продвижения к изучению свойств антиводорода. Действительно, уже в апреле 2011 года считанные антиводороды жили в ловушке многие минуты — до 1000 секунд. Этого вполне достаточно для измерений, которые проводят, подсчитывая следы аннигиляции антиатомов, выпущенных из ловушки после какой-то манипуляции.

**Зачем нужен антиводород?** В принципе, если сделать много антивещества, оно послужит идеальным топливом — более полного превращения массы в энергию, чем аннигиляция, придумать нельзя, ближе всего к ней по эффективности разве что энергия излучения Хокинга при испарении черной дыры. Но поскольку антивещество получают считаными атомами, единственное, на что оно годится, — постановка тонких экспериментов. Их цель — попытаться найти хоть какие-то различия в устройстве вещества и антивещества. Первый успех был достигнут в январе 2017 года («Nature», 2017, 541, 506—512; doi: 10.1038/nature21040). К этому времени оборудование эксперимента ALPHA было модернизировано: в ловушке удавалось смешивать антиатомы, полу-

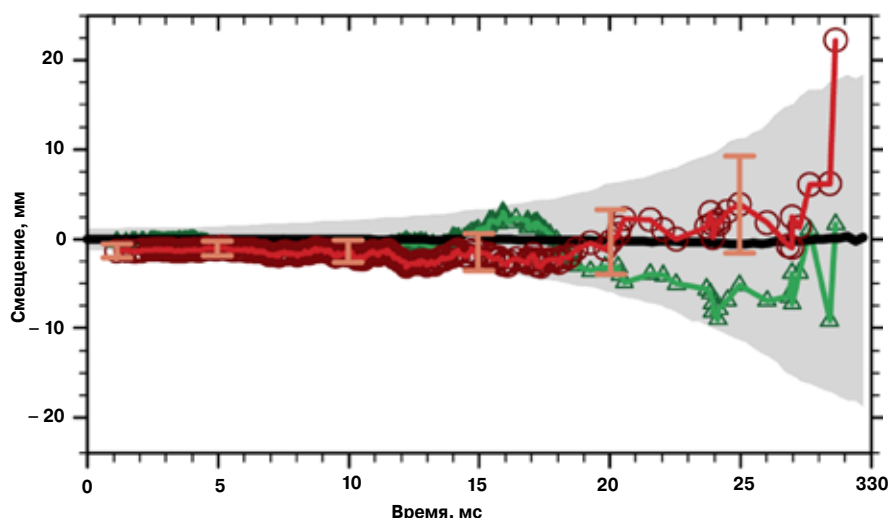


Схему установки для определения гравитационной массы антиводорода в эксперименте AEgIS опробовали на антипротонах. При движении они отклонились вверх от прорезей шаблона (точки со следами аннигиляции лежат выше потемневших от света участков фотопластинок). «Nature Communications», 2013, 5, 4538; doi: 10.1038/ncomms5538



ченные в нескольких попытках, так что в среднем там оказывалось 14 атомов на попытку по сравнению с прежними 1,2. С этими атомами и поставили эксперимент по изучению резонансной линии поглощения электромагнитного излучения. Для водорода она хорошо известна, известны и последствия поглощения кванта энергии: атом может ионизироваться и покинуть ловушку либо испустить фотон и остаться в ней. Антиатомы возбуждали излучением точно такой же длины, какая нужна водороду, или с отклонением от нее. Результат оказался ожидаемым — с вероятностью 200 шансов на триллион резонансные частоты света для атома и антиатома водорода в магнитном поле совпадают. Эти данные еще будут проверять в других экспериментах, но значительного различия в спектрах вряд ли кто-то ожидает. Принципиальное различие между веществом и антивеществом может быть обнаружено в другом эксперименте — гравитационном.

**Какие различия в гравитационном поведении антиводорода ожидают обнаружить физики?** По абсолютному значению массы водорода и антиводорода должны быть равны — этого требует принцип эквивалентности гравитационной и инерционной масс. Однако главная интрига состоит в том, что он не запрещает антивеществу обладать свойством антигравитации. Это предположение ниоткуда не следует, но оно и не противоречит современной физике. А если оно верно, то в поле Земли антиатом должен двигаться не вниз, а вверх. И заметить это можно только на антиатоме, потому что заряженные античастицы слишком сильно взаимодействуют с электрическими полями, чтобы гравитационный эффект был наблюдаем. В 2013 году то же сообщество ALPHA поставило первый эксперимент — атомы антиводорода выпускали из ловушки и по следам аннигиляции смотрели, куда они полетят. Всего были изучены пути 434 антиатомов, причем исследователи проверяли не знак массы, а принцип эквивалентности в целом: сравнивали результаты эксперимента с расчетом



*В эксперименте ALPHA, выпущенные из ловушки 434 антиатома аннигилировали на стенках детектора. Чем дольше они летели, тем сильнее должны были отклоняться под действием гравитации вниз или под действием антигравитации вверх. Как видно, все траектории, кроме одной, лежат в области, показанной серым, в которой нет возможности различить гравитацию и антигравитацию. Окружностями отмечены координаты точек аннигиляции по вертикальной оси, треугольниками — по поперечной оси. «Nature Communications», 2013, 4, 1785; doi: 10.1038/ncomms2787*

для отношения гравитационной массы к инерционной в интервале от -100 до 100. Было установлено, что это отношение лежит в пределах от -65 до +75, если принимать во внимание только данные статистической обработки. Результат не выдающийся, но он дает ориентир (сильного отклонения от принципа эквивалентности для антивещества ожидать не стоит) и направление действия — охлаждать антигаз дальше и увеличивать длину пробега антиатомов после того, как их выпустили из ловушки. Чтобы узнать подробности, готовят еще два эксперимента.

В первом из них, AEGIS, который должен был стартовать еще в 2015 году, но так до сих пор и не начался из-за трудностей с финансированием (сообщество даже собирает добровольные пожертвования), поиск антигравитации будет идти напрямую. Идея этого эксперимента такова. Представим поток частиц, которые в общем-то летят не параллельно. Он проходит через две ширмы с горизонтальными щелями, и те вырезают узкие полоски из этого потока, оставив только частицы, летящие примерно параллельно. Попадая в фотопластинку детектора, они оставят следы в виде полос. Если на частицу действует вертикальная сила, она придаст ей ускорение, и полоса сместится. Эту идею опробовали на холодных антипротонах, летящих в магнитном поле, которое было в десять раз сильнее притяжения Земли, и получили вполне различимое смещение. Теперь схему

доработают — масштаб установки нужно увеличить в десять раз — и опробуют на антиводородах. Их как раз получают в реакции с ридберговскими позитрониями: тогда и антиводород выйдет ридберговским, то есть будет обладать большим дипольным моментом, и его движением удастся управлять электрическими полями.

В другом эксперименте, GBAR, также планируют получать антиводород в реакции с позитронием, но облако последних должно быть таким плотным, чтобы к антиводороду прилип еще один позитрон, образовав положительно заряженный ион. Распадом натрия получить такую плотность позитронов невозможно, а кроме того, нужен и более мощный источник холодных антипротонов. Поэтому научный коллектив ждет запуска в ЦЕРНе нового деселератора антипротонов сверхнизкой энергии — ELENA (его должны запустить в 2017 году, а снабжать он будет сразу четыре эксперимента с антивеществом). Но даже в этом случае ожидается образование лишь трех ионов антиводорода за одну попытку. Эти ионы затем охлаждают облаком сверххолодных ионов бериллия до температуры в тысячные доли градуса, и тогда станет возможным тонкий эксперимент по определению ускорения свободного падения антиводорода: лазерным импульсом от иона отделить лишний позитрон, и ставший нейтральным атом начнет свое движение в вертикальной вакуумной камере под действием гравитации. Ускорение будут рассчитывать по времени, прошедшему между вспышкой лазера и аннигиляцией антиводорода. И если вдруг окажется, что антиатом летит не вниз, а вверх, в физике свершится настоящая революция, которая заставит пересмотреть многие концепции.





**Что сказал антипротон**

*По абсолютному значению соотношения масс антипротона/электрона и протон/электрон не разойдутся.*

«Science», 2016, 354, 6312, 610—614; doi: 10.1126/science.aaf6702

**П**роблема отсутствия антивещества в видимой Вселенной породила идею, что причина — в нарушении симметрии, в каком-то различии свойств антивещества и вещества. Физики пытаются это различие нащупать, но пока что без успеха. Очередной тонкий опыт, поставленный в ЦЕРНе исследователями из Японии, Италии, Венгрии и Германии во главе с Хори Масаки из Института квантовой оптики Общества Макса Планка выглядел так. В атоме гелия один электрон заменили антипротоном — у этой античастицы тот же заряд, что и у электрона. Такие атомы оказались достаточно стабильными, чтобы их накопить в большом количестве — миллиарды штук, а также охладить с помощью криогенного гелия до 1,5 К. На столь холодных атомах можно очень точно измерить спектральные характеристики, что и было сделано. Сравнение результатов с расчетными показало: с точностью до одной десятиллиардной отношение массы антипротона к массе электрона такое же, как у пары протон/электрон. А значит, не стоит надеяться, что у частиц и античастиц несколько различаются массы. Правда, в этом эксперименте измеряли только инерционную массу, о гравитационной на его основании ничего сказать нельзя.

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

**Плазмоны и водородная энергетика**

*Ниобат стронция удивил исследователей способностью разлагать воду на свету.*

Агентство «AlphaGalileo», 15 мая 2017 года.

**Н**иобат стронция считается не самым хорошим полупроводником, скорее металлом, поскольку у него большая плотность свободных электронов; обычно его используют как основу для сегнетоэлектриков. Но вот исследователи из Национального университета Сингапура во главе с Андриво Русуди при помощи американских коллег решили присмотреться к нему повнимательнее и выяснили два интересных момента.

Во-первых, они отгадали давнюю загадку: отчего, несмотря на высокую металличность, ниобат стронция отлично пропускает свет. Обычно свободные электроны свет поглощают, но далее его не передают, а нагреваются, отчего металлы и непрозрачны. В диэлектриках, у которых свободных электронов нет, свет поглощается электронами атомов и затем переизлучается, достигая таким образом другого конца прозрачного объекта. Так вот, в ниобате стронция падающие фотоны возбуждают много плазмонов (так называются квазичастицы — плазменные колебания жидкости из свободных электронов), они-то и передают свет с одной стороны пленки ниобата на другую. Более того, исследователям удалось обнаружить у ниобата доселе невиданные плазмоны. Во-вторых, именно такими плазмонами можно объяснить способность этого вещества разлагать воду на составляющие под действием солнечного света. А это уже важная находка на пути к эффективным катализаторам для фотополучения водорода из воды — мечте многих противников ископаемого топлива: такой водород станет основой устойчивой, то есть не требующей дополнительных энергетических ресурсов, водородной энергетике.

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

**Бумага для дисплея**

*Светоизлучающую бумагу можно делать метрами за сущие копейки.*

«ACS Applied Materials and Interfaces», 2017, 9, 16466—16473; doi: 10.1021/acsami.7b02433

**Г**ибкий дисплей считается основным элементом электроники будущего. Однако пока что не удастся сделать его из надежного материала, выдерживающего многократное сгибание-разгибание, да и то, что удастся, стоит слишком дорого. Исследователи из Южного китайского института технологий под руководством Хэ Минхуэя попытались решить проблему с помощью бумаги, пропитав ее недорогими компонентами.

Возьмем метилметакрилат, добавим в него ионную жидкость, например 1-бутил-3-метилимидазолтетрафторборат, пропитаем этой смесью сырье для бумаги, после чего проведем полимеризацию. Образуется эластичный гель, который заполнит все поры между волокнами целлюлозы, отчего бумага станет полупрозрачной и электропроводной. Теперь нужно сделать светящийся слой. Для этого микрочастицы люминофора — сульфида цинка с медью — смешали с мономером силоксана и затем его заполнировали. Главный опыт проводили с помощью ножниц: ими вырезали узоры из светящегося слоя и поместили их между двумя листами электробумаги. Когда к ним присоединили электроды от источника переменного тока, работавшего на двух батарейках, узор засветился приятным бирюзовым цветом. Бумага оказалась очень хорошего качества — выдержала 5 тысяч циклов сгибания-разгибания без изменения свойств. Главное же в том, что ее изготовили с помощью стандартного бумагоделательного оборудования: скорость производства составила 30 метров в минуту, а стоимость — 1,3 доллара за квадратный метр. Не совсем ясно, удастся ли сделать из нее дисплей, который показывает все-таки динамическую картинку, а не статичный узор, но, как считают авторы, материал в любом случае найдет множество применений.



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

**Удар по табаку**

*Последняя мера в борьбе против курения — неприглядные пачки сигарет.*

Агентство «AlphaGalileo», 19 мая 2017 года.

**20** мая 2017 года в Великобритании был нанесен завершающий удар по табакокурению: с этого дня все сигареты должны продаваться в стандартных пачках. Цвет — болотный или коричневый, никаких красивых картинок, наоборот, страшная фотография последствий для здоровья. Это фото сопровождается крупной надписью, а сорт сигарет напечатан мелким стандартным шрифтом. И никаких сообщений о том, что не содержит смол, что, органический продукт. И никаких ароматических добавок к табаку, никаких маленьких пачек с десятью сигаретками. И только пачки, открывающиеся сверху. Плюс дальнейший рост акциза, в результате чего среднестатистический британский курильщик теперь станет тратить в год две тысячи фунтов стерлингов.

Предыдущие драконовские меры — запрет на курение в общественных местах, повышение акцизов и удаление сигаретных пачек с витрин магазинов — уже уменьшили число курильщиков, но все равно за год от последствий курения в Великобритании умирает почти 100 тысяч человек. А благодаря новым мерам, как надеются борцы с курением, подрастающее поколение будет избавлено от соблазна. «Десятилетия табачные компании использовали яркие упаковки с красивым дизайном, чтобы привлекать клиентов. А такая упаковка была в жестком противоречии со своим убийственным содержанием. Теперь с этим покончено», — с удовлетворением отмечает Элисон Кох, директор по предотвращению заболеваний британского Центра исследований рака



# На кремниевой подложке

К 60-летию получения первого отечественного монокристалла кремния

А.В.Наумов

*2017 год — дважды юбилейный для металлургов. В 1947 году в Государственном институте редкометаллической промышленности начались работы по промышленному обеспечению германием начинающей свое развитие твердотельной микроэлектроники (см. «Химию и жизнь», 2017, 3), а в 1957 году на Подольском химико-металлургическом заводе (ПХМЗ) методом Чохральского по технологии Гиредмета был выращен первый в СССР монокристалл кремния.*

## Кремний и цивилизация

Формально запасы кремния безграничны — он составляет четверть массы всех минералов, слагающих земную кору. Однако там он входит в состав оксидов или силикатов металлов. Его нужно восстанавливать из этих соединений, и отнюдь не всегда это просто и дешево. А восстановленный кремний в зависимости от его чистоты разделяют на «металлургический» (97—99,9 ат. %) и полупроводниковый ( $\geq 99,999999999\%$ ).

Первый из них получают, восстанавливая кремнезем в электрической дуге между графитовыми электродами, а главный его потребитель, как нетрудно догадаться, — металлургия. Два с половиной миллиона тонн металлургического кремния, которые в год выпускает мировая промышленность, идут на раскисление металлов (то есть удаление из них кислорода) и легирование сталей и цветных сплавов.

Для электроники такой грязный кремний не подходит: электрически активных примесей в нем должно быть не более  $10^{-8}$  ат. %. Поликристаллический полупроводниковый кремний, который служит сырьем для всей электронной промышленности, — самое чистое промышленно выпускаемое вещество в истории. Основные его потребители — микроэлектроника, силовая электро-

ника и оптоэлектроника, в том числе солнечная энергетика. Микроэлектроника — это основа вычислительной техники, новейших систем радиолокации, связи и телевидения, а также электронной аппаратуры, бытовой, медицинской и специальной. Силовую электронику применяют всюду, где надо гибко управлять большими токами, чтобы уменьшить расход энергии: на металлургических и химических производствах, на транспорте, в системах электроприводов и энергопитания. Образуя, говоря, если микроэлектроника — мозг цивилизации, то силовая электроника — ее мышцы. Все это теперь можно купить на внешнем рынке, но в советское время такую стратегически важную продукцию стремились изготавливать внутри страны, чтобы снизить зависимость от «недружественного капиталистического окружения» (как тогда называли наших западных и восточных соседей, нынешних партнеров различной степени дружественности).

## Начало отечественного кремния

Отечественная промышленность чистого полупроводникового кремния началась в 1953 году, когда в Гиредмете стали с нуля создавать собственную технологию его производства. С нуля — потому что, хотя объем научной информации, связанной с электроникой, после войны рос по экспоненте, вопросы базовой технологии материала освещались скудно. Каждый изготовитель был озабочен тем, чтобы его приемы не достались конкуренту, а учитывая стратегическую значимость кремния, секретность поддерживали и государственные органы. Поэтому пришлось искать оптимальный способ, перебирая возможные.

Исторически первая технология — цинкотермическая — была основана на идеях Н.Н.Бекетова: он установил, что магний и цинк вытесняют металлы из некоторых их соединений. Взаимодействовали предварительно очищенный тетрагидрид кремния (он кипит при  $57^\circ\text{C}$ ) и переведенный в пар цинк:

$$\text{SiCl}_4(\text{газ}) + 2\text{Zn}(\text{газ}) \rightarrow \text{Si}(\text{тв.}) + 2\text{ZnCl}_2(\text{газ}).$$

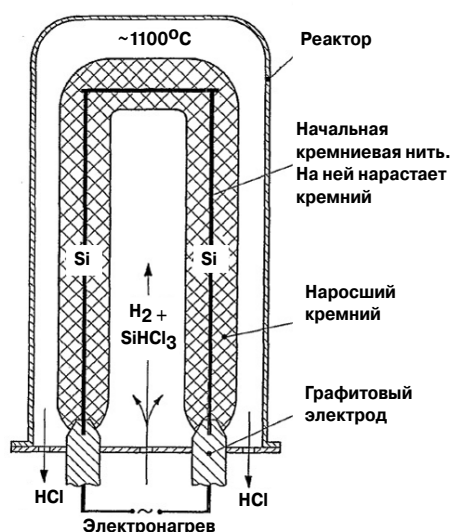
В этой реакции и получили первый чистый кремний, который нарастал на стенке реактора в виде поликристаллических друз.

Перевод кремния в жидкое, а потом газообразное соединение — необходимый этап процесса: очищая хлорсиланы, можно избавиться от большинства примесей. В поисках наиболее совершенного процесса в Гиредмете после цинкотермии опробовали диссоциацию тетрагидрида кремния, восстановление его хлоридом алюминия (так называемый субхлоридный метод), восстановление хлорсиланов водородом и диссоциацию моносилана. Наиболее детально после цинкотермического отработали водородный процесс. Кремний стали получать в реакторах заводской конструкции, его осаждали на молибденовую проволоку, восстанавливая трихлорсилан водородом. Впоследствии эти реакторы были заменены реакторами с кремниевыми нагреваемыми стержнями «Редмет 3Б».

## Первая очистка

Поначалу производство поликристаллического кремния во всем мире было опытным, малотоннажным и порой довольно-таки экзотическим. Так, на производстве поликремния компании «Merck Chemical» все трубопроводы были из серебра, «Union Carbide» сосредоточился на безреакторной технологии осаждения, в «Tokai Denkyoko» значительные усилия потратили на преобразовании металлургического кремния в электронный методами химической очистки расплава, а компания «Wacker» использовала кварцевые трубы, покрытые изнутри серебром.

Рубежом стал 1954 год, когда появился исторический патент компании «Siemens», который описывал процесс осаждения кремния из смеси трихлорсилана с водородом на нагретые кремниевые заготовки, то есть частный случай химического осаждения из газовой фазы (Chemical Vapor Deposition, или CVD). Эту технологию с тех пор так и называют «Сименс-процесс». Немедленно два химических гиганта того



1  
Так работает «Сименс-процесс». В реакторе CVD высокоочищенный  $\text{SiHCl}_3$  становится высокоочищенным поликремнием. Очищенный газообразный  $\text{SiHCl}_3$  поступает в реактор и за 5–20 секунд разлагается с помощью нагретого внутри реактора элемента (стержня, проволоки или пластины) на элементарный кремний и газообразные продукты, а кремний осаждается непосредственно на нагретом элементе

времени, «Wacker» и «Westinghouse», приобрели патент у «Siemens» и занялись его модификацией. Чуть позже «Westinghouse» продала свой «Сименс-процесс» компаниям «Dow Corning» и «Monsanto»; те продолжили совершенствование и оформили в 1955 году собственные патенты.

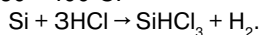
С этого момента началось победное шествие различных модификаций «Сименс-процесса», который постепенно захватывал рынок, вытесняя все другие технологии. Это связано с тем, что массовому производству поликремния исторически предшествовала огромная работа ведущих химических концернов по изготовлению и очистке различных хлорсиланов для производства кремнийорганических лаков, красок, клеев и прочей продукции. Уже существовали технология и развитый рынок, поглощавший десятки тысяч тонн трихлорсилана и четыреххлористого кремния, потому эти соединения и стали главными компонентами для производства поликремния во всем мире. Единственное неудобство такого сырья — необходимость перевозки, ведь многотоннажные силаны не изготавливали на маленьких по объему поликремниевых производствах того времени.

## Как это происходит сегодня

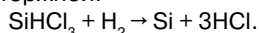
Поликристаллический кремний и сейчас получают из металлургического кремния, переводя его в летучие силаны (моносилан, хлорсиланы), затем

очищая выбранный силан и восстанавливая его до металлического кремния.

Трихлорсилан ( $\text{SiHCl}_3$ ) синтезируют гидрохлорированием металлургического кремния при температуре 260–400°C:



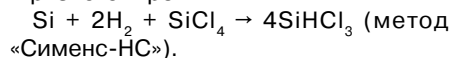
Полученный жидкий продукт очищают ректификацией, а затем оборачивают ту же реакцию вспять в реакторе водородного восстановления на поверхности разогретых кремниевых стержней:



Этот на первый взгляд простой процесс независимо открыли в 40-х годах XX века американец Евгений Рохов и немец Рихард Мюллер. Однако на практике получается сложная технологическая схема. Только 20–25% кремния из поступающего в реактор трихлорсилана осаждается на затравочных стержнях за один цикл, при этом в реакции участвует около 10% подаваемого в реактор водорода. Выходящая из реактора парогазовая смесь содержит в больших количествах непрореагировавшие соединения, а также побочные продукты реакций — тетрахлорид кремния, хлороводород и полисиланхлориды. Эти компоненты надо разделять, конденсировать, регенерировать и использовать. Когда в 70-е годы XX века началось расширение прежде маленьких заводов (например, производство на заводе «Motorola» выросло от 10 до 100 тонн кремния в год, на заводе «Hemlock Semiconductor» — от 100 до более 1000 тонн в год), было чрезвычайно важно создать эффективную систему восстановления и переработки отходящих газов: она позволяла значительно снизить потребность в транспортировке исходного сырья и выходящих побочных продуктов. Так возникли новые модификации «Сименс-процесса». Например, в одной схеме тетрахлорид в отдельном реакторе соединяют с водородом и получают трихлорсилан:



В другой — его отправляют в первичное производство трихлорсилана из «грязного» кремния:



Последнюю реакцию впервые исследовали в 1905 году немецкие химики Отто Руфф и Карл Алберт, но промышленное освоение метода произошло только в XXI веке.

Подобные дополнительные процессы более полной утилизации побочных продуктов основной реакции заметно повлияли на развитие технологии: они позволили повысить экологическую безопасность и резко снизить затраты (речь о последствиях пойдет ниже).



## ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

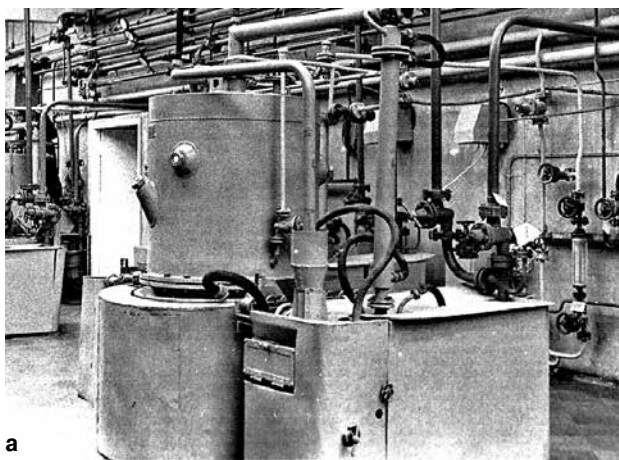
### Заслуженная слава

Сложные технологии рождаются в непростых условиях. Вот что вспоминает сотрудник зеленоградского НИИ материаловедения, заслуженный изобретатель В.И.Амосов, в то время молодой мастер ПХМЗ: «Служащие и рабочие ходили в противогазах или плотно закрывались в помещениях, где была местная вентиляция... Помнится случай, когда я без противогаза вышел из комнаты мастеров, в которой работала местная вентиляция, и попал в коридор. Сильный сквозняк захлопнул за мной дверь. Я оказался в тумане соляной кислоты. В коридоре ни души. Тронув ручку двери, чтобы вернуться обратно в помещение. Дверь не открылась. Я бросился к выходу из цеха. Нужно было пробежать двадцатиметровый коридор, спуститься по лестнице со второго этажа и выскочить на улицу. Когда я уже спускался прыжками по ступенькам последнего пролета, воздух в легких у меня закончился. Выскочил на улицу, а там тоже сплошной туман и люди в противогазах устраняют неисправность в ректификационной колонке. Пришлось еще бежать два десятка метров на более чистое пространство. Отбежав, я не мог вздохнуть. Спазм легких. Ноги уже не держали. В сознании помутилось, и я повалился в снег. Холодный снег, возможно, привел меня в чувство, и я задышал».

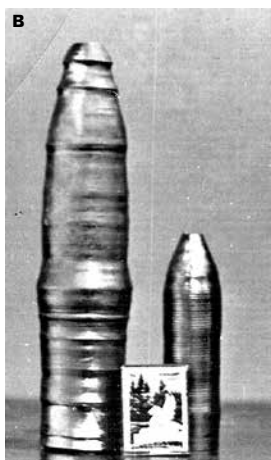
Новую отрасль в Подольске создавал удивительный коллектив: опытные ученые, еще недавно сутками работавшие в эвакуации, некоторые начальники участков — в прошлом фронтовые летчики-истребители, аппаратчики, прошедшие войну солдатами, молодые инженеры — специалисты первых послевоенных выпусков лучших вузов страны, травильщицы — молодые работницы трудового фронта, пришедшие из окрестных сел.

Уже в 1957 году под Москвой появилось первое опытное производство полупроводникового кремния, и тогда же там вырастили первый монокристалл диаметром 1–20 мм и длиной до 150 мм. А второе промышленное производство





а



в



б

2

Эта установка «Сименс-процесса» (а) дала на ПХМЗ первый поликремний (б), а затем из него вырастили монокристаллы (в)

современным спутникам. Фотопреобразователи для его солнечных батарей сделали из слитков монокристаллического р-кремния, то есть с дырочной проводимостью, а размер пластин был 12—15 мм (рис. 2, 3). Батарея оказалась надежной.

Кремний с такой проводимостью выбрали вынужденно: на ПХМЗ не удавалось полностью избавиться от бора, его остаточная примесь как раз и дает дырочную проводимость. Однако позже выяснилось, что именно такая структура солнечной батареи устойчивее к космической деградации, чем предложенная американцами структура на n-типном кремнии (они в том же году вывели свой спутник с солнечными батареями).

В 1964 году за разработку технологии и организацию производства полупроводникового кремния в СССР творческому коллективу сотрудников Гиредмета, ПХМЗ, ЗТМК и КЗЦМ была присуждена Ленинская премия. Ее лауреатами стали Б.А.Сахаров, Э.П.Бочкарев, В.М.Никитин, И.И.Новикова, М.Г.Мильвидский, М.И.Иглицин и В.И.Берков.

В 70-х годах производство поликремния было организовано на Запорожском титано-магниевом комбинате (ЗТМК). Здесь советские инженеры опередили коллег, собрав под одной крышей производство силана и кремния. Дело в том, что для получения титана применяют магний — он, как открыл уже упомянутый Бекетов, вытесняет целевой металл из его соединения,  $TiCl_4$ , а в качестве побочного продукта получается хлористый магний. Этот хлорид идет на производство магния, где побочным продуктом оказывается хлор. Его отправляют в начало цикла — на синтез четыреххлористого титана, поэтому производство магния и титана обычно

совмещают на одном заводе. Поскольку на комбинате был собственный хлор и с ним умели работать, то здесь же создали пилотную установку собственного трихлорсилана, а позже и крупномасштабный цех по его производству, который затем обеспечивал сырьем заводы в Красноярске и Подольске.

Позднее география технологии расширилась, ее применяли как в СССР (Чирчикский электрохимический комбинат, Донецкий химико-металлургический завод, Таш-Кумырский завод полупроводниковых материалов), так и в КНР (Сычуаньская научно-техническая кремневая компания в городе Лэшань, Ичанский завод по производству поликристаллического кремния, Хух-Хотский завод по производству поликристаллического кремния).

## «Мы чужие на этом празднике жизни»

Китайские заводы, построенные по проектам Гиредмета в начале 2000-х годов, успешно работают, чего нельзя сказать о российских. Гиредмет вышел из числа ведущих проектировщиков современных предприятий этого профиля; форменной катастрофой закончился проект производства поликремния, предпринятый компанией «Нитол» и корпорацией «Роснано».

У компании «Нитол», которая с 1998 года торговала продукцией химических и нефтехимических предприятий, были производства каустической соды, а также продуктов хлорной химии, в частности, в Усолье-Сибирском. В 2005 году было принято стратегическое решение — начать переход от традиционной хлорной химии к созданию производств высокотехнологичных материалов для солнечной энергетики. Поначалу все шло неплохо: в 2006 году в Усолье-Сибирском пустили цех по производству 10 тысяч тонн трихлорсилана, в 2008-м получили первый поликремний на опытном производстве мощностью 300 тонн в год. В июле 2008 года подразделение Всемирного банка — International Finance Corporation — объявило о предоставлении инвестиций в размере 50 млн долларов. В 2009-м — заложили цех мощностью 5 тысяч тонн, в проект вошли Сбербанк и «Роснано», последняя — с капиталом в 4,5 млрд рублей. Начались поставки кремния по долгосрочным контрактам. А уже в 2010 году производство закрыли.

Дело в том, что именно тогда, в 2006—2008 годах, в мире случился резкий скачок развития «Сименс-процесса». Выросла производительность как на уровне реактора (с 70—100 до 500 тонн в год), так и на уровне предприятия

было организовано на Красноярском заводе цветных металлов (КЗЦМ) в начале 60-х годов. Исходным сырьем служил четыреххлористый кремний, который доставляли по железной дороге из вологодского «Оргсинтеза». Производство состояло из четырех реакторов «Редмет 3Б» и достаточно примитивной системы ректификации на основе двух колонн. Объем производства кремния составлял 15 тонн в год. Главная особенность красноярского производства была в опробовании первого отечественного подхода к «рециклу»: смесь три- и четыреххлористого силана конденсировали без разделения и после очистки вновь направляли в реактор.

Весной 1958 года из подольского кремния изготовили советскую солнечную батарею: именно она дала энергию третьему искусственному спутнику Земли (ИСЗ-3), выведенному на орбиту 15 мая 1958 года. Это был первый полноценный космический аппарат; он обладал всеми системами, присущими



3

Одна из первых космических кремниевых солнечных батарей, изготовленных на НПП «Квант»



4

*Работа с кремнием для электроники за прошедшие полвека сильно изменилась*

(теперь один завод в год выдает 5—10 тысяч тонн поликремния, число же заводов по сравнению с 80-ми годами упало в два с лишним раза). При этом прошло промышленное внедрение схем рецилинга газов. Результатом стало резкое падение стоимости конечного продукта — в 2017 году килограмм поликремния стоит около 15 долларов, тогда как в 2004-м цена была 50 долларов, а в 2008-м доходила до 450! У нас часто говорят, что это китайцы опустили цену поликремния. Это неверно: американские, немецкие, корейские ученые, инженеры и конструкторы сумели решить многолетнюю проблему «рецикла» в кремниевой промышленности, китайцы лишь воспользовались результатами их труда

В 2008—2009 годах мировая индустрия поликремния, подстегиваемая бурным развитием солнечной энергетики, набрала такой ход, что проект устарел, еще не будучи реализованным: тот комплекс, который построили в Усолье-Сибирском, смог бы производить поликремний по себестоимости в лучшем случае около 30 долларов за килограмм. Сегодня местные власти просто не знают, что делать с этим заводом, на нем пытаются разместить разные производства, вплоть до производства ДСП...

Справедливости ради отметим, что Гиредмет не имел практического отношения к этому проекту: лишенный всякой государственной поддержки, институт не смог перейти на уровень проектирования предприятий мощностью 5—10 тысяч тонн в год. Китай, который сегодня производит около 30% мирового поликремния, свои самые

крупные предприятия построил уже сам, привлекая американских и европейских проектировщиков.

## Ритмы кремния

В 60—80-х годах XX века рынок мировой электроники стабильно рос. Производство поликремния увеличилось с 30 до почти 5 тысяч тонн. А в 1980—2000 годы вырос еще пятикратно, до 25 тысяч тонн. Электроника СССР была заметной частью мировой, хотя и шутили, что, мол, советские микропроцессоры самые большие в мире. Читатели старшего поколения помнят такие иронические оценки бытовой электроники СССР на фоне западных образцов, однако сегодня отечественной электроники на этом рынке просто нет.

Развитие советской электроники было где-то догоняющим, где-то шло в ногу со временем, а где-то и опережающим. А вот с середины 90-х годов идет обвальное разрушение самой основы советского наследия в электронной промышленности. В 1995 году прекращено производство поликремния на Красноярском ЗЦМ. В 1997 году — производство трихлорсилана и поликремния на Запорожском ТМК. В 1998-м остановлено производство поликремния на Донецком ХМЗ. С 2003 года не выпускает поликремний и первенец отрасли — Подольский ХМЗ. Неудача проекта в Усолье-Сибирском еще ухудшила ситуацию: желающие возобновить подобный проект почти исчезли.

Дальше по технологической цепочке ситуация ненамного лучше, чем с изготовлением исходного вещества. Сегодня в РФ только два небольших предприятия выращивают монокристаллы кремния для электронной промышленности. С оборудованием все еще хуже. Так, одна-единственная



## ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

венчурная компания «Роснано» сделала опытную партию кварцевых тиглей, но после успешных испытаний дальнейшие работы прекращены; лишь одно предприятие делает графитовые узлы для печей выращивания. Причина — недостаток спроса на конечные изделия. Нельзя сказать, что во всем виноват долговременный экономический кризис: мировая электроника развивается достаточно динамично. Дело в том, что сама отечественная электронная промышленность — производство микросхем — сократилась до минимума и, как следствие, наша потребность в кремнии не превышает 240—250 тонн/год.

Выход из этой печальной, совсем не юбилейной ситуации можно поискать. Весьма разумной представляется идея использовать бум солнечной энергетики в мире. Производство кремниевых солнечных батарей нам нужно не только для того, чтобы заменить традиционную энергетику солнечной. Его стимулирование создает рынок сбыта, что поддерживает российских изготовителей и разработчиков полупроводниковых материалов и приборов. Эта идея реализуется на государственном уровне. Так, в постановлении Правительства РФ № 449 от 28 мая 2013 года предусмотрено ежегодное проведение конкурсов между проектами, которые используют, в частности, солнечную энергетику. Победитель, а у него уровень локализации производства должен достигать 65—70% к 2020 году, получает существенную льготу: в течение 15 лет с момента ввода объекта в эксплуатацию ему идут все платежи от предоставленных электрических мощностей. Постановление уже вдохнуло жизнь в ПХМЗ, где начали восстанавливать производство монокремния и пластин для солнечных элементов. Проект собственного производства поликремния также не выглядит столь экономически безнадежным, как два-три года назад. Вот так общество, развивая материаловедение солнечной энергетики, в качестве бонуса получает возможность восстановить важную отрасль хозяйства, без которой страна вряд ли может называться развитой.





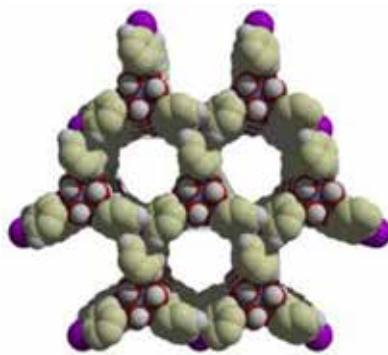
# Как отличить легкую воду от тяжелой

ХЕМОСКОП



Возможно, в скором времени для идентификации различных растворителей и измерения их концентрации нужны будут только ультрафиолетовый фонарик и полоска фильтровальной бумаги, пропитанная раствором нового полимера с фотолюминесцентными свойствами («Chemical and Engineering News», 2017, 2, 4, 579–589, doi: 10.1016/j.chempr.2017.02.010). Новая тест-система позволяет в том числе обнаружить следы обычной воды в дейтериевой  $D_2O$ .

Нет необходимости объяснять, сколько пользы принесет индикатор для быстрого выявления органических растворителей, попавших в окружающую среду, например, после аварии на производстве. Сегодня для этого приходится отбирать образцы и анализировать их в лабораторных условиях. Ситуацию может изменить новый полимер — металлоорганическая структура с фотолюминесцентными свойствами, содержащая трехвалентные ионы тербия или европия. С его помощью можно даже решить сложную аналитическую задачу — определить содержание легкой воды  $H_2O$  в тяжелой  $D_2O$ . Проверять степень чистоты  $D_2O$  необходимо, когда ее используют в качестве источника тяжелого водорода для введения дейтериевых меток либо для калибровки ЯМР-спектрометров.



Структура координационного полимера (по результатам рентгеноструктурного анализа). Показан вид вдоль оси координат, совпадающей с направлением формирования пор полимера

Новый материал получили в лаборатории профессора Саймона Хэмфри (Техасский университет в Остине). Это металлоорганический каркасный полимер, который пока называется его создателями только в соответствии с маркировкой РСМ-22. Полимер образуют трис(пара-карбоксилато) трифенилфосфиновый лиганд, который выполняет роль линкера, и ионы европия(III), гадолиния(III) или тербия(III). Каждый из ионов лантаноидов характеризуется уникальным излучением:  $Eu^{III}$  излучает красный свет,  $Gd^{III}$  — ультрафиолет, а  $Tb^{III}$  — зеленый свет. Когда полимер попадает в растворитель, молекулы растворителя входят в поры, и флуоресценция иона лантаноида гасится. Характеристика этого процесса и соответственно тип спектра уникальны для каждой ком-

бинации «лантаноид-растворитель», отсюда и возможность идентификации.

Исследователи получили четыре металлоорганические каркасные структуры с различным соотношением лантаноидов, воздействовали на каждый из четырех координационных полимеров разными растворителями, а затем облучали светом с длиной волны 365 нм. Так они получили индивидуальные спектры эмиссии для комплексов полимеров с  $H_2O$ ,  $D_2O$ , метанолом, этанолом, толуолом, бензолом и еще двенадцатью органическими растворителями. Как выяснилось, спектры настолько разные, что растворители можно отличить по ним, как по отпечаткам пальцев. В некоторых случаях даже не нужен спектрометр — индикаторная бумага с координационными полимерами позволяет различить растворители так же просто и безошибочно, как лакмусовая бумага распознает кислый и щелочной растворы.

Авторы исследования утверждают, что, по предварительным данным, новый материал может селективно распознавать галогены и ионы тяжелых металлов. Однако главное его преимущество — способность обнаружить даже следовые количества обычной воды в  $D_2O$ .

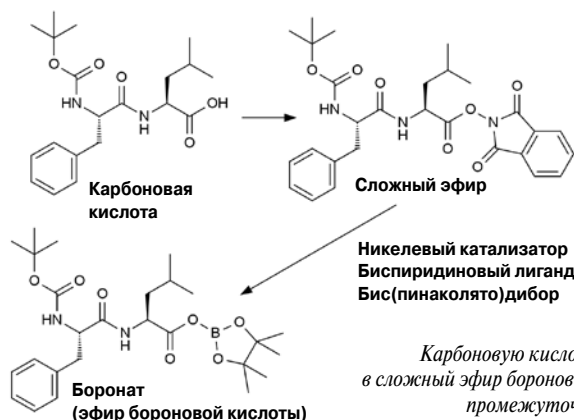
# Получать борорганику стало проще

ХЕМОСКОП



Химики из группы Фила Барана, работающие в Исследовательском институте Элен Скриппс (Калифорния, США), придумали удобный для лабораторной практики метод превращения карбоновых кислот в эфиры бороновых кислот и сами кислоты («Science», 2017, doi: 10.1126/science.aam7355).

Благодаря вакантной орбитали бор и многие его производные обладают льюисовской кислотностью и демон-



Карбоновую кислоту можно превратить в сложный эфир бороновой кислоты, не выделяя промежуточные продукты реакции



стрируют уникальные химические свойства. Например, бороновая кислота и ее эфиры боронаты незаменимы для органического синтеза: их применяют для сборки связи C—C в реакции Сузуки. С их помощью получают функциональные полимеры, лекарства, которые в том числе используются в терапии рака — бортезомиб и иксазомиб. К сожалению, сегодня существует не так много способов синтеза бороновых кислот и их эфиров, и ни один из них нельзя назвать простым.

Новый способ использует кислоты, карбоксильная группа которых связана с первичным, вторичным и третичным атомами углерода. Это может быть карбоксильная группа в составе аминокислот, пептидов и других соединений природного происхождения. Интересно, что метод, предложенный Бараном с коллегами, годится и для случаев, когда с карбоксигруппой конкурируют за реагенты другие группы.

Так, исследователям удалось получить борорганический аналог антибиотика ванкомицина: в молекуле этого вещества много различных функциональных групп и стереоцентров, однако они выбрали такие условия, при которых в реакции участвовала только карбоксильная группа.

Последовательность реакций такова: карбоновую кислоту модифицируют в сложный эфир, который затем в присутствии никелевого катализатора, биспиридинового лиганда и бис(пинаколято)дибора вступает в реакцию, приводящую к образованию целевых бороновых эфиров. Обе реакции проходят в режиме *one pot* — без выделения и очистки промежуточных продуктов. Эфиры бороновых кислот можно потом гидролизовать до соответствующих кислот.

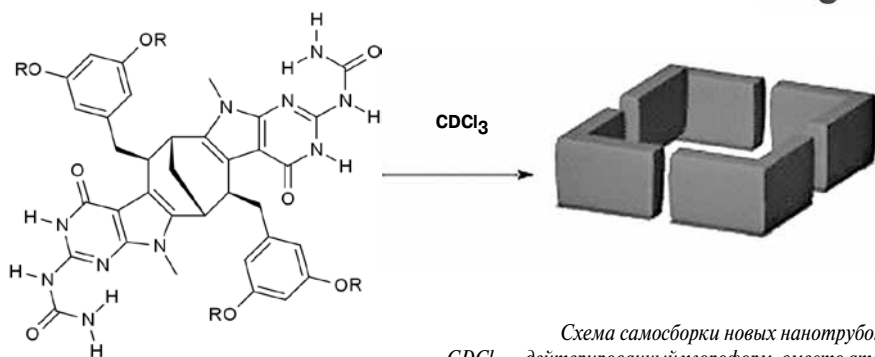
Чтобы еще раз продемонстрировать эффективность предложенного подхода, исследователи из группы Барана объединили усилия с Калифорнийским институтом

биомедицинских исследований и получили борсодержащие аналоги ингибиторов нейтрофилэластазы человека. Фермент нейтрофилэластаза — важная молекулярная мишень при лечении ряда заболеваний легких, в том числе муковисцидоза. Специалисты Калифорнийского института биомедицинских исследований попытались улучшить ингибиторы нейтрофилэластазы, показавшие низкую эффективность во второй фазе клинических испытаний. Когда в состав этих молекул ввели по методологии Барана борсодержащие фрагменты, полученные соединения оказались более активными ингибиторами, чем их предшественники. Калифорнийский институт биомедицинских исследований планирует изучить их активность *in vivo*.

## Самосборка нанотрубок

Исследователи из Лундского университета (Швеция), Вильнюсского университета и Нанкинского технологического университета использовали молекулярное самораспознавание для получения нанотрубок из строительных блоков одного типа. Интересен не только процесс самосборки, но и то, что форма нанотрубок зависит от среды, в которой она происходит. Подобные нанотрубки могут пригодиться для создания искусственных транспортных каналов в клеточной мембране, сквозь которые можно будет доставлять лекарственные препараты (*«Nature Communications»*, 2017, 8, 14943, doi: 10.1038/ncomms14943).

Исследователи решили выяснить, каким образом молекулы могут связываться друг с другом, используя только слабые межмолекулярные взаимодействия, а также определить минимальный размер молекул, при котором они еще сохраняют способность к самосборке в структуры большого размера с заданными свойствами. Строительные блоки с множеством слабых водородных связей могут, подобно белкам и нуклеиновым кислотам, формировать вполне определенную объемную структуру. Как отмечает руководитель исследования, Кеннет Ворнмак из Лундского университета, потребовалось два десятилетия, чтобы разработать дизайн молекул, которые в конце концов смогли сами собраться в молекулярные нанотрубки.



Неожиданно оказалось, что в зависимости от среды, в которой они находятся, строительные блоки могут собираться в агрегаты различной формы. Варьируя тип растворителя, а в ряде случаев и тип молекулы-«гостя», выступающей в качестве шаблона для самосборки, можно получать относительно устойчивые молекулярные ансамбли в виде трубок, капсулы и даже «молекулярного пояса».

В отличие от хорошо известных и применяющихся на практике углеродных нанотрубок, у молекулярных нанотрубок можно регулировать диаметр. Это особенно важно, если мы хотим использовать наноструктуру как канал для доставки химических веществ через мембрану, например, в клетку или в ядро клетки. К тому же способ получения молекулярных нанотрубок проще и безопаснее для окружающей среды,

### ХЕМОСКОП



Схема самосборки новых нанотрубок.  $CDCl_3$  — дейтерированный хлороформ, вместо атома обычного водорода содержит атом дейтерия D. Водороды обычного хлороформа перекрывают бы сигнал вещества при регистрации протонных спектров ЯМР, поэтому авторы работы провели самосборку трубок в дейтерированном растворителе, чтобы, когда нужно будет подтверждать их структуру методом ЯМР, не мучиться с очисткой

чем существующие методы синтеза углеродных — для последних нужны прочные ковалентные связи, а значит, для манипуляций с ними требуется высокая температура.

Авторы исследования считают, что в будущем молекулярные нанотрубки помогут доставлять лекарственные препараты в мозг через гематоэнцефалический барьер — это могло бы изменить, в частности, лечение болезни Альцгеймера.

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

# Очерки комбустиологии: главный принцип — не навреди

Кандидат медицинских наук

**Т.Г.Руденко**

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

**Н**аучно-технический прогресс способствовал широкому распространению в хирургии ожогов пластических операций по закрытию обширных кожных дефектов. Однако они не гарантировали от неудач лечения и отдаленных последствий этих неудач. В 1970-е годы, когда хирургическая комбустиология только набирала силу, процент неприживания кожных аутолоскутов при пересадке их на гранулирующую поверхность достигал 50%-ного барьера, а порой и превышал его. Да и в наши дни неудачей заканчиваются 15—20% от всех случаев операций. Возможности аутодермопластики при глубоких и обширных ожогах по-прежнему ограничены дефицитом донорских ресурсов собственной кожи больного.

## Универсальный трансплантат

В 1970—1980-е годы во всем мире начались работы по культивированию клеток кожи *in vitro* с последующей их трансплантацией на рану. Первую успешную пересадку культивированных кератиноцитов двум обожженным пациентам выполнили американские хирурги в 1981 году. В 1994-м участники Всемирного конгресса по ожогам в Париже докладывали уже о 500 подобных случаях. Тем не менее этот метод не получил широкого распространения, у него было больше недостатков, чем преимуществ. Выращивание клеточных трансплантатов занимает около трех недель, это трудоемкая и очень дорогая процедура. Но самое главное — пересаженные кератиноциты лизировались почти в 80% случаев. Следовательно, у них нет абсолютно никаких преимуществ

перед расщепленным кожным лоскутом, который, по сути, представляет собой пласт кератиноцитов, снятый дерматомом. Получить лоскут быстрее, надежнее и дешевле, чем выращивать клетки на питательной среде.

Новый подход к решению этой проблемы разработали в Институте хирургии им. А.В.Вишневского АМН СССР, где в 1983 году была организована лаборатория по прикладному культивированию клеток кожи человека. Новизна состояла в том, что для получения культивированных клеточных трансплантатов использовали не эпидермальные клетки (кератиноциты, эпидермиоциты), а фибробласты — клетки соединительной ткани дермы. Фибробласт — это настоящая фабрика по выработке коллагена, основного волокнистого белка соединительной ткани, заполняющей рану. Кроме того, фибробласты синтезируют факторы роста, регулирующие все процессы регенерации. Разработанный в Институте способ лечения ожоговых ран получил название комбинированной аутодермопластики с трансплантацией культивированных аллофибробластов (аллофибробласты — это фибробласты, полученные от другого

человека). В 1996 году группе ученых, авторов метода, в их числе профессорам Д.С.Саркисову, А.А.Алексееву, В.П.Туманову, Л.И.Будкевич, была присуждена Государственная премия РФ в области науки и техники.

Однако о широком использовании и этого метода говорить было рано. Высокие технологии всегда требуют решения множества сопутствующих проблем разной степени сложности. Хотя новая технология сулила чудеса, ее дальнейшее внедрение уперлось в этические и юридические барьеры. Из-за отсутствия правового регулирования в сфере клеточных технологий и отношений, связанных с донорством биологического материала, Министерство здравоохранения и социального развития России в 2001—2006 годах неоднократно запрещало применение клеток в клинических условиях. Ох уж эта наша печальная отечественная традиция запретов! Отрадно, что на сей раз обошлось без явных гонений и дело все же сдвинулось с мертвой точки: 23 июля 2016 года президент России Владимир Путин подписал Федеральный закон №180-ФЗ «О биомедицинских клеточных продуктах», устраняющий многие этические и юридические препятствия.

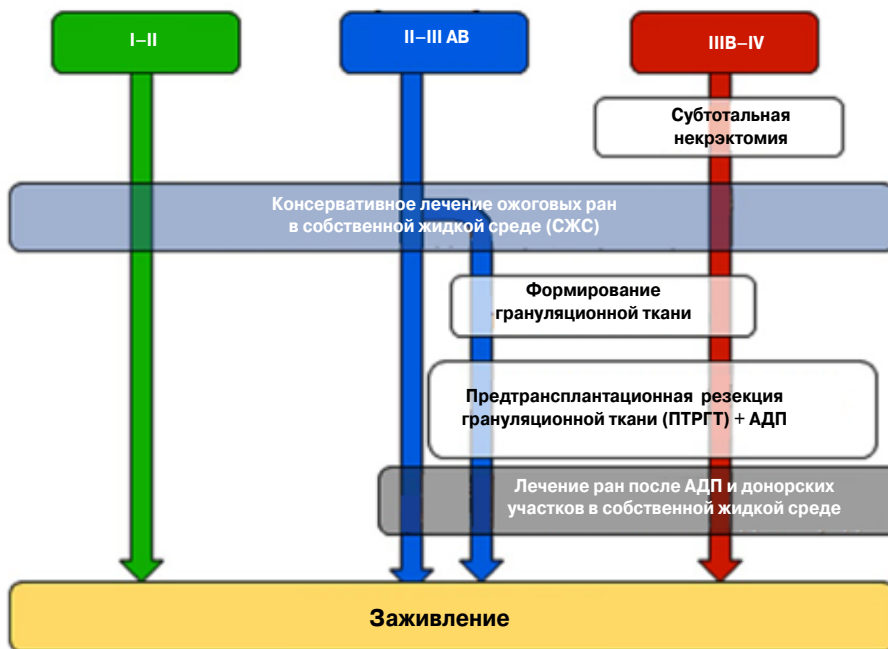
Следует признать, что на данном этапе клеточные биотехнологии пока еще не преодолели все проблемы аутодермопластики при лечении ожогов.

Однако это не повод для пессимизма. В последние годы все громче заявляет о себе инновационная дисциплина, сочетающая в себе медицину, молекулярную и клеточную биологию, биотехнологию и тканевую инженерию, — регенеративная медицина. Мы становимся свидетелями поистине фантастических достижений (об успехах российской регенеративной медицины см. «Химию и жизнь», 2016, 7). В частности, появилась возможность создания живых тканей и органов, правда, пока только в условиях лаборатории. Не так давно ученые Института биологии развития им. Н.К.Кольцова РАН разработали уникальную технологию выращивания живого тканевого эквивалента кожи. Это



*Тувий Яковлевич Арье (1907—1981) — автор  
метода тангенциальной некрэктомии*

Окончание. Начало в №№ 1—5.



1  
Система лечения ожоговых ран в собственной жидкой среде АДП — аутодермопластика, то есть пересадка собственной кожи пациента

универсальный трансплантат, который можно использовать для восстановления не только поврежденной кожи, но и роговицы, гортани, уретры. Ткань выращивают из кератиноцитов, взятых у самого пациента или подходящего донора. Подобные исследования проводят и в научно-исследовательском центре Ульяновского государственного педагогического университета. Ученые создали живые эквиваленты кожи и успешно применили их для закрытия ожоговых ран.

Но для выхода технологий в клиническую практику необходимы масштабные доклинические и клинические исследования, а также государственная регистрация продукта, разрешающая его медицинское применение. Все это требует создания новых инфраструктур: опытных производств, банков, депозитариев и коллекций клеточных продуктов, а также немалых материальных вложений, но главное — времени. Процедура клинических исследований и регистрации весьма длительная — весь цикл создания препарата занимает около десяти лет.

А больных надо лечить уже сейчас! Так что приходится пересаживать собственную кожу. Чтобы пересадка прошла успешно, поверхность раны должна быть готова принять лоскут, то есть, как говорят специалисты, иметь полноценное воспринимающее ложе. В процессе

его подготовки можно выделить два этапа: удаление некроза (некрэктомия) и резекцию грануляционной ткани.

## Следуя главному принципу

Строго говоря, основная и первоочередная задача некрэктомии состоит не в подготовке ложа, а в том, чтобы быстро иссечь некроз и очистить рану. Ведь именно некроз, это кладбище погибших тканей, содержащее мертвые клетки и токсичные продукты распада белков и других компонентов межклеточного вещества, представляет собой главную причину всех осложнений как местного, так и общего характера, самые грозные из которых — нагноение ожога и сепсис (общее заражение крови).

Очистить обширную ожоговую рану от мертвых, разлагающихся тканей с помощью только скальпеля и ножниц очень сложно, а порой и невозможно, поэтому инструментальная некрэктомия не получала широкого распространения вплоть до шестидесятых годов прошлого столетия. До этого с некрозами боролись консервативно, используя различные средства местного применения, о которых мы уже рассказывали.

Революционным прорывом стала методика тангенциального (послойного) иссечения струпа с помощью электродерматомы. Того самого, о котором мы уже говорили в предыдущем очерке, — первого электродерматомы Колокольцева. Ну конечно же! Если этот инструмент позволяет получить тончайший расщепленный кожный лоскут, то послойно иссекать (состру-

гивать) некроз ему и подавно под силу. Термин «тангенциальная некрэктомия» принадлежит советскому хирургу Тувию Яковлевичу Арьеву, который описал эту методику в 1966 году в ставшей классической монографии «Термические поражения», а использовать ее начал гораздо раньше, еще в 50-е годы.

Как ни странно, несмотря на приоритет отечественных разработок, у нас в стране тангенциальная некрэктомия при лечении ожогов получила широкое признание только в конце 1970-х годов. Причем как американский метод, поскольку ее активно пропагандировали американские хирурги.

Тангенциальное иссечение менее травматично, чем иссечение скальпелем или ножницами, так как дозированно удаляет только некротические ткани, не затрагивая окружающие здоровые. Вместе с тем оно сопровождается большей кровопотерей, а это уже минус.

В классическом варианте некрэктомия сочетается с одномоментной пересадкой кожи. Однако взятие кожных лоскутов наносит дополнительную травму и увеличивает общую потерю крови, и без того очень серьезную. В профессиональных кругах это вмешательство считается одним из самых травматичных, а саму тактику называют агрессивной. При ожогах, занимающих более 15% поверхности тела, подобные вмешательства с высокой вероятностью могут привести к неблагоприятному исходу. Само собой разумеется, что многие хирурги-комбустиологи, следуя извечному главному принципу *primum non nocere* — прежде всего не вредить, постоянно ищут способы, позволяющие понизить травматичность операций. И тут возможно несколько вариантов. Первый — сокращение общего объема, то есть площади и глубины иссекаемых тканей. Для этого, в свою очередь, необходимо совершенствовать методы диагностики истинных размеров глубокого ожога, подлежащего иссечению. Другой путь — разработка и обоснование методов частичной (не радикальной) некрэктомии. Третий — отказ от немедленной аутодермопластики.



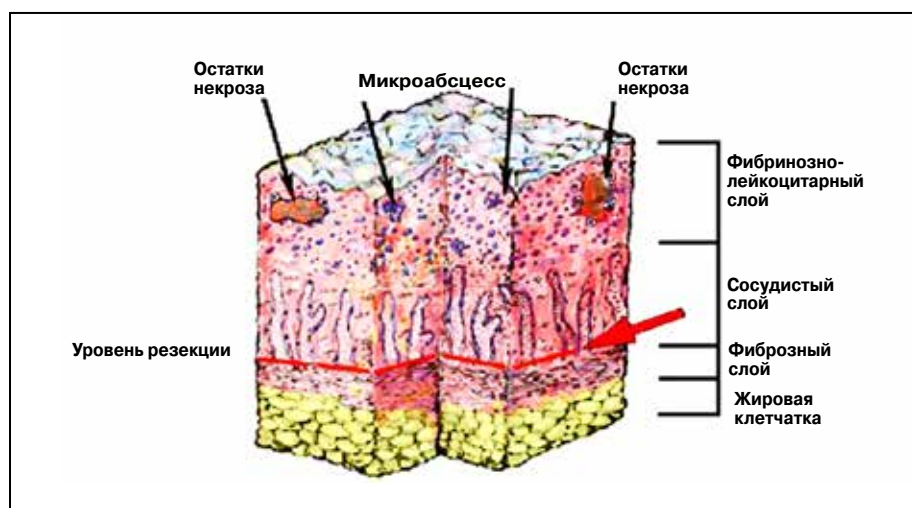


Одним из путей реализации принципа *поп посере* можно считать способ лечения глубоких и распространенных ожогов, разработанный и запатентованный уже известным читателю В.А.Мензулом (рис. 1). Согласно этому способу, хирургической некрэктомии должно предшествовать консервативное лечение в условиях собственной жидкой среды (СЖС) под пленкой-повязкой DDB-M (или ее аналогов), во время которого не только выявляется истинная площадь участков глубокого поражения, но и стабилизируется общее состояние пациента, что позволяет перенести операцию с меньшим риском. Некрэктомию выполняют с помощью дерматома ДЭ-60-01 (собственной конструкции автора), который обеспечивает быстрое удаление струпа тонкими слоями, причем не на всю глубину некроза, а лишь до зоны паранекроза — автор назвал этот метод субтотальной некрэктомией. После операции на отдельных участках ожоговой поверхности еще остаются небольшие очаги некроза, поскольку при обширных ожогах IIIБ—IV степени глубина поражения неравномерна. Третья отличительная особенность описываемого способа состоит в том, что после иссечения некрозов кожу не пересаживают немедленно. Раны укрывают пленкой DDB-M и продолжают их консервативное лечение в условиях СЖС до формирования полноценных грануляций. Совокупность этих приемов в значительной мере снижает травматичность неизбежного хирургического удаления некрозов.

И тут следует рассказать о втором этапе подготовки полноценного воспринимającego ложа.

## Согласно законам биологии

Достаточно высокий процент неприживления, лизиса и регресса трансплантатов отмечался и в опытах Ревердена, Янович-Чайнского и Тирша, и при современных пересадках сетчатых кожных лоскутов, вплоть до применения культивированных клеток кожи. Естественно было задуматься о какой-то повторяющейся ошибке. По мере накопления опыта пришло понимание того, что пересаживать лоскуты надо на здоровые, зрелые, подготовленные грануляции. Однако объективных критериев оценки здоровья и зрелости грануляций, их готовности воспринять пересаживаемый лоскут не было, врачи полагались только на собственный опыт. Бытовало мнение, что грануляции надо воспитывать, и каждый понимал это по-своему. Многие хирурги перед трансплантацией срезали или выскабливали грануляции скальпелем, ножницами,



специальными ножами или ложечками с острыми краями. После таких выскабливаний (вслепую!) трансплантаты приживались еще хуже. А вот после глубоких радикальных некрэктомий, когда расщепленный кожный лоскут пересаживают не на гранулирующую рану, а на фасцию — оболочку из соединительной ткани, покрывающую органы, сосуды и мышцы, — он приживается прекрасно. Почему же так происходит?

Давайте вспомним строение кожи. Ее самый поверхностный слой — эпидермис, под ним следует дерма — зрелая соединительная ткань. Расщепленный лоскут представляет собой эпидермис и непосредственно прилежащий к нему тончайший слой дермы. А фасция — это тоже зрелая соединительная ткань, потому лоскут к ней и прирастает, как родной. Это своего рода биологический закон эволюционного сродства тканей. Вот к жировой клетчатке, например, лоскут не прирастет — бесспорный факт, известный еще со времен Ревердена.

А что же грануляции? Грануляция — это молодая соединительная ткань, которая образуется в каждой ране, заполняя ее. Она формируется, разрастается и созревает, а уж на нее, зрелую, с краев раны нарастает эпителий. Растет грануляционная ткань (ГТ) начинает со дна раны и, разрастаясь, продвигается вверх, как бы вытесняя и замещая собой остатки некроза, фибрин, осколки погибших клеток и межклеточного вещества, колонии микробов и т. п. — всеобщий процесс самоочищения и восстановления утраченного кожного покрова. Хирург, удаляя некроз, помогает организму быстрее и легче справиться с этой работой. По мере роста заполняющая рану ГТ становится все объемнее. В ней уже можно выделить несколько слоев, отличающихся по степени зрелости (рис. 2).

Наименее зрелый — поверхностный слой; его еще называют фибринозно-

2

*Схема строения грануляционной ткани*

лейкоцитарным. Это сеть тонких новообразованных коллагеновых волоконцев, до отказа заполненная фибрином, клетками воспаления — лейкоцитами и макрофагами, которые активно синтезируют ферменты, растворяющие остатки мертвых тканей, а потом фагоцитируют (пожирают) эти фрагменты. Представьте себе теперь судьбу тончайшего эпидермального лоскута, помещенного на эту поверхность. Он будет немедленно атакован клетками-бойцами и уничтожен. Отсюда и неприживание!

Сразу под ним — сосудистый слой: густая сеть хаотично переплетающихся капилляров, которые по мере продвижения ко дну раны сливаются в отдельные все более крупные стволы. Образно эту структуру можно представить в виде леса: дно раны — земля, из нее выходит ствол крупного капилляра, который разделяется на все более тонкие веточки и наконец образует крону — ту самую густую капиллярную сеть. Коллагеновых волокон в этой сети мало, и они еще очень незрелые. По мере углубления их становится больше, они приобретают упорядоченную горизонтальную ориентацию и начинают формировать пучки, то есть становятся все более зрелыми. Значительно уменьшается число клеток воспаления, зато появляются регенераторные клетки, уже известные нам фибробласты.

И наконец, третий, самый глубокий слой — фиброзный. Это, по сути, уже зрелая соединительная ткань, соответствующая своими свойствами дермальному слою здоровой кожи.

Думаю, теперь и непрофессионалу несложно ответить на вопрос: какой слой грануляционной ткани, заполнившей ожоговую рану, наиболее пригоден для восприятия аутодермотрансплантата? Конечно же — глубокий отдел сосудистого и фиброзный! А что касается



Анатолий Борисович Шехтер, руководитель лаборатории экспериментальной морфологии

поверхностных слоев, то их следует удалять. И лучше всего это можно сделать с помощью все того же замечательного электродерматомата ДЭ-60-01, который позволяет быстро и с высокой точностью срезать тончайший слой грануляционной ткани (0,3—0,6 мм). Затем, после остановки кровотечения, поверхность раны немедленно покрывают кожным лоскутом. Эта операция, методику которой разработал и запатентовал В.А. Мензул, получила название предтрансплантационной резекции грануляционной ткани (ПТРГТ) с последующей немедленной аутодермопластикой (рис. 1).

Архитектоника грануляционной ткани, заполняющей ожоговую рану, и, в частности, особенности ее структуры в условиях СЖС были описаны в лаборатории экспериментальной морфологии Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова под руководством профессора Анатолия Борисовича Шехтера — одного из крупнейших отечественных специалистов-морфологов в области изучения раневого процесса и его нарушений.

Исследования показали также, что после резекции грануляционной ткани поверхность раны становится стерильной. Когда кожный лоскут пересаживают на это ровное, стерильное ложе, он сразу прилипает к поверхности, между ним и ложем быстро образуется прослойка соединительной ткани, а из глубины сосудистого слоя прорастают капилляры, мигрируют и быстро размножаются активные собственные (а не взятые со стороны!) фибробласты.

Все это обеспечивает полное, без осложнений приживление трансплантата.

## Концепция влажного заживления

В немалой степени успешному приживлению способствует и правильное лечение ран после аутодермопластики. По обычной распространенной методике рану с пересаженным лоскутом укрывают салфеткой, смоченной раствором антисептика. В одной из предыдущих статей мы много говорили о пагубном влиянии влажно-высыхающих повязок. Их тоже можно рассматривать как одну из причин неудачных исходов пластических операций. Согласно новой технологии, лечение пересаженных лоскутов следует проводить в условиях СЖС под пленкой-повязкой DDB-M (или ее аналогов). Постоянная влажность не позволяет пересаженным лоскутам высыхать. Пленка защищает от внешней инфекции, не прилипает к ране, поэтому не травмирует пересаженный лоскут и новообразованный эпителий внутри ячеек. Не забудем и об обезболивающем эффекте СЖС, что очень важно, особенно в педиатрической практике. Поскольку пленка-повязка прозрачная, контролировать состояние раны можно, не снимая ее и не травмируя лишним раз пациента.

С начала разработки метода лечения ожогов в СЖС и до настоящего времени выполнено свыше полутора тысяч операций ПТРГТ в сочетании с пересадкой кожи. Более чем в 97% случаев пересаженные лоскуты полностью прижились. В 1—3% случаев на ограниченных участках отмечалось частичное неприживление трансплантатов, что, однако, не влияло на конечный результат операции. За все эти годы не было ни одного случая нагноения ран после аутодермопластики, тотальной лизиса трансплантатов, их регресса, отслойки и высыхания. Ни разу не пришлось делать повторную пересадку. Нескольким сотням детей и взрослых с критическими ожогами выполнили субтотальную некрэктомию с последующей ПТРГТ и аутодермопластикой в сочетании с консервативным лечением ран в условиях собственной жидкой среды. Это были тяжелейшие травмы с неблагоприятным жизненным прогнозом, и все же удалось не только спасти жизнь подавляющему числу пострадавших, но и в относительно короткие сроки добиться полного излечения и восстановления кожного покрова с хорошими косметическими и функциональными результатами, обеспечив тем самым достойное качество дальнейшей жизни.

Древняя мудрость гласит: «Chirurgia effectus inter omnes medicinae partes



## БОЛЕЗНИ И ЛЕКАРСТВА

Среди всех разделов медицины — самый заметный». Однако настоящее искусство врачевания состоит в адекватном сочетании консервативных и хирургических методов, дополняющих друг друга. Важно понимать, что одно, пусть самое революционное достижение не может решить все задачи, если оно узконаправленно, бьет в одну точку. Очевидно, что необходим комплексный подход, объединяющий лучшие из уже известных решений. Проиллюстрировать такой подход можно на примере «Системы местного лечения ожоговых ран в условиях собственной жидкой среды», разработанной совместными усилиями хирургов-практиков, ученых-морфологов и инженеров-конструкторов. Она включает в себя и консервативные, и хирургические методы, но объединяет их в систему обязательное проведение лечения в условиях собственной жидкой среды на всех этапах. Более чем 20-летний опыт разработки новых технологий обобщен в коллективной монографии «Система местного лечения ожоговых ран в собственной жидкой среде» (М.: Редакция журнала «На боевом посту», 2015).

Завершить наши беседы мне хотелось бы словами Доната Семеновича Саркисова, одного из ведущих отечественных ученых-патоморфологов, лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники за вклад в разработку способа лечения обширных ожогов: «По мере все более глубокого нашего проникновения в понимание факторов, определяющих течение любого патологического процесса, будет соответственно возрастать и точность, то есть безошибочность, врачебного вмешательства и прогрессивно уменьшаться вероятность загадочных для современного врача неудач лечения».





# Лечебные куры

Курица — это не только вкусное мясо или материал для нелестных сравнений вроде «куриные мозги». За последние два века куры принесли наукам о жизни немало новой информации. Именно благодаря этим современным родичам динозавров человек узнал многое о ранних стадиях развития эмбрионов, открыл вызывающие рак вирусы, а также нашел эффективный способ получения ряда вакцин.

## Строение зародыша

Каждое животное, в том числе и мы с вами, формируется из одной-единственной оплодотворенной яйцеклетки. Удивительно, но у большинства видов они очень мелкие, так что изучать с их помощью эмбриональное развитие сложно. К счастью, так бывает не всегда: у птиц яйцеклетки большие, к тому же после своего образования они естественным путем выносятся за пределы тела: проще говоря, птица откладывает яйцо. И еще один аргумент в пользу этого модельного объекта: птицы эволюционно близки к нам — гораздо ближе, чем шпорцевые лягушки и плодовые мушки, другие излюбленные подопытные эмбриологов.

При достаточной аккуратности можно проследить за формированием зародыша в курином яйце. Эту процедуру до сих пор проделывают студенты-биологи на практикумах по эмбриологии. А одним из первых за развитием цыпленка в яйце наблюдал сам Уильям Гарвей, более всего известный своими работами по изучению кровеносной системы. Правда, увеличительные приборы у него были неважные, поэтому он почти не разглядел отдельных структур, зато установил ряд основополагающих принципов. Он понял, что живые организмы появляются благодаря соединению семени и яйцеклеток (последнее слово, впрочем, тогда еще не использовали, материнскую клетку называли просто *ovo* — яйцо), а не семени и крови, как полагал Аристотель, и уж тем более не из неживой материи (как мы знаем, от этой точки зрения еще долго не могли отказаться). Было это в XVII веке.

Полтора столетия спустя, когда микроскопы стали помощнее, биологи увидели в развивающемся курином эмбрионе



flickr.com

отдельные клетки и их слои. В 1817 году Христиан Иванович Пандер защитил диссертацию о строении зародыша курицы. Он поместил в инкубатор несколько тысяч оплодотворенных куриных яиц и через определенные промежутки времени доставал некоторое их количество, вскрывал скорлупу, исследовал эмбрионы под микроскопом и зарисовывал то, что видел. Пандер пришел к выводу, что на ранних стадиях развития клетки эмбриона образуют три слоя (зародышевых листка) — наружный, внутренний и промежуточный. Правда, называл он их не так, как мы привыкли: современная эктодерма у него упоминалась как «серозный слой», энтодерма была слизистым слоем, а мезодерма — сосудистым.

Это открытие можно было бы назвать русским, если бы не тот факт, что проводивший большую часть жизни на территории Российской империи Х.И. Пандер

сделал его, находясь в Германии, в Бюрцбургском университете.

За крупным прорывом Пандера последовали другие, чуть менее масштабные. На примере кур эмбриологи изучили процессы формирования конечностей, а также выявили причины врожденных пороков сердца. Много информации куриные эмбрионы дали о развитии нервной системы. Так, в 1952 году итальянский биолог Рита Леви-Монтальчини обнаружила, что клетки некоторых раковых опухолей ускоряют рост нервной ткани. Она подсадила эти клетки зародышам кур, и через несколько дней инкубации у таких эмбрионов образовывалось больше нервов, чем у зародышей из контрольной группы. Нервы росли везде, где только могли, исследовательнице они напомнили горный поток среди камней, так их было много. Она предположила, что опухоли образуют некое вещество, стимулирующее рост нервов. Через некоторое время это вещество удалось выделить. Его так и называли — фактор роста нервов (*nerve growth factor, NGF*). За это открытие Рита Леви-Монтальчини удостоилась Нобелевской премии в 1986 году.

## Вакцины против гриппа и не только

Вскрытие скорлупы оплодотворенного куриного яйца необязательно означает, что зародыш тут же погибнет. Можно проделать небольшое отверстие в скорлупе и через него наблюдать за происходящим внутри, а «окно» в яйцо закрыть прозрачным пластиком: это защитит эмбрион и его оболочки от высыхания. Благодаря этой методике было установлено, приживаются ли в зародышах цыплят ткани крыс (чаще всего да) и многое другое.



Фрэнсис Пейтон Роус (1923)



В начале 1930-х годов выяснилось, что аналогичную процедуру можно использовать для размножения вирусов и получения на их основе вакцин («The American Journal of Pathology», 1931, 7, 3, 209—222.5). Для этого в определенный день развития зародыша через отверстие в скорлупе вводят препарат вирусных частиц, очищенный от других вирусов, а также от бактерий. Например, для получения вакцины от гриппа нужно внедрить возбудителя этого заболевания в яйцо на 11-й день после откладывания. Притом вводить его нужно не абы куда, у каждого вируса свои излюбленные места в эмбрионах. Скажем, возбудитель оспы птиц хорошо размножается в оболочках зародыша и в его эктодерме, а в энтодерме не приживается. После нескольких дней инкубации число вирусов в инфицированных яйцах повышается до нужного уровня, и тогда специальные машины разбивают скорлупу. Из содержимого яйца отфильтровывают вирусные частицы и очищают их от примесей — белков яичного желтка, эмбриональных тканей и прочего. Первым вирусом, который удалось размножить в куриных эмбрионах, стал возбудитель оспы птиц. Затем технику отработали и на вирусах гриппа, паротита и ряде других.

У данного метода есть недостатки. Если вирус недостаточно очищен, в препарате окажутся примеси яичного белка, а на него у некоторых людей аллергия. Кроме того, производство вакцин против гриппа с помощью куриных эмбрионов стоит недешево. Из одного яйца получается примерно одна доза препарата, а то и меньше, и полный цикл производства составляет около полугода. При эпидемии для большой партии вакцин потребуются сотни тысяч яиц, и даже если их удастся получить, не очень понятно, в каких инкубаторах их выращивать, да и шанс опоздать велик. Поэтому в экстренных случаях вакцины получают другим методом — с помощью культур клеток, в которых тоже выращивают вирусы.

## Вирус — виновник рака

Пользу науке принесли не только куриные яйца, взрослые птицы тоже оставили свой след в биологии и медицине. В частности, они помогли американскому вирусологу Фрэнсису Пейтону Роусу получить Нобелевскую премию в 1966 году. Фактически он открыл онкогенные вирусы, дословно — «вызывающие рак».

Роус практически всю жизнь проработал в Рокфеллеровском университете. Там и возник его интерес к «заразным» опухолям. Однажды некая женщина принесла туда курицу с большой опухолью. Роус осмотрел ее и пришел к выводу,



flickr.com



ЖЕРТВЫ НАУКИ

что новообразование очень напоминает солидные злокачественные опухоли, развивающиеся у млекопитающих.

В то время уже было известно, что некоторые заболевания можно вызвать, введя животному вытяжку из тканей больного, не несущую в себе клеток. Так, в 1908 году установили, что кур можно заразить эритролейкемией, если влить им пропущенную через фильтр с очень маленькими ячейками кровь больной птицы. Правда, в то время еще не знали, что лейкемия — это своего рода злокачественное новообразование. С другой стороны, подозрение, что некоторые опухоли могут быть заразными, возникло еще в середине XIX века: итальянский врач Доменико Ригони-Стерн заметил, что в Вероне монахини значительно реже болеют раком шейки матки, чем замужние женщины.

Роус решил проделать эксперимент на курах, пораженных саркомой. Он взял несколько птиц из одного хозяйства, где все птицы приходились друг другу родственниками и у некоторых были опухоли. Роус измельчил и тщательно перемешал ткани этих опухолей, сделав из них вытяжку. Эту вытяжку он пропустил через «сито» с настолько мелкими ячейками, что через них не проходили даже клетки бактерий. У небольшого процента кур, которым ввели полученный фильтрат, быстро развились опухоли, у одной птицы они даже дали метастазы в сердце. Ученый сделал вывод, что опухоли определенного типа содержат вирус, способный передать болезнь другим птицам («Journal of Experimental Medicine», 1910, 12, 5, 696—705). Сейчас эта болезнь носит название «саркома Роуса», а возбудитель — вирус саркомы Роуса (BCP).

Роус пробовал повторить эксперимент на курах с рынка, не состоявших друг с другом в близком родстве, а также на голубях и морских свинках. Однако в этих случаях фильтрат из опухолей никого так и не заразил. О работе американца надолго забыли: ее результаты не удалось повторить с млекопитающими. Ученые решили, что саркома Роуса не имеет того сходства с «заразными» опухолями

зверей, которое ей приписывал первооткрыватель. Вероятная причина неуспеха крылась в том, что в начале XX века еще не существовало инбредных линий крыс и мышей, то есть таких, в которых все животные генетически однородны. Имунная система подопытных, генетически далеких друг от друга, отвергала сам фильтрат, опознавая его как чужеродный биоматериал.

Впоследствии, в 1970-х годах, выяснилось, что BCP — это ретровирус (к той же группе относится ВИЧ). Это означает, что в вирусной частице содержится не ДНК, а РНК плюс фермент обратная транскриптаза. Попадая в клетки организма-жертвы, обратная транскриптаза выстраивает на матрице вирусной РНК сначала одну цепь ДНК, а затем и комплементарную ей другую. Получившаяся двуцепочечная молекула (по сути, генетический материал вируса) встраивается в ДНК клетки-хозяин. К счастью, она может долгое время никак себя не проявлять, но при этом передается потомкам клетки, если та вдруг поделится. И никто не застрахован от того, что гены BCP начнут транскрибироваться. Мы уже знаем, к чему это приведет — к развитию саркомы.

Однако саркома Роуса создала прецедент: ее первооткрыватель доказал, что злокачественные опухоли могут быть следствием вирусных инфекций. В 1970-х Харальд цур Хаузен обнаружил, что все женщины, больные раком шейки матки, заражены папилломавирусом, передающимся при половых контактах (вспомним веронских монахинь, избежавших этой участи). Цур Хаузен доказал, что большинство случаев рака шейки матки вызваны вирусом определенного типа, и получил Нобелевскую премию 2008 года. Сейчас уже существует ряд вакцин, снижающих до минимума вероятность заражения папилломавирусами нескольких типов и таким образом защищающих от рака шейки матки. И это лишь один из примеров достижений медицины, ставших возможными в том числе благодаря курам.

**С.Ястребова**

# А глаз как у орла

**О.Н.Нестеренко,**  
Московский зоопарк

Нам кажется, что животные видят мир примерно так же, как мы. На самом деле их восприятие сильно отличается от человеческого. Даже у птиц — теплокровных наземных позвоночных животных, как и мы, — органы чувств работают иначе, нежели у человека.

Важную роль в жизни птиц играет зрение. Тому, кто умеет летать, необходимо ориентироваться в полете, вовремя замечать пищу, зачастую на большом расстоянии, или хищника (который, возможно, тоже умеет летать и приближается стремительно). Так чем же зрение птиц отличается от человеческого?

Для начала отметим, что глаза у птиц очень крупные. Так, у страуса их осевая длина вдвое больше, чем у человеческого глаза, — 50 мм, почти как теннисные мячи! У растительноядных птиц глаза составляют 0,2—0,6% массы тела, а у хищных, сов и других птиц, выслеживающих добычу издали, масса глаз может в два-три раза превышать массу мозга и достигает 3—4% от массы тела, у сов — до 5%. Для сравнения: у взрослого человека масса глаз — примерно 0,02 % от массы тела, или 1% от массы головы. А, например, у скворца 15% массы головы приходится на глаза, у сов — до трети.

Острота зрения у птиц гораздо выше, чем у человека, — в 4—5 раз, у некоторых видов, вероятно, до 8. Грифы, питающиеся падалью, видят труп копытного животного в 3—4 км от них. Орлы замечают добычу с расстояния около 3 км, крупные виды соколов — с расстояния до 1 км. А сокол-пустельга, летящий на высоте 10—40 м, видит в траве не только мышей, но даже насекомых.

Какие особенности строения глаз обеспечивают такую остроту зрения? Один из факторов — размер: большие глаза позволяют получить большие изображения на сетчатке. Помимо этого, в сетчатке глаза птицы высока плотность фоторецепторов. У людей в зоне мак-



flickr.com/Nigel

симальной плотности 150000—240000 фоторецепторов на мм<sup>2</sup>, у домового воробья — 400 000, у обыкновенного канюка — до миллиона. Кроме того, хорошее разрешение изображения определяется соотношением количества нервных ганглиев к рецепторам. (Если несколько рецепторов подсоединено к одному ганглию, разрешение снижается.) У птиц это соотношение намного выше, чем у людей. Например, у белой трясогузки на 120 000 фоторецепторов приходится около 100 000 ганглиозных клеток.

Как и у млекопитающих, у птиц в сетчатке есть область, называемая центральной ямкой, — углубление в середине желтого пятна. В центральной ямке из-за высокой плотности рецепторов острота зрения наивысшая. Но интересно, что у 54% видов птиц — хищных, зимородков, колибри, ласточек и др. — есть еще одна область с наивысшей остротой зрения, для улучшения бокового обзора. Стрижам труднее добывать корм, чем ласточкам, в том числе потому, что у них лишь одна область острого зрения: стрижи хорошо видят только вперед, и способы ловли насекомых на лету у них менее разнообразны.

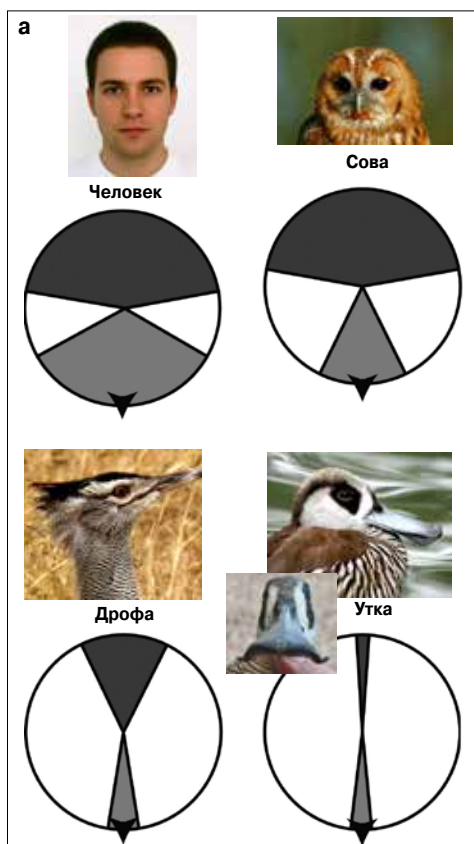
Глаза у большинства птиц расположены достаточно далеко друг от друга. Поле зрения каждого глаза — 150—170°, но перекрывание полей обоих глаз (поле бинокулярного зрения) составляет у многих птиц лишь 20—30°. Зато летящая птица может видеть то, что делается перед ней, с боков, сзади и даже внизу (рис. 1). Например, крупные и выпуклые глаза американских вальдшнепов *Scolopax minor* высоко расположены на узкой голове, и у них поле зрения дости-

гает 360° в горизонтальной плоскости и 180° в вертикальной. У вальдшнепа имеется поле бинокулярного зрения не только впереди, но и позади! Очень полезное качество: кормящийся вальдшнеп засовывает клюв в мягкий грунт, разыскивая там дождевых червей, насекомых, их личинок и другую подходящую пищу, при этом видит и то, что творится вокруг. Большие глаза козодоев слегка смещены назад, их поле зрения тоже около 360°. Широкое поле зрения характерно для голубей, уток и многих других птиц.

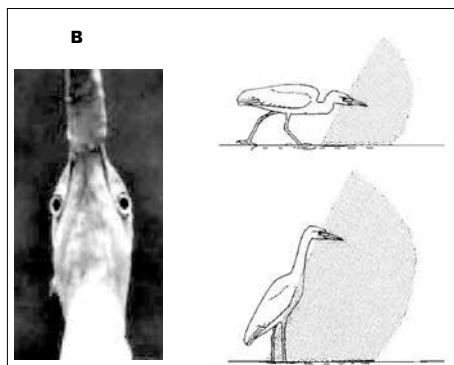
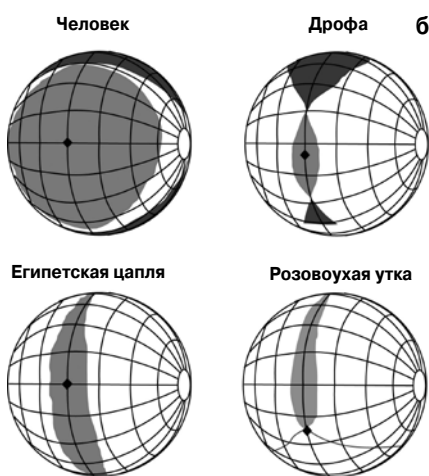
А у цапель и выпей поле бинокулярного зрения смещено вниз, под клюв: оно узкое в горизонтальной плоскости, но вытянутое вертикально, до 170°. Такая птица, когда держит клюв горизонтально, может видеть бинокулярным зрением собственные лапы. И даже поднимая клюв вверх (как делают выпы, поджидая добычу в камышах и маскируясь за счет вертикальных полосок на оперении), она способна смотреть вниз, замечать плавающую в воде мелкую живность и точными бросками ловить ее. Ведь бинокулярное зрение позволяет определять расстояние до предметов.

Для многих птиц важнее иметь не большое поле зрения, а именно хорошее бинокулярное зрение, двумя глазами сразу. Это прежде всего хищные птицы и совы, так как им необходимо оценивать расстояние до добычи. Глаза у них близко посаженные, и пересечение полей зрения достаточно широкое. При этом узкое общее поле зрения компенсируется подвижностью шеи. Из всех видов птиц бинокулярное зрение лучше всего развито у сов, а голову они могут поворачивать на 270°.



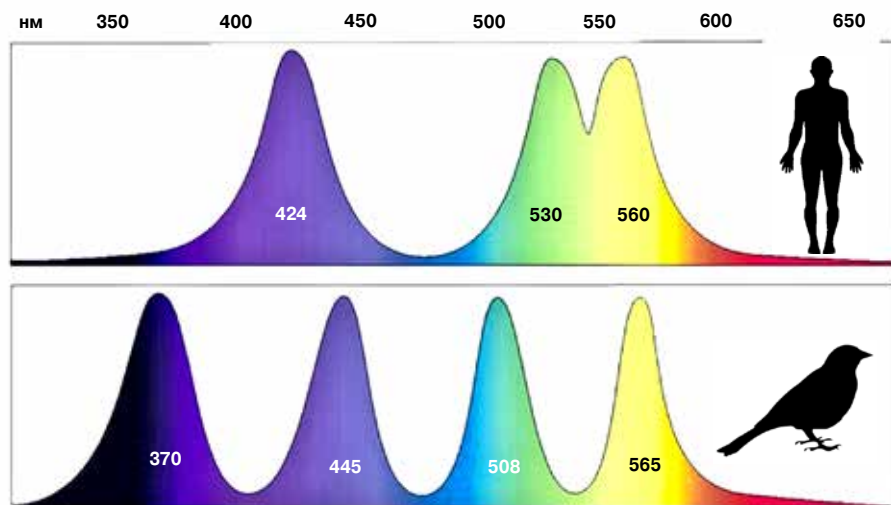


1  
Поля зрения человека и птиц в горизонтальной плоскости на уровне глаз (а) и в проекции на сферу (б). Приматы — чемпионы по бинокулярному зрению, но птицы смотрят на мир шире: многие из них способны глядеть назад и вверх, не поворачивая головы. Цапли могут обоими глазами заглянуть себе под клюв (б, в). Австралийской розовоухой утке это не дано (мешает сам клюв), зато обзор вверх и назад у нее прекрасный (По: Brain Behavior and Evolution, 1994, 44, 74—85, Journal of Vision, 2009, 9, 11, 14, 1—19)



Для фокусировки глаз на объекте при быстром движении (собственном, или объекта, или суммарном) нужна хорошая аккомодация хрусталика, то есть способность быстро и сильно быстро менять его кривизну. Глаза птиц снабжены специальной мышцей, изменяющей форму хрусталика эффективнее, чем у млекопитающих. Особенно развита эта способность у птиц, которые ловят добычу под водой, — бакланов, зимородков. У бакланов способность к

2  
В сетчатке человека есть три типа колбочек и три максимума чувствительности, в сетчатке птиц — четыре, причем кривые их спектральной чувствительности перекрываются куда меньше, чем у нас



аккомодации равна 40—50 диоптриям, а у человека 14—15, хотя некоторые виды, например куры и голуби, имеют всего 8—12 диоптрий. ныряющим птицам помогает еще видеть под водой прозрачное третье веко, закрывающее глаз, — своего рода очки для подводного плавания.

Все, наверное, обращали внимание на то, как ярко окрашены многие птицы. Некоторые виды — чечетки, коноплинки, зарянки, в целом неярко окрашенные, имеют участки яркого оперения. У других во время брачного периода появляются яркие части тела, например фрегаты-самцы надувают красный горловой мешок, у тупиков клюв становится ярко-оранжевым. Таким образом, даже по окраске птиц видно, что у них хорошо развито цветное зрение, в отличие от большинства млекопитающих, среди которых нет таких нарядных созданий. У млекопитающих лучше всех различают цвета приматы, но птицы опережают даже их, и человека в том числе. Это связано с некоторыми особенностями строения глаз.

В сетчатке млекопитающих и птиц есть две основные разновидности фоторецепторов — палочки и колбочки. Палочки обеспечивают ночное зрение, в глазах сов преобладают именно они. Колбочки отвечают за дневное зрение и различение цветов. У приматов три типа (они воспринимают известные всем окулистам и цветоискателям красный, зеленый и синий цвета), у остальных млекопитающих только два. У птиц четыре типа колбочек с разными зрительными пигментами — красный, зеленый, синий и фиолетовый/ультрафиолетовый. А чем больше разновидностей колбочек, тем больше оттенков различает глаз (рис. 2).

В отличие от млекопитающих, каждая колбочка птиц содержит еще каплю окрашенного масла. Эти капли играют роль фильтров — отрезают часть спектра, воспринимаемого конкретной колбочкой, за счет этого уменьшают перекрытие реакций между колбочками, содержащими разные пигменты, и увеличивают количество цветов, которые могут различать птицы. В колбочках вы-



ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ





явлены шесть типов масляных капель; пять из них представляют собой смеси каротиноидов, которые поглощают волны различной длины и интенсивности, а в шестом типе пигменты отсутствуют. Точный состав и окраска капель варьируют от вида к виду: возможно, они обеспечивают тонкую настройку зрения, так, чтобы его возможности наилучшим образом соответствовали среде обитания и пищевому поведению.

Четвертый тип колбочек позволяет многим птицам различать ультрафиолетовый цвет, для людей невидимый. Список видов, для которых эта способность доказана экспериментально, в последние 35 лет сильно вырос. Это, например, бескилевые, кулики, чайки, чистиковые, трогоновые, попугаеобразные и воробьиные. Эксперименты показали, что области оперения, демонстрируемые птицами во время ухаживания, часто имеют ультрафиолетовую окраску. Для человеческого глаза около 60% видов птиц не имеют полового диморфизма, то есть самцы и самки внешне неотличимы, но сами птицы, возможно, так не считают. Конечно, нельзя показать людям, как птицы видят друг друга, но можно примерно представить это по



фотографиям, где ультрафиолетовые участки тонированы условным цветом (рис. 3).

Способность видеть ультрафиолетовый цвет помогает птицам отыскивать корм. Показано, что плоды и ягоды отражают ультрафиолетовые лучи, что делает их более заметными для многих птиц. А пустельги, возможно, видят тропинки полевых: они помечены мочой и экскрементами, которые отражают ультрафиолет и за счет этого становятся видимыми для хищной птицы.

Однако, обладая самым лучшим восприятием цвета среди наземных позвоночных, птицы лишаются его с наступлением сумерек. Чтобы различать цвета, птицам нужно в 5—20 раз больше света, чем людям.

Но это еще не все. У птиц есть и другие недоступные нам способности. Так, они видят быстрые движения значительно лучше людей. Мы не замечаем мерцание со скоростью больше 50 Гц (например, свечение люминесцентной лампы нам кажется непрерывным). Временное разрешение зрения у птиц значительно выше: они могут заметить более 100 изменений в секунду, например у



<http://www.mybirds.ru>

3

*Птицы способны увидеть ультрафиолетовую окраску в оперении волнистого попугая и синицы-лазорежки (показано сиреневым цветом)*

мухоловки-пеструшки — 146 Гц (PLoS ONE, 2016, 11(3): e0151099, doi: 10.1371/journal.pone.0151099). Это упрощает мелким птицам охоту на насекомых, но, возможно, делает невыносимой жизнь в неволе: лампы в помещении, по мнению человека, нормально светящие, для птицы противно мигают. Птицы способны видеть и очень медленное движение — например, перемещение солнца и звезд по небу, недоступное нашему невооруженному глазу. Предполагается, что это помогает им ориентироваться во время перелетов.

Цвета и оттенки, неизвестные нам; круговой обзор; переключение режимов от «бинокля» до «лупы»; самые быстрые движения видны четко, как в замедленной съемке... Нам трудно даже представить, как воспринимают мир птицы. Можно только восхищаться их возможностями!



## О подписке



### Реквизиты:

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

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

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

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

**Роботы  
в воздухе  
и воде**

*Механические  
животные начина-  
ют патрулировать  
пространство.*

Птицы сильно досаждают авиаторам, норовя попасть в двигатель самолета. Поэтому аэропорты борются с птицами всеми возможными способами, например полвека тому назад заводили ястребов. Содержание хищных птиц — непростое дело, и вот голландские инженеры создали им замену — механического ястреба. Это дрон, причем такой совершенный, что пернатые твари принимают его за настоящего ястреба и предпочитают по-хорошему покинуть опасную зону: не вить там гнезда и не летать. Натурные испытания робоястреб выдержал столь хорошо, что Международный аэропорт Эдмонта в канадской Альберте закупил партию этих роботов у компании, созданной при Университете Твенте. Теперь это первый аэропорт, где небо патрулируют искусственные хищники, а специалисты из других аэропортов с замиранием сердца следят: справится ли с птицами летающее пугало или те все-таки разгадают подделку.

А инженеры из мадридского Политехнического университета и Университета Флоренции создали робота для патрулирования рыбных ферм. Чтобы не пугать обитателей водоема, его сделали в форме небольшой рыбы и оснастили датчиком, который измеряет кислотность воды — она служит показателем общего уровня загрязнения. Робот, обнаружив аномалию, не только ее зафиксирует, но, следуя по градиенту концентрации, найдет ее источник. А для движения он использует привод из сплава с памятью формы, размещенный на месте позвоночника, благодаря чему и плавает подобно рыбе



Агентство  
«AlphaGalileo»,  
10 мая 2017 года.

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

**Храпометрия**

*Чтобы проследить  
за сном, надо за-  
писывать звуки.*

Расстройством сна страдают многие люди. Врачи же следят за сном отдельных пациентов с помощью сложного оборудования для полисомнографии, которое фиксирует частоту сокращений сердца, движения глаз и активность мозга. Все это нужно делать в клинике, где пациенту спать непривычно. Соответственно нет гарантий, что удастся выявить истинные причины расстройства, кроме, возможно, самых заметных.

Японские исследователи из Осацкого университета во главе с доцентом Фукуи Кен-ити решили принципиально изменить эту практику: для сбора информации о состоянии сна они предлагают использовать смартфон. Располагаясь возле спящего, этот прибор, нисколько не тревожа хозяина, будет записывать издаваемые тем звуки. Метод информативнее, чем кажется: так, известно, что в фазу глубокого сна человек всхрапывает, а когда сон переходит в другую стадию — поскрипывает зубами. Записанные звуки можно обработать с помощью алгоритма, который построит динамическую карту сна. А далее ее надо расшифровать.

Доцент Фукуи и его студенты проводили исследования с помощью как полисомнографа, так и смартфона. Сравнение результатов позволило настроить алгоритм расшифровки звуковых сигналов, так что при визуализации карты сна все его аномалии оказались хорошо видны. Не исключено, что в недалеком будущем, особенно при накоплении статистики — а в информационный век накопить ее несложно, — приложение для смартфонов даст возможность не только классифицировать расстройства сна, но и определить, что мешает полноценному ночному отдыху: свет, температура в доме или что-то еще.

Агентство  
«AlphaGalileo»,  
20 апреля 2017 года.

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

**Среда и герпес**

*Вирус герпеса  
может неделями  
обходиться без  
хозяина.*

Есть мнение, что оболочечные вирусы, в том числе вирус герпеса, жить во внешней среде не могут, и, если капля слюны при чихании не попадет на другого хозяина, тут вирусу и конец. Это мнение теперь кажется неверным.

Биологи из Института исследований зоопарков и дикой природы Ассоциации Лейбница совместно с коллегами из Свободного университета Берлина показали, что герпесвирус лошади при определенных обстоятельствах (особенно важны кислотность и температура) может существовать в воде не менее трех недель. Если в воде есть частички почвы, то вирус находит в них временное пристанище и сохраняет жизнеспособность еще дольше. Отсюда важный вывод: необработанная вода может быть прекрасным переносчиком вируса, и место водопоя, где больное животное оставило в воде капли зараженной слюны, вполне способно породить эпизоотию. При этом не исключено, что само больное животное будет уже далеко от этого источника воды.

Таким образом, вирусы, подобные герпесу, могут присутствовать в окружающей среде и быть частью природного «виroma»; это обстоятельство нужно учитывать при анализе заболеваний диких животных и человека.

Агентство  
«AlphaGalileo»,  
20 апреля 2017 года.

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

**Выращивая  
мох**

*Выработанный  
торфяник может  
приносить доход.*

Торф образуется под моховым болотом, из болот и добывают этот крайне нужный для сельского хозяйства разрыхлитель почвы: за год более 30 млн тонн. Однако у экологов торфоразработки вызывают протест, поскольку они разрушают природные ландшафты, нарушают водный режим, да и с утилизацией углекислого газа в этом месте возникают проблемы. Ральф Рески и Ева Деккер из Фрайбургского университета решили положить конец такому расточительству и придумали технологию восстановления мохового болота. Причем это будет не просто восстановление, а экономически выгодное мероприятие: выращенный мох через несколько лет можно будет убрать и превратить в такое же сельскохозяйственное сырье, как и торф. Только это получится вполне современный мох, изъывший углекислый газ из атмосферы в наши дни глобального потепления, а не в глубокой древности. Главным препятствием для проекта служит даже не отсутствие желающих заняться посадками мха, а недостаток посадочного материала. Поэтому исследователи в рамках финансируемого ЕС проекта «MossClone» осваивают выращивание в биореакторе быстрорастущего мха.

По мнению немецких специалистов, возделывание мха не только поможет сохранить моховые болота в более-менее близком к исходному виде, но и обеспечит работой людей в сельских районах.

Агентство  
AlphaGalileo», 15 мая  
2017 года.

# Конвергенция

Когда животные, состоящие в весьма отдаленном родстве, вынуждены приспосабливаться к одинаковым условиям, они приобретают сходство. Такое независимое схождение признаков называется конвергенцией, ее еще Чарльз Дарвин описал, и учебники изобилуют примерами. У птиц и летучих мышей вырастают крылья, у летучих мышей и дельфинов развивается эхолокация, дельфины внешне напоминают крупных рыб. Но если результаты конвергенции всем заметны, то ее молекулярные механизмы пока остаются в тени. Возможность их исследовать появилась относительно недавно.

## Комфорт в знойной пустыне

Что общего между верблюдом и земляной белкой? На первый взгляд этот вопрос напоминает знаменитую загадку кэрролловского Шляпника: «Чем ворон похож на котенка?» Земляная белка, или тринадцатиполосный суслик *Ictidomys tridecemlineatus*, — обитатель прерий Северной Америки. Дикий двугорбый верблюд *Camelus ferus* водится в пустынях Гоби и Такламакан в Монголии и в китайской провинции Синьцзян, где очень мало воды и растительности. Этим столь разных животных объединяет способность хорошо переносить температуру выше 45°C, некомфортную для большинства млекопитающих. Боль от высокой температуры воспринимают рецепторы TRPV1, расположенные на мембранах соматосенсорных нейронов. Белок TRPV1 — длинная, сложно уложенная молекула (рис. 1). Два ее конца находятся внутри клетки, а центральная часть, состоящая из шести доменов, образует ионный канал. N-конец, утопающий в цитоплазме, состоит из так называемых анкириновых повторов, соединенных альфа-спиралями, на рисунке они пронумерованы. Высокая температура изменяет конформацию молекулы (термочувствительный модуль пока не нашли), канал открывается, поток ионов входит в клетку, и болевой сигнал отправляется в мозг.

Толерантность к высокой температуре может быть связана с особенностями самих рецепторов, особенностями передачи сигналов или их восприятия в центральной нервной системе. Для выяснения этого вопроса объединили усилия специалисты нескольких лабораторий Медицинской школы Йельского университета под руководством Святослава Багрянцева и Елены Грачевой («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2016, 113, 11342—11347, doi: 10.1073/pnas.1604269113). Прежде всего они сравнили термочувствительность лабораторных мышей и сусликов и выяснили, что мыши ощущают явный дискомфорт при температуре 43—45°C, а суслики — при 55°C. Оказалось, что разницу в термочувствительности определяет именно белок TRPV1: хотя нейроны сусликов синтезируют его в достаточном



Дикий двугорбый верблюд



Тринадцатиполосный суслик

количестве, на температуру ниже 45° их рецептор не реагирует.

Чтобы определить реакцию TRPV1 на раздражители, его гены клонировали и вводили в ооциты шпорцевых лягушек. На мембране ооцитов появлялись рецепторы, а исследователи измеряли, как меняется концентрация ионов в клетке при разных температурах. Если концентрация протонов увеличилась, значит, рецептор активировался и открыл ионный канал. TRPV1 реагирует не только на температуру, но и на жгучий алкалоид капсаицин и кислую среду, и к этим факторам рецептор сусликов сохранил чувствительность в полной мере.

Исследователи проверили таким же образом TRPV1 другого термофила, дикого двугорбого верблюда. Его рецептор тоже не реагирует на увеличение температуры от 22 до 46°C, сохраняя нормальную чувствительность к капсаицину.

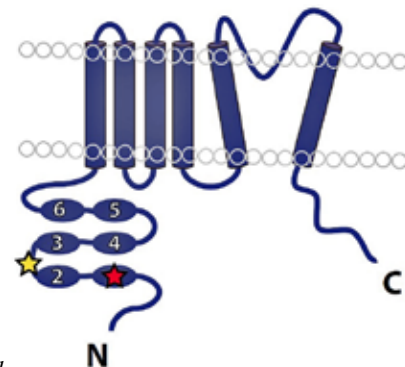
Последовательности белка TRPV1 мыши, суслика и верблюда очень близки, а устойчивость к высокой температуре определяют две аминокислоты: аспарагин и глутаминовая кислота. Одна судьбоносная аминокислота находится в первом анкириновом повторе, другая — в альфа-спирали, соединяющей повторы 2 и 3 (рис. 1). У лабораторных грызунов

этим аминокислотам соответствуют серин и глутамин. Замена хотя бы одной из двух аминокислот, аспарагина на серин или глутаминовой кислоты на глутамин, снижает термочувствительность верблюжьего рецептора до крысиного уровня. Одна мутация, и ему уже плохо в пустыне Гоби, то есть фактически он не верблюд, и никому ничего не докажешь!

И тринадцатиполосный суслик, и верблюд использовали для адаптации к высоким температурам один и тот же молекулярный механизм, причем очень простой и дешевый. Мутации влияют на структуру рецептора, нарушая связь между его термочувствительной частью, находящейся неизвестно где, и ионным каналом, и меняют условия его открытия. Однако в этом механизме еще не все ясно. У коровы, летучей мыши-вампира, цыпленка, рыбки данио, тихоокеанского крота рецепторы TRPV1 также содержат пару аспарагин/глутаминовая кислота, сохраняя при этом обычную высокую термочувствительность.

Вообще, рецептор TRPV1 известен своей пластичностью и легко перестраивается в зависимости от потребностей организма. У кур он реагирует на температуру не менее 46°C, поскольку температура тела птиц выше, чем у млекопитающих. А у летучих мышей вампиров TRPV1 активируется уже при 30°C, выполняя функции температурного датчика, помогающего вампиру обнаружить подкожные кровеносные сосуды на теле жертвы. Теперь мы знаем, как достигается такая пластичность.

Йельские ученые интересовались только термочувствительностью и обнаружили конвергенцию в строении



1  
Схема рецептора TRPV1. Звездочками показаны положения аминокислотных замен, снижающих чувствительность животных к высокой температуре



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ



рецепторов верблюда и суслика. Однако рецептор — лишь сенсор, облегчающий пребывание на жаре. Для адаптации к высоким температурам его пониженная чувствительность необходима, но недостаточна. Фактическая термостойкость требует более глубоких изменений в работе разных систем организма, и каковы они у суслика и верблюда, мы не знаем. Чтобы это выяснить, необходимы комплексные исследования. Примером таких исследований может служить работа китайских ученых, посвященная пандам.

## Путь к бамбуку

Китай славен пандами. Их две. Бело-черная большая панда *Ailuropoda melanoleuca* относится к семейству медвежьих (Ursidae), а красная панда *Ailurus fulgens*, животное немного крупнее кошки, — к семейству пандовых Ailuridae, подсемейству кунцепоподобных Musteloidea. Эволюционные пути этих видов разошлись более 43 млн лет назад, и объединяет их лишь одно обстоятельство. Будучи по своему систематическому положению и физиологическим особенностям хищниками, они питаются преимущественно бамбуком. Кормовой объект они выбрали неудачно — это на редкость непитательное растение. В нем всего 13,2% белков, 3,2% жиров и 3,3% растворимых углеводов. Остальное — пищевые волокна и вода. Чтобы выжить на такой диете, необходимы специальные приспособления для эффективной утилизации корма.

То обстоятельство, что панды, состоящие в отдаленном родстве, перешли на бамбуковую диету независимо, делает их идеальной моделью для изучения конвергенции. Китайские исследователи под руководством профессора Зоологического института Китайской академии наук Фу-Вэнь Вэя заново секвенировали геном красной панды и уточнили последовательность генома большой панды. Сравнив затем две последовательности, они обнаружили 70 генов с конвергентными изменениями, которые позволили хищникам адаптироваться к вегетарианской диете («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2017, 114, 1081—1086, doi: 10.1073/pnas.1613870114). В своей статье они описали лишь несколько.

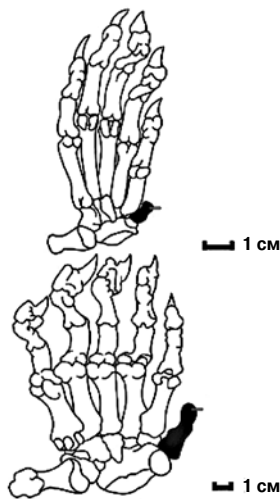
Итак, чтобы съесть бамбук, прежде всего его надо ухватить. Людям, имеющим противостоящий большой палец, это несложно. У хищников лапа устроена иначе. Для решения задачи обе панды отрастили себе шестой «псевдопалец», облегчающий захват (рис. 2).

Развитие конечностей регулируют два гена, *DYNC2H1* и *PCNT*, нарушение их функций ведет к полидактилии. В этих генах у обеих панд есть мутации, приведшие к конвергентной замене аминокислот. Их совместное действие, по мнению исследователей, может привести к образованию дополнительного



Большая панда

Красная (малая) панда



2

Скелеты кисти красной (сверху) и большой панд. Псевдопалец выделен серым

псевдопальца. Одну из таких замен в гене *DYNC2H1* ученые обнаружили только в генах большой и красной панд, хотя они анализировали последовательности 62 видов плацентарных млекопитающих.

Почти все незаменимые аминокислоты, жирные кислоты и витамины панды получают из бамбука. Поскольку это растение чрезвычайно бедно полезными веществами, извлекать их следует с особой эффективностью. В процесс расщепления белков вовлечены три гена, *PRSS1*, *PRSS36* и *CPB1*, — они кодируют ферменты, относящиеся к классу сериновых протеаз. Поджелудочная железа выделяет их в тонкий кишечник. В результате конвергентных изменений эти ферменты особо успешно высвобождают из пищевых белков незаменимые аминокислоты лизин и аргинин, повышая таким образом питательную ценность бамбука.

Теперь витамины. Обе панды ночью активны почти так же, как днем. Чтобы видеть в темноте, необходим витамин А, без его участия не образуется белок ночного зрения родопсин. Но витамин А содержится только в мясе, и приходится животным довольствоваться его предшественником, бета-каротином, которым бамбук особенно беден. Конвергентные мутации в генах

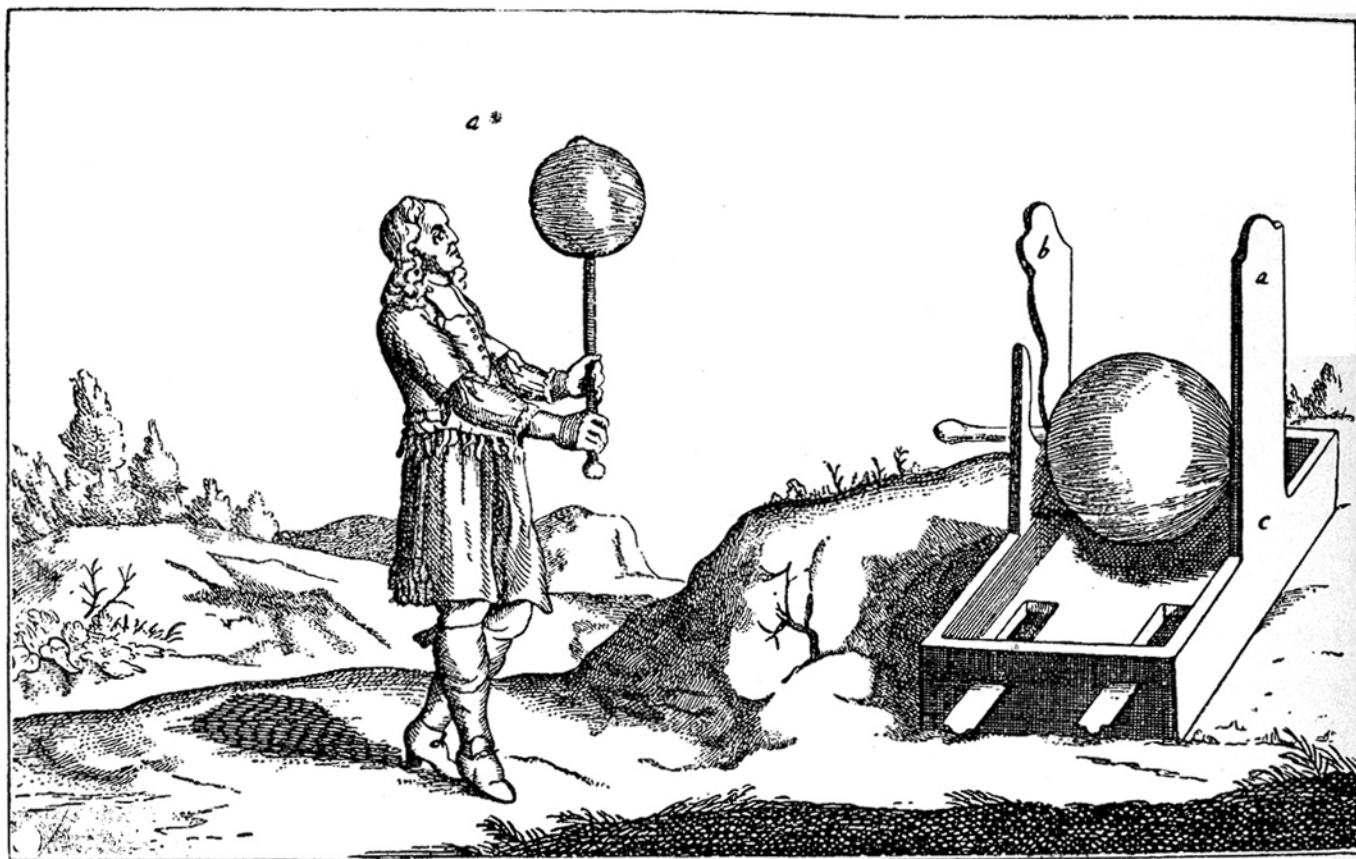
*ADH1C* и *CYP3A5*, участвующих в метаболизме витамина А, позволяют усилить его утилизацию.

Длительная вегетарианская диета приводит к дефициту витамина  $B_{12}$ , который синтезируется исключительно кишечной микрофлорой. Недостаток  $B_{12}$  увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний. Пандам на помощь приходит гликопротеин *GlF*, выделяемый клетками слизистой оболочки желудка. Этот белок увеличивает эффективность всасывания витамина  $B_{12}$ . А измененный фермент *CYP4F2* активнее катализирует превращение арахидоновой кислоты в 20-гидроксиэйкозатетраеновую кислоту — важный субстрат для усиления антисклеротической активности эндотелиальных клеток сосудов. Возможно, это еще один способ компенсировать нехватку витамина  $B_{12}$ .

Все гены, о которых шла речь, перенесли неслучайные конвергентные мутации, повлиявшие на активность соответствующих белков. Но этим дело не ограничилось. У обеих панд перестал функционировать один и тот же ген *TAS1R1*, кодирующий белок-рецептор вкуса умами. Этот вкус ощущают те, кто питается мясом и другими продуктами, богатыми белком. В генах *TAS1R1* красной и большой панд произошли разные мутации, но итог один — вкус мяса они почувствовать не могут. Вот уж конвергенция так конвергенция!

Исследователи определили, что *TAS1R1* красной панды утратил функциональность около 1,58 млн лет назад. Окаменевшие остатки бристольской панды *Pristinailurus bristoli* и других ископаемых представителей рода *Parailurus*, родственных красной панде, свидетельствуют о том, что эти животные включали растительность в свой рацион уже 7—4,5 млн лет назад. Потеря функции одного и того же гена и утрата рецептора произошла у красной и большой панд после того, как их диета стала отчасти растительной, что могло быть эволюционным ответом на переход к травоядности. Знать бы, что их к этому побудило.

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



# Науки — наукам

Л.Намер, И.Ильин

В учебнике предусмотрены специальные вставки дополнительного материала. Содержание вставок охватывает разнообразные межпредметные связи, например «математика в химии», «информатика в химии», «физики для химиков», «химики для физиков», «химия и писатели», «химия и поиски внеземной жизни».

Из пояснительной записки  
к учебнику химии А.В.Мануйлова

## Наука, инженерия и приборы

Науку принято делить на науки — физику, химию, биологию и другие. И отделять науки, как способ получения знания, от инженерии, как способа создания вещей. Разумеется, и первое, и второе деления и нечетки, и дискуссионны, но несколько лет после окончания школы мы еще помним, что законы Ньютона относятся к физике,  $\text{NaCl}$  — к химии, а позже делим интуитивно. Заметим, что науки интуитивно делятся, а инженерия — не вполне: отдельных слов для «инженерий» нет, приходится говорить — инженер-математик, инженер-физик, инженер-химик... термин инженер-биолог уже появился, хотя пока он употребляется в 30 раз реже.

Среди всего того, что создают инженеры, есть и научные приборы — ускорители и телескопы для физики, хромотографы и спектрофотометры для химии, микроскопы и секвенаторы для биологии. Инженеры работают над этими

приборами вместе с учеными-заказчиками, сотрудничество тем более тесное, чем более новый прибор предполагается создать. А еще лучше, если это делают инженеры-физики, инженеры-химики и т. д.: они знают специфику наук. Но каких именно — своих наук или наук-заказчиков? Этот вопрос возникает потому, что приборы для одной науки могут создавать инженеры от других наук, а прибор, сконструированный с использованием результатов одной науки, находит применение в другой. Например, радиотелескопы для физики создают инженеры-физики или инженеры вместе с физиками. Но электронный микроскоп, явный продукт физики, используют биологи и химики. Спектроанализаторы — тоже продукт физики, но они применяются в химии. И вообще, если обозреть приборный парк химии и биологии, то возникает впечатление, что большую часть приборов для химии и биологии создали физики и инженеры-физики; разумеется, вместе с заказчиками. А бывает ли наоборот? Например, используют ли физики приборы и методы, созданные химиками?

## Разделение физики и химии

Дробление наук на все более узкие области приводит к постепенному стиранию граней между физикой и химией. И если в XVIII веке еще были ученые, которые могли внести существенный вклад в разные области знания (их называли естествоиспытателями), то сейчас трудно представить человека, одинаково хорошо разбирающегося во всех областях даже одной науки, например физики или химии. Первые на-

*Вверху: бургомистр Отто фон Герике и шары, из которых он добывал электричество*

учные журналы тоже не разделялись по разным отраслям знаний. Так, в 1665 году в Париже начал издаваться «Журнал ученых» (*Journal des Sçavans*), в Лондоне — «Философские записки» (*Philosophical Transactions*), а в Лейпциге с 1682 года — журнал «Труды ученых» (*Acta eruditorum*). Отголосок тех лет — название журнала *The Philosophical Magazine*, в котором публиковались вовсе не философские труды, а статьи, посвященные теоретической, экспериментальной и прикладной физике. Именно в нем были напечатаны многие пионерские работы Эрнеста Резерфорда и других крупнейших физиков, а название объясняется тем, что журнал был основан в XVIII веке, когда еще трудились последние ученые-энциклопедисты. Позже у этого журнала появилось второе, «поясняющее», название: *A Journal of Theoretical, Experimental and Applied Physics*. Присваиваемое в ряде стран ученое звание «доктор философии» (*Philosophy Doctor, PhD*) также напоминает о тех временах, когда естествоиспытателей называли философами.

Отделение химии от физики началось, по-видимому, в XVII веке благодаря работам Роберта Бойля и других ученых. В течение нескольких веков, вплоть до середины XX столетия, и способ мышления, и экспериментальные методы, используемые физиками и химиками, сильно различались. Физики изучали фундаментальные свойства вещества, а химики часто имели дело с эмпирическими методами, позволяющими превращать одни вещества в другие. А чем же занимались физикохимики? Здесь можно вспомнить не слишком серьезное определение американского физикохимика Эдварда Уошберна (1881—1934), издателя семитомного справочника *International Critical Tables of Numerical Data. Physics, Chemistry and Technology* (1926—1933): «Физик проводит измерения с помощью очень точных приборов, но на очень грязных химических веществах; химик делает те же измерения посредством очень грубых приборов, но с очень чистыми реактивами; физикохимик же использует не только плохие приборы, но и грязные реактивы». Это тот самый Уошберн, который предложил разделять изотопы водорода электролизом, что позволило получить дейтерий и тяжелую воду.

Заметим, что разделение биологии и физики — тоже интересный и непростой вопрос. И он — по крайней мере, в одном пункте — имеет прямое отношение к нашей теме. А именно, если посмотреть на историю изучения электрических рыб (см. «Химию и жизнь», 2011, 9), то видно, что при изучении данной группы объектов эти две науки не только работали вместе, но и были тесно переплетены. Один и тот же ученый мог изучать и электричество, и зверушек, да и с объектом не было ясности, то ли «животное электричество» физический феномен, то ли некое таинственное свойство живого? Заметим, что получение чисто физического, причем катастрофически важного, знания именно биологическими методами не исключено. Например, это произошло бы при обнаружении телепатии или кожного зрения.

## Химия для физики: открытие трансуранов

Известно несколько применений химических методов и процессов в самой что ни на есть передовой физике. Начнем с получения трансурановых элементов. Сами трансураны получают при ядерных реакциях, но требуется еще выделить их атомы из облучаемого в реакторе материала либо из мишени, если облучение шло в ускорителе. Разделение делалось или традиционными химическими методами, или ионообменными. Подробности см. в книге «Популярная библиотека химических элементов», глава «Эйнштейний» (М.: «Наука», 1977, <http://n-t.ru/ri/ps/pb099.htm>). Кстати, в основу этой книги были положены публикации в журнале «Химия и жизнь».



## РАЗМЫШЛЕНИЯ

Занималась добычей трансуранов группа радиохимиков Калифорнийского университета во главе с Гленном Сиборгом (1912—1999). В раствор, содержащий смесь актиноидов, они насыпали крупы полимера-катионита. Ионы элементов с порядковым номером от 89 и больше переходили из раствора на катионит. Оставалось отмыть их с гранул и разделить, для чего использовали классический метод химии — хроматографию. Мокрые крупы катионита помещали в верхнюю часть колонки, наполненной тем же самым полимером. Затем через колонку нужно было пропустить специальные жидкости (элюенты), которые вымывают различные элементы с разной скоростью. Например, для разделения лантаноидов используют соляную кислоту и цитрат аммония. Эти же вещества решили использовать при разделении актиноидов: ведь актиноиды и лантаноиды — химические аналоги.

Из-за неодинаковой прочности сцепления разных ионов с катионитом в первых каплях элюента, выходящего из колонки, содержался только самый тяжелый элемент, в последующих — второй, чуть более легкий, и так до самого легкого. Каждую каплю раствора принимали на отдельный платиновый диск и тут же определяли радиоактивные свойства элемента, принесенного в этой капле. Если по химическим свойствам актиноиды — почти двойники, то по радиоактивным они различны.

Атомы новых элементов с большими номерами получают почти поштучно, их наличие устанавливают косвенно, по дальнейшему распаду — в цепочке распада наличествуют изотопы, про которые уже известно, как они распадаются, а энергии вылетающих при этом частиц могут быть измерены с достаточной для идентификации точностью. По этим энергиям может быть установлен нуклид — продукт распада, а уже по нему — искомым новый элемент.

Девятнадцатого декабря 1952 года группа ставила очередной опыт. Было известно, в какой капле должен появиться самый тяжелый из открытых к тому времени элементов — калифорний. Однако раньше, в «докалифорниевых» каплях, приборы регистрировали альфа-частицы с энергией 6,6 МэВ. Их порождали атомы неизвестного элемента. Стали считать капли, в которых новый элемент давал о себе знать. Налицо была аналогия с десятым лантаноидом — гольмием. Значит, гольмий — ближайший аналог нового элемента и этот элемент — десятый актиноид; следовательно, его номер 99. Спустя месяц таким же путем был найден элемент № 100. Впоследствии эти элементы называли эйнштейнием и фермием.

## Химия для физики: изучение нейтрино

Другой пример, когда химические методы помогли решить важную физическую задачу, — извлечение единичных атомов германия в галлий-германиевых нейтринных детекторах GALLEX, GNO (на растворе  $\text{GaCl}_3$ ) и SAGE (на жидком Ga). Механизм работы детектора основан на том, что атом галлия-71 при захвате нейтрино превращается в атом германия-71.



Процесс это весьма маловероятный, и поэтому приходится извлекать единичные атомы германия из 50 тонн жидкого галлия (в детекторе SAGE). Метод описан в диссертации и статьях его разработчика, С.М.Киреева.

Из жидкого галлия создается дисперсная система — капли галлия в кислом растворе, с соотношением металла и раствора 100:1 (по массе). На поверхности капель в присутствии окислителя образуется и поддерживается пленка оксида галлия, которая собирает в себе микропримеси, в том числе германий. Площадь пленки велика, поскольку капли мелкие, а объем маленький, потому что пленка тонкая. В результате германий накапливается в небольшом объеме оксидной пленки. Из этой пленки его переводят в раствор, концентрируют, превращают в моногерман  $\text{GeH}_4$ , который и поступает в систему регистрации распадов единичных атомов. Полнота выделения зависит от скорости диффузии атомов из объема жидкого металлического галлия к границе раздела фаз. Задавая время существования дисперсной системы, можно добиться практически полного извлечения.

Вообще, химических технологий существует великое множество, и все, что нас окружает, создано с их помощью, в том числе разнообразные объекты, необходимые физикам. Но в большинстве случаев они создаются и применяются не специально для физики, хотя и развитие физики без них существенно затормозилось бы. Достаточно сказать, что при изготовлении всех полупроводниковых приборов, микросхем и процессоров используются химические технологии, например травление фото-, рентгено- и электронорезистов. Менее известный пример — катоды мощных электровакуумных приборов, без коих не было бы радиолокации, космической связи и ускорителей. Теперь попробуйте представить физику без всего этого.

Однако были случаи разработки химических технологий специально в интересах физики. Один из самых ранних примеров — технология изготовления сверхтонких, диаметром от одного до нескольких микрон, платиновых нитей для применения в самых чувствительных приборах, таких, как упругие элементы, датчики температуры и мощности излучения. Это сделал Уильям Волластон (1766—1828); он же открыл палладий и родий. Другой пример — химическая технология покрытия зеркал телескопов серебром; правда, сейчас перешли на вакуумное напыление алюминия, причем опять-таки по химической причине — серебро взаимодействовало с серосодержащими газами атмосферы.

## Химия для физики: источники электричества

До создания гальванических элементов и аккумуляторов возможности физиков по части изучения электричества были весьма ограниченными. Физики имели дело только со статическим электричеством, которое получали с помощью трения. Когда-то натирали янтарь (по-гречески *electron*), потом шары из серы и стекла. Если верить литературным источникам, у Отто фон Герике (1602—1686) шар из серы был «величиной с детскую голову», хотя на рисунках из других источников он явно крупнее. Кстати, фон Герике — тот самый бургомистр Магдебурга, которого школьники знают как физика-экспериментатора: это он пытался разделить «магдебургские полушария» шестнадцатью лошадиными силами, но атмосферное давление воспрепятствовало.

Затем вместо шаров стали использовать стеклянные трубки или диски, которые вращали с помощью педального механизма. Натирали стекло уже не ладонями, а специальными кожаными подушечками.

В процессе трения разнородных веществ электрические заряды на их поверхности разделяются, и два вещества заряжаются противоположно. Механизм этого явления физика



Древняя электрофорная машина. Кунсткамера, Санкт-Петербург

объяснила только во второй половине XX века. В электрофорной машине (в переводе с греческого — «несущие электричество») разделившиеся заряды с помощью проводников подводятся к двум металлическим шарам, находящимся на небольшом расстоянии друг от друга. Когда электрический заряд на шарах становится достаточно большим, между ними проскакивает маленькая молния — электрическая искра. Электрофорные машины давали такие сильные искры, что могли даже воспалить горючую жидкость — эфир. Чтобы между двумя шарами, находящимися в сухом воздухе на расстоянии одного сантиметра, проскочила искра, напряжение между ними должно быть около 30 кВ. Но даже когда человек причесывается, напряжение на расческе может достичь 10 кВ.

Эксперименты с электрофорными машинами позволили сделать несколько важных открытий. Оказалось, что определенные вещества — металлы, графит, водные и некоторые неводные растворы — передают электричество на большие расстояния; их называли проводниками. Не проводящие ток вещества называли изоляторами. Вслед за электрофорными машинами были созданы простейшие конденсаторы — в лейденской лаборатории Питера ван Мушенбрука. Один из сотрудников лаборатории Андреас Кунеус (1712—1778) решил с помощью электрической машины «зарядить электричеством»



Дети и электричество. Электрофорные машинки можно повернуть, а оторвав кусок бумаги (рулон висит под прилавком), убедиться, что молния пробивает изоляцию. Музей науки, Иерусалим

фото Натальи Кленцкой

воду в стеклянной колбе, которую он держал в руке. Кунеус подсоединил к электрической машине кусок проволоки, которая через горлышко колбы спускалась в воду. Когда Кунеус решил, что накоплен достаточный электрический заряд, он попытался свободной рукой вынуть проволоку из сосуда и неожиданно получил сильный электрический удар. Такое же явление одновременно и независимо обнаружил и немецкий физик Эвальд Георг фон Клейст (1700—1748).

Выяснилось, что с помощью лейденской банки электрический заряд, полученный трением, можно накапливать в больших количествах и сохранять длительное время. Чтобы удобнее было подводить электрические заряды к стенкам банки, их начали обклеивать снаружи и изнутри тонкой оловянной фольгой. Это был прообраз современного конденсатора. А для увеличения заряда делали батарею из нескольких банок. Лейденская банка могла накопить так много электричества, что дотрагиваться до нее было опасно. Конденсаторы могут сохранять заряды в течение длительного времени. В последние десятилетия появились новые конденсаторы емкостью больше фарада. Это так называемые ионисторы (см. «Химию и жизнь», 2005, 5). Они работают при небольших напряжениях, порядка 5–10 В и имеют малые размеры.

С помощью статического электричества французский физик Шарль Огюстен де Кулон (1736—1806) открыл закон, носящий его имя. Но дальнейший прогресс в изучении электрических явлений был невозможен без источников постоянного тока. Впервые его создал итальянский физик Алессандро Вольта (1745—1827). В течение XIX века усилиями физиков и химиков было сделано множество таких источников, названных гальваническими элементами (см. «Химию и жизнь», 2017, 1). Вольта установил опытным путем «ряд напряжений», давно известный химикам как «ряд химической активности» металлов. Успехи химиков, открытие ими новых химических элементов, эффективных деполяризаторов, новых веществ с необычными свойствами позволили создать гальванические элементы и аккумуляторы с более высокими ЭДС и емкостью. В их числе марганцево-цинковые, цинк-хлоросеребряные и другие гальванические элементы; кислотные (свинцовые), щелочные (железо-никелевые, кадмий-никелевые, серебряно-цинковые), а также литий-ионные, литий-серные, металлгидридные и другие аккумуляторы; топливные элементы разного типа. Химические, вернее, электрохимические исследования помогли понять, что именно происходит на электродах, когда источник питания заряжается и когда отдает ток во внешнюю цепь.

## Химия для физики: атомная энергия

В 1939 году немецкий химик Отто Ган (1879—1968) и химик и физик Фриц Штрассман (1902—1980) открыли цепную реакцию деления урана. Их экспериментальные результаты объяснили Лиза Мейтнер и Отто Фриш. Оказалось, что эта реакция не просто цепная, а разветвленно-цепная. Теорию таких реакций, на примере процессов горения и некоторых других, создали физикохимики — советский ученый Н.Н.Семенов (1896—1986) и английский Сирил Хиншелвуд (1897—1967). Математические закономерности химических и ядерных процессов оказались сходными.

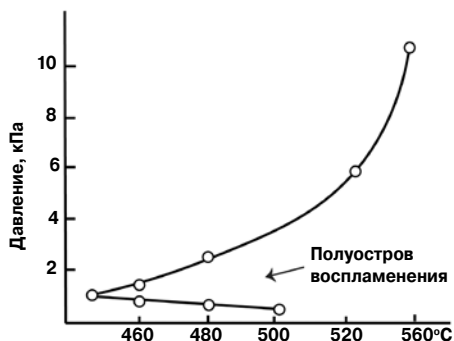
В химических цепных реакциях цепь ведут активные частицы — атомы, свободные радикалы, а в растворе — ионы и ион-радикалы. В реакциях продолжения цепи активные частицы, распадаясь или реагируя с молекулами исходных веществ, образуют продукты реакции с регенерацией новых активных частиц. Исчезновение (гибель) активных частиц по тому или иному механизму приводит к обрыву цепи. Такие неразветвленные цепные реакции в контролируемых условиях могут идти спокойно до израсходования реагентов. Однако в



## РАЗМЫШЛЕНИЯ

1920-х годах XX века были обнаружены химические реакции с некоторыми неожиданными особенностями. Например, при газофазном окислении паров белого фосфора кислородом наблюдается резкий переход от полного отсутствия реакции к очень быстрому процессу при ничтожном изменении давления кислорода. До этого считалось, что скорость реакции должна плавно увеличиваться с увеличением концентрации реагентов. Еще один не объясненный тогда факт: при давлении ниже критического, то есть в отсутствие реакции, введение в сосуд аргона приводит к яркой вспышке. Это указывает на протекание быстрой реакции окисления. Выяснилось также, что существует и второй (верхний) предел по давлению, выше которого реакция не идет. Этот предел очень сильно зависит от примесей различных веществ и даже от формы реакционного сосуда. Область давлений и температур, в которой происходит реакция, получила название полуострова воспламенения.

Химики в данном случае помогли физикам тем, что разработали математическую модель, которая в принципе подходит и для физических процессов деления ядер.

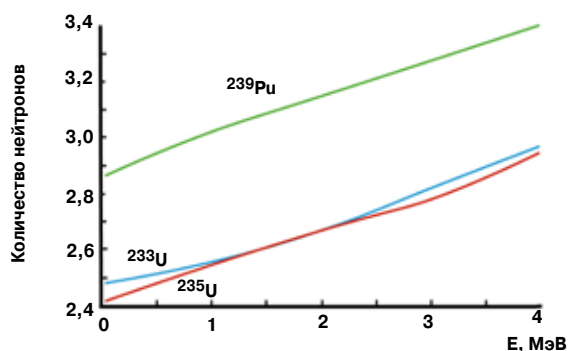


Полуостров воспламенения для реакции белого фосфора с кислородом. В области между кривыми реакция идет быстро

В ядерных цепных реакциях роль активных частиц играют нейтроны. «Реагируя» с атомами делящегося материала, например урана (на самом деле — поглощаясь ими), нейтроны способствуют мгновенному делению ядра на два осколка примерно одинаковой массы. Деление ядра сопровождается выделением большой энергии (за счет дефекта масс) и испусканием нескольких нейтронов, которые могут вызвать деление других ядер. Среднее количество нейтронов зависит от энергии и исходного нуклида, как показано на рисунке.

Если их в среднем оказывается больше одного и они приводят к расщеплению других ядер, то происходит быстрый лавинообразный процесс, то есть взрыв. Самопроизвольное (спонтанное) деление ядер также может инициировать процесс, но это редкое событие, то есть скорость инициирования мала. Если значительная часть выделяющихся нейтронов покидает массу делящегося вещества, не успев поглотиться (велика скорость обрыва цепей), то взрыва не будет. Не будет его и при наличии примесей, обрывающих цепи (поглощающих нейтроны). Такими эффективными примесями могут служить





Зависимость среднего количества нейтронов от энергии и исходного нуклида

некоторые изотопы бора, гафния, кадмия. И наоборот, взрыв можно инициировать внешним нейтронным облучением. Произойдет ли взрыв или реакция будет идти спокойно (но с выделением энергии), зависит от коэффициента размножения нейтронов — полного аналога коэффициента разветвления в химии — и скорости обрыва цепей. Последняя, в свою очередь, зависит от формы и размеров делящегося материала: при определенных критических параметрах значительная часть нейтронов покидает вещество, не вызвав деления ядер.

## Биология для химии: объекты

Примеры использования биологических методов в физике и химии найти нелегко по целому ряду причин. Большинство услуг, которые исследователи живой природы оказали исследователям неживой, связаны не с методами или процессами, а со свойствами биообъектов — растений, животных и даже царя природы. При таком подходе окажется, что биологии сильно обязана, например, метрология, ныне — общенаучная дисциплина, необходимая и физике, и химии, и инженерии и даже самой биологии. Первые единицы многих величин, например веса и длины, имели, как всем известно с младшей школы, именно биологическое происхождение. Менее известно, что, согласно одной из версий, Фаренгейт использовал температуру тела человека в качестве опорной точки своей шкалы (второй была температура таяния льда). Кроме того, в 1827 году Роберт Броун открыл движение пылевых зерен в жидкости, позднее названное броуновским движением; в дальнейших исследованиях этого явления использовались опять же биологические объекты — частички смолы и густого сока деревьев.

Живые организмы применялись и применяются для обнаружения химических веществ, например, у химиков в древности была привычка пробовать новооткрытые вещества на вкус (сейчас это считается вопиющим нарушением техники безопасности). На протяжении веков рудокопы брали клетку с канарейкой в шахту и во время работы следили за птицей. Канарейки очень чувствительны к метану и угарному газу и гибнут даже от незначительной примеси его в воздухе. Если птичка начинала проявлять признаки беспокойства или падала на дно клетки, люди покидали выработку. Артур Кларк считал, что канарейки как живые газоанализаторы могут пригодиться и в космосе (рассказ «Пернатый друг»): «Это был один из тех несчастных случаев, которые не могут случиться; ночью было редкое для нас затмение земной тенью; часть воздухоочистителей замерзла, и единственная аварийная цепь не сработала. Химическое и электронное оборудование стоимостью в полмиллиона долларов подвело нас. Без Кларибел мы могли бы потихоньку умереть». Применение собак для поиска взрывчатки и наркотиков началось позже, но сейчас мы и представить не можем эту работу без кинологов.

С помощью мыши Джозеф Пристли (1733—1804) определял

состав воздуха — без кислорода мышь погибала. Поскольку он проводил эти опыты многократно, в разных условиях, и у него были последователи, можно сказать, что он создал новый метод биологических исследований. Химики, правда, предпочитали нюхать и лизать сами — с печальными последствиями, а обобщенной лабораторной мышке в Новосибирске поставили-таки памятник.

Использование частей животных для нужд физики и химии — экзотика, но такое тоже было. Плавательный пузырь рыб и стенки мочевого пузыря когда-то использовались в качестве ультрафильтров, например для выделения коллоидных частиц. Разнообразие биологических пленок позволяло химикам изготавливать серии ультрафильтров и устанавливать размер частиц коллоида (Д.Л.Рубинштейн. Физическая химия. Изд-во АН СССР. М.—Л., 1940).

Что же касается веществ, то перечислить все, извлеченное из природы и используемое в химии и физике, невозможно. Однако не назвать лакмус — нельзя: это, пожалуй, самый знаменитый индикатор, недаром выражение «лакмусовая бумажка» вошло в бытовой язык. Между тем лакмус добывают из некоторых видов лишайников, его основные компоненты — эритролитмин  $\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{O}_6$  и азолитмин  $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{NO}_5$ .

## Биология для физики

С некоторой натяжкой сюда можно отнести запуск собак и обезьян в космос, хотя получаемая при этом информация биологам была тоже нужна. Более четкий пример — исследование свойств человека-оператора, в частности точности отсчетов («личная разность» в астрономии) и связь надежности с разрешающей способностью.

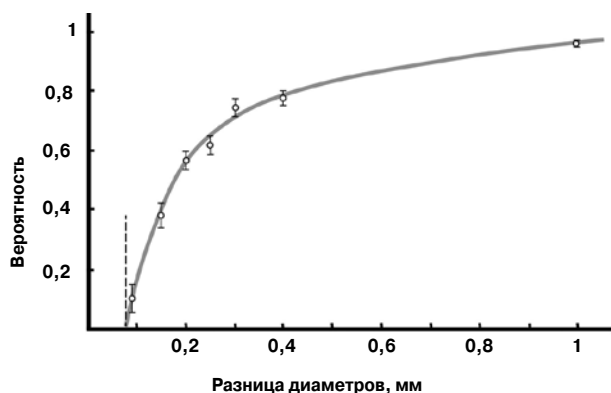
Личная разность (личное уравнение) — разность между точным значением местного времени и его значением, полученным астрономом по наблюдениям небесных светил. Личная разность возникает из-за свойства наблюдателя упреждать или запаздывать в определении момента прохождения звезды через визирную нить зрительной трубы. Величина личной разности зависит от метода наблюдений. При определении момента прохождения звезды через нить со счетом ударов хронометра по слуху (метод «глаз-ухо») личная разность обычно выражается в десятых долях секунды, а при использовании автоматических способов уменьшается до 0,03–0,04 секунды.

Что касается связи надежности с разрешающей способностью, то вот какой эксперимент поставил полвека назад физик М.И.Корнфельд (1908—1993). Большое количество испытуемых сравнивало две окружности — диаметром 12 мм и отличающую



Памятник мышке. Новосибирск, Музей истории генетики в Сибири





*Легко ли определить, какая из окружностей больше?  
Если диаметр одной 12 мм, а другой 13 мм, с заданием справляются практически все, а разница в 0,1 мм для большинства людей незаметна*

юся от нее на 0,10; 0,15; 0,20 и т. д. мм. На рисунке показана зависимость вероятности правильного распознавания большей окружности от разницы в диаметрах.

Свойства человека-оператора важны для физики, только если показания приборов считывает человек. При этом неизбежна субъективность, поэтому физики стараются избавляться от «человеческих» методов. Например, при переходе со стрелочных приборов на цифровые роль субъективности уменьшается, а если прибор передает сигнал в компьютер для обработки, то и сводится к нулю. Существуют программы для обработки изображений, в частности, с микроскопов. Хотя тут уже надо говорить, скорее, о работе математики на физику, потому что программы распознавания изображений (это огромная самостоятельная область) — это все-таки математика.

Животные (лягушка и человек) использовались в качестве вольтметра, лягушка весьма давно (Алессандро Вольта), а человек еще недавно. А именно, пригодность 4,5-вольтовых батареек в середине прошлого века радиолюбители проверяли на язык — если ощущалось кислое, батарейка признавалась «еще ничего». Позднее метод стали применять все реже — батареи КБС и «Крона» были потеснены AA и AAA, а где вы видали такой язык, чтобы охватить оба их полюса?

## Биология для инженерии и компьютеринга

Под бионикой (используется и калька с английского — биомиметика) принято понимать использование в технике чего-то подсмотренного в природе. Одна из отраслей бионики — из-



Звукокация (начало XX века)



РАЗМЫШЛЕНИЯ

учение нейронов и нейронных сетей для попыток создания подобного в интересах компьютеринга. Например, первая нейронная сеть (перцептрон Фрэнка Розенблатта, 1957) моделировала структуру сетчатки глаза и могла работать как система для распознавания образов (причем не только графических). Ныне перцептроны используются как системы распознавания в самых разных областях. Еще одна популярная бионическая тематика — исследование органов чувств животных с целью разработки новых датчиков и систем обнаружения. Наконец, исследование морфологических, физиологических, биохимических особенностей живых организмов для выдвижения новых технических идей, например изучение конструкции растений, оказалось полезно архитекторам, изучение механических свойств шкуры дельфинов позволило создать покрытия для подводных аппаратов, уменьшающие гидродинамическое сопротивление. Застежку «молния» изобретатель подсмотрел у птичьего пера.

Часто к бионике относят и то, что вроде бы похоже на что-то природное, но что конструктор вовсе не подсмотрел в природе. Например, радиолокатор не был подсказан летучими мышками, тем более что звукокация — но без излучения сигнала! — применялась в военных целях на полвека раньше радиолокатора.

В компьютеринге есть понятие «генетические алгоритмы». Об использовании биологии как науки говорить в данном случае не приходится, но математики, которые это придумали, явно вдохновлялись биологией. Пишут, что такие методы в некоторых случаях эффективны. Очень упрощенно говоря, в этом случае каким-то способом комбинируются части разных алгоритмов и из получившейся кучи отбирается жемчужное зерно. При этом остается открытым вопрос, лежит ли в глубине метода комбинирования тот же аппарат, который лежит в глубине метода, примененного природой? Во внешнем контуре подобие есть, и оно очевидно — «естественный отбор» эффективных программ так же естествен, как отбор зайцев, осуществляемый волками.

Более прозрачна ситуация с распознаванием образов — пограничной между математикой и компьютерингом областью. Уже на ее заре для распознавания картинок применялось выделение характерных элементов (границ, углов, точек и т. д.), заимствованное, по словам авторов методов, у лягушек (М.М.Бонгард. Проблема узнавания. М.: Физматгиз, 1967).

Заметим, что весьма популярное в биологии моделирование биологических объектов средствами физики и химии к нашей теме не имеет прямого отношения — оно работает на биологию и обогащает именно ее. Но при этом не исключено, как и при всяком использовании каких-то методов, возникновение нового знания об этих методах, то есть приношение чего-нибудь интересного уже в физику или, что более вероятно, в химию.

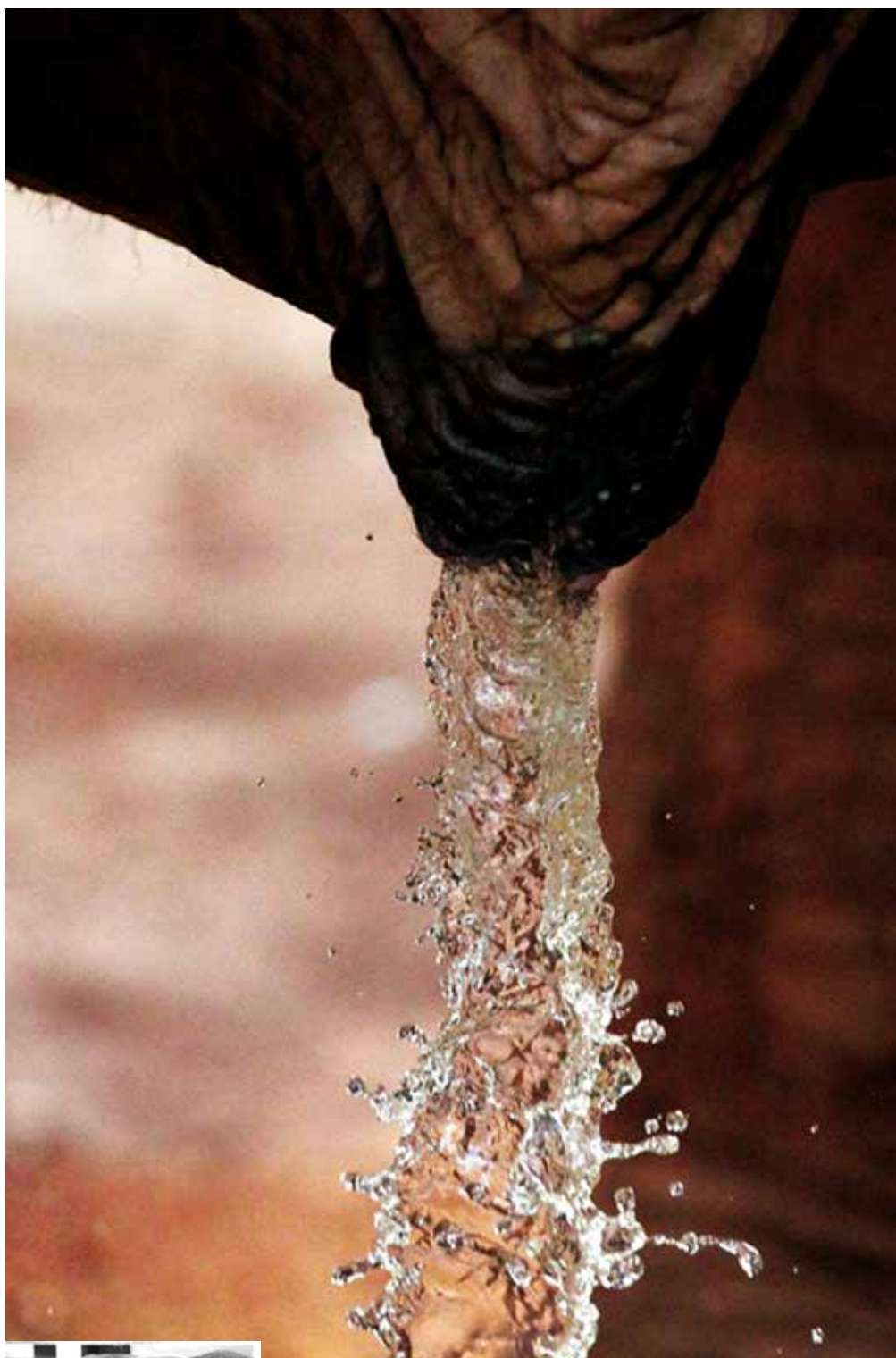
Авторы рады поблагодарить Е.В.Клещенко за биологические примеры

# Механика мягкой силы

С.М.Комаров

В научной практике редко бывает так, чтобы автор работы, отмеченной высшей наградой, второй раз получил ту же награду за продолжение исследования. Как правило, если Нобелевскую премию и дают повторно, то по другому поводу. Например, Мария Склодовская-Кюри получала Нобелевскую премию по физике за исследование радиации и по химии — за открытие радия, Лайнус Полинг — по химии за изучение природы химической связи и премию мира за борьбу с распространением ядерного оружия. Комитет экспертов Игнобелевской премии может в 2017 году создать прецедент. Дело в том, что лауреаты премии 2015 года по физике провели новое исследование схожей проблемы, которое просто не может не принести им повторного лауреатства в той же номинации. Если два года назад они объяснили, почему любое млекопитающее крупнее крысы опорожняет мочевой пузырь в среднем за 21 секунду («Proceedings of the National Academy of Science», 2014, 11, 38, 11932—11937; doi/10.1073/pnas.1402289111), то в этом году получен ответ на вопрос, почему твердые экскременты выходят из млекопитающего за 12 секунд («Soft Matter», 25 апреля 2017 года; doi: 10.1039/C6SM02795D).

Журнал «Soft Matter» Королевского химического общества, как сообщается на его сайте, «предоставляет уникальный форум для коммуникаций фундаментальных наук, исследующих основы поведения мягкой материи. Особое внимание уделяется взаимодействию между физикой, материаловедением, биологией, химической инженерией и химией». Невозможно найти лучший пример сотрудничества и взаимопомощи научных дисциплин (см. статью «Науки — наукам» в этом же номере), чем данное игнобелевское исследование



**К**ак ни странно, до недавнего времени такие важнейшие процессы, как избавление организма от продуктов жизнедеятельности, то есть деуринация и дефекация, были описаны скорее феноменологически. Исследовали механические, физико-химические характеристики выделяемых веществ, как-то их классифицировали, изучали строение органов выделения, однако никакой математической теории, позволяющей перевести описание

<http://www.hu.gatech.edu/>



этих процессов под юрисдикцию точных наук, построено не было. Хотя, казалось бы, особых затруднений это не должно вызвать — в первом случае действует гидродинамика, а во втором — механика деформируемых сред: науки, хорошо разработанные. Но вот в 2014 году ситуация изменилась: студенты из лаборатории доцента Дэвида Л. Ху в Технологическом университете Джорджии при поддержке грантов для молодых специалистов Национального научного фонда США и Президента университета взялись создать такую модель.

Исследователи начали свой тернистый путь к славе с простейшего вида работы — наблюдения за соответствующим процессом у разных животных. Для этого они снимали на видеокамеру акты испражнения обитателей зоопарка Атланты, а также пользовались видеороликами из Сети. Довольно скоро в наблюдениях стала прослеживаться система. Так, оказалось, что существуют два механизма избавления организма от отработанной жидкости. Маленькие животные, весом до 0,3 кг, делают это капельками, а большие животные — струйкой или струей, в зависимости от размера. На этом-то этапе и была установлена удивительная закономерность, которая принесла участникам работы почётный нанограмм золота: время испражнения у крупных животных оказалась константой, не зависящей от веса:  $21 \pm 13$  секунд. Причем различие в размерах огромно: у кота объем мочевого пузыря в 3600 раз меньше, чем у слона! Казалось бы, слону нипочем кота не догнать. Как же это ему удается?

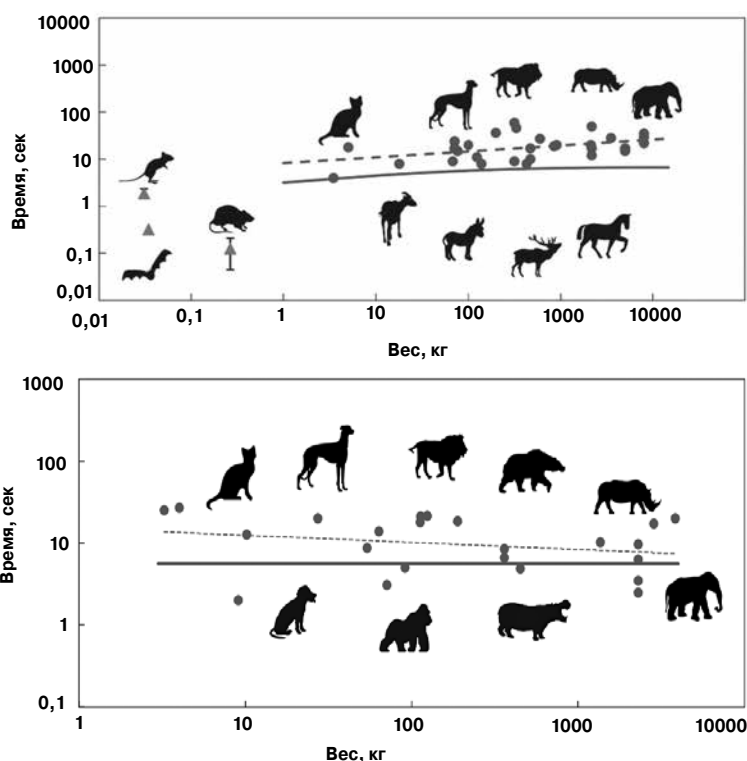
Для поиска ответа была построена ставшая знаменитой математическая модель. Вот ее краткое описание. Представим, что по трубе, длина и диаметр которой соответствуют такому у мочеиспускательного канала животного, течет поток жидкости. Его движению способствуют две силы: давление мочевого пузыря и сила тяжести, а замедляют его вязкость, сила инерции и капиллярная сила. Сила давления пузыря удивительным образом представляет собой фундаментальную физиологическую константу: как показали измерения, проведенные зоологами, у млекопитающих оно составляет при-

мерно 5,2 кПа независимо от размеров. Гравитационная сила, она же гидростатическое давление, пропорциональна длине трубы. Сила инерции или динамическое давление — квадрату скорости потока. Сила вязкого давления — квадрату скорости потока и отношению длины трубы к ее диаметру. А капиллярная сила, стремящаяся свернуть струю в капли, — обратно пропорциональна диаметру трубы. Для больших животных остаются первые три силы, а вязкостью и капиллярной можно пренебречь. Тогда получится уравнение, в котором скорость потока выражена через параметры трубы и давление пузыря. Подставив этот результат в формулу для вычисления времени опорожнения мочевого пузыря, получаем зависимость от его объема и опять же параметров трубы. И все они, оказывается, закономерным образом зависят от веса тела. Так, объем пропорционален весу в первой степени, а длина и диаметр мочеиспускательного канала — кубическому корню из веса. Подстановка этих зависимостей в формулу для времени показывает, что оно пропорционально весу в степени  $1/6$  или примерно 0,16, то есть зависимость от веса все-таки есть, но очень слабая. В общем-то точный расчет времени по экспериментальным данным дает не совсем константу, а именно слабую зависимость — с показателем 0,13. Такое совпадение свидетельствует: модель очень хороша. Из нее становится ясно, почему кот и слон освобождаются от жидкости за одно время, — у слона всё больше: и пузырь, и длина канала, и его диаметр. В результате выше вклад силы тяжести, которая увеличивает скорость истечения потока, это и позволяет слону догнать кота в заочном соревновании.

А вот с мышами и крысами все сложнее. У них преобладают три силы: давление пузыря, вязкое давление и капиллярные силы, они дают сильную нелинейность зависимостей. В результате простую формулу вывести не получается, никаких инвариантов выявить не удастся. Это соответствует эксперименту: времена мочеиспускания мелких животных различаются двадцатикратно, от 0,1 до 2 секунд! Модель позволила рассчитать и минимальное животное, способное самостоятельно избавляться от мочи: у него диаметр канала равен 100 мкм. Это соответствует длине канала в 1,7 мм и весу в 0,8 г. Таковы параметры новорожденных мышат: их вес 0,5–3 грамма. И действительно, мать слизывает у них капельки мочи, которые в соответствии с игнобелевской моделью и не должны сами отделяться от канала.

По мнению авторов работы, их исследование — не просто удовлетворение любопытства; оно имеет практическую значимость. Во-первых, многие нарушения мочеиспускания изучают на животных, и теперь в руках медиков есть надежный инструмент для масштабирования полученных данных, чтобы их можно было применить к человеку. А во-вторых, бионический принцип позволит инженерам лучше проектировать масштабируемые гидродинамические системы, ведь мочевой пузырь и связанный с ним канал ничем не отличается от какого-нибудь нефтехранилища, привязанного к нефтепроводу.

Теперь же аналогичную модель удалось создать для объяснения феномена дефекации. Действуя по схожей методике, исследователи из лаборатории доцента Ху определили: у подавляющего большинства млекопитающих, у которых



Время освобождения животного от жидких (вверху) и твердых (внизу) отходов жизнедеятельности почти не зависит от веса тела («Proceedings of the National Academy of Science», 2014, 11, 38 и «Soft Matter» 25 апреля 2017 года соответственно).



твердые отходы жизнедеятельности выходят единым куском, а не орешками, как у коз или зайцев, имеется свой инвариант: этот процесс в норме (то есть без расстройства кишечника) занимает 12 секунд вне зависимости от веса животного. При этом скорость дефекации пропорциональна кубическому корню из веса. То есть длине животного, поскольку последняя также пропорциональна этому корню. Соответственно статистическая обработка данных измерения показывает, что время дефекации очень слабо зависит от веса — в степени  $-0,09$ , то есть чем больше вес, тем меньше время опорожнения, хотя 40-сантиметровая прямая кишка слона в десять раз длиннее, чем у кота.

Причиной такой инвариантности служит подобный найденному в первой работе набор физиологических констант и зависимостей, связывающих некие размеры с массой тела. В данном случае фундаментальной константой для всех млекопитающих стало минимальное давление, оказываемое гладкими мышцами кишечника на выделение в процессе дефекации, —  $0,64$  кПа; максимальное давление — в семь раз больше. С массой же тела связаны такие геометрические параметры, как диаметр и длина прямой кишки, а также толщина слизи на ее стенках: все они пропорциональны кубическому корню от веса. Интересно, что давление оказалось меньше, чем модуль сдвига твердых испражнений, который находится в пределах от  $2$  кПа у посылума до  $10$  кПа у овцы. Иными словами, деформироваться в процессе выхода они не могут, отчего важнейшее значение в кинематике процесса приобрела слизь — она играет роль смазки, и от нее зависит все.

Подстановка в формулу для времени дефекации всех зависимостей привела к тому, что показатели степеней при весе сократились, то есть время стало пропорционально весу в степени  $0$  — это оказался истинный инвариант, не то что время деуринации, которое от веса все-таки немного зависит. Однако подстановка значений дала время в  $6,5$  секунд, что в два раза меньше, нежели показал эксперимент. Такое несовпадение, видимо, связано с плохо изученными свойствами слизи. В самом

деле, ту же ее толщину измеряли следующим образом: брали свежий экскремент, который из-за налипшей на нем слизи еще блеснул, и взвешивали, а затем ждали, когда блеск исчезнет, и снова взвешивали, предполагая, что слизь испарилась и, значит, разница веса позволит посчитать толщину ее слоя. Такая методика конечно же не слишком точна. Еще большую ошибку могут вызвать неточные измерения вязкости этой слизи, ведь в формуле это не коэффициент, а показатель степени.

Впрочем, отсутствие количественного совпадения не препятствует верным качественным выводам. Так, было подсчитано время дефекации человека при поносе; оно оказалось очень малым —  $0,5$  секунды с момента приложения давления гладкими мышцами кишечника, движение же шло с ускорением, что очень похоже на правду. Интересный результат получился в обратной ситуации — при запоре. Исследователи предположили, что в рамках принятого приближения запор означает отсутствие слизи. В этом случае движение выдавливаемого материала возможно лишь в результате его сдвиговой деформации. Подстановка в расчетную формулу механических характеристик наиболее плотных испражнений дала колоссальное время для этого случая —  $524$  дня при минимальном давлении и  $6$  часов при максимальном. Поскольку был взят экстремальный случай — в реальности какая-то слизь обязательно будет, — эта ситуация качественно опять же оказалась недалеко от реальности.

Таким образом, теперь, благодаря эпохальной серии работ группы доцента Ху, мы знаем о механике процессов удаления продуктов жизнедеятельности из организма практически все. Это дает возможность и врачам, и диетологам, рассуждая о путях улучшения жизни человечества, опираться не на слухи, домыслы и личное мнение, а на строгий научный инструментарий. Им теперь не надо пытаться играть с константами — их все равно не изменишь. А вот с переменными параметрами возможны варианты, которые и подлежат рассмотрению.

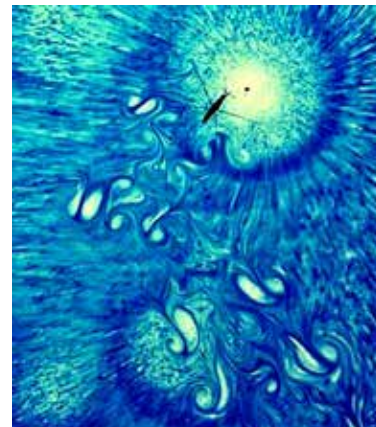


## ФОТОИНФОРМАЦИЯ



### Фотохроники доцента Ху

Доцент Ху любит придумывать для своих студентов и аспирантов интереснейшие задания по гидродинамике и механике сплошных сред. Небезызвестное исследование пролета комара сквозь капли дождя (см. «Химию и жизнь», 2012, 7) выполнили его подопечные. В числе прочих интересных тем — гидродинамика потока муравьев и их агломерация в непромокаемые маты в случае наводнения, использование лягушковой вязкоупругого языка и неньютоновской слизи для ловли мух или бег насекомых по поверхности воды как демонстрация силы поверхностного натяжения. Так, водомерки возбуждают своими лапками дипольные вихри, что можно выявить с помощью красителя. Поскольку в штат лаборатории входят профессиональные фотографы, эти исследования всегда сопровождаются прекрасными фотографиями, которые можно посмотреть на сайте лаборатории <http://www.hu.gatech.edu/>.





# Новая жизнь Локи

Роман Павлов

Владыка Кармы, занимавший скромную должность 275-й Руки Вишну, нервно поглядывал на часы. Сменщик должен был прийти десять минут назад. Наверное, опять загулял. Очень не вовремя! И все младшие помощники мобилизованы из-за прорыва Хаоса в материальные измерения...

Но Колесо нельзя оставлять без присмотра! Серта, хотя на самом деле его имя состояло из ста сорока звуков, лишь семьдесят из которых доступны человеческому уху, посмотрел на демона-уборщика. Горбатый уродец понуро водил метлой в проходе между письменными столами.

— Эй, демон! Ты вроде был когда-то богом?

— Так точно, сэр! — Глаза существа на мгновение вспыхнули и тут же погасли. — Локи из Асгарда.

— Мне твоя биография неинтересна. Если присмотришь за оборудованием, пока меня не будет, то разрешу завтракать в общей столовой. Идет?

— Вы само милосердие, великий Серта! Демон с радостью подчиняется!

Что-то в тоне беса Владыке не понравилось. Но времени не было — на Земле ожидала восхитительная нимфа Эртания. Связывала их не то чтобы любовь, скорее прочные деловые отношения. В обмен на десять лет бурных свиданий Серта обещал перевоплотить нимфу в эльфийскую княжну. А той очень хотелось из дикого леса переселиться в прекрасный дворец. Очень.

— Ладно, бежать отсюда ты все равно не сможешь. Запоминай. Атманы попадают к нам по трубкам из смежного отдела на весы, вот сюда. Затем, в автоматическом режиме, Колесо распределяет благодетельные души в первый ряд воронок, а грешные — во второй. Здесь специально и бумажки приклеены — белая и черная, чтобы не перепутать. Иногда прибор заедает. Нажимаешь большую красную кнопку, это остановит работу насосов. Вручную проталкиваешь атман калибратором, то есть палкой. Бывший бог должен справиться. Все понял, презренный?

— Почти все, о мудрейший из Рук Вишну. Поясни мне, почему в каждом ряду двадцать две воронки и одни из них больше, а другие меньше?

## НАНОФАНТАСТИКА

— Это градации будущего воплощения. От бога к дворянину в белом ряду, и от крестьянина к одноклеточным в черном. Чем ближе к богу, тем меньше воронка. Еще вопросы?

— Никак нет, о великолепнейший из начальников отдела!

Сомнение кольнуло еще раз. Но обольстительные формы Эртании звали прочь из душевного офиса — какие уж тут раздумья!

Как только дверь захлопнулась, Локи уселся в роскошное, обитое крокодильей кожей кресло. Несколько секунд он наблюдал, как прозрачные шарики один за другим падают на весы, издавая мелодичный звон. Колесо совершало пару оборотов, определяя номер, и душа по желобку отправлялась к воронке. На реинкарнацию. Праведников было раз в десять меньше, вполне ожидаемо.

Сморщенное лицо демона озарилось улыбкой, и он нажал красную кнопку. Скрутив все воронки, Локи поменял их местами и переклеил белую и черную бумажки. Сгреб все шарики и произвольно распределил их по воронкам, большую часть подсыпав к градации «бог». После чего откинулся на спинку и, заложив руки за голову, принялся насвистывать походную песню викингов.

Ровно через пять минут в отделе возникла сияющая золотом фигура. Ученик Будды с ходу ринулся к креслу и оторопел, увидев демона.

— Локи? А где Серта? Он должен был сегодня остаться на вторую смену!

Благоприобретенные добродетели помешали монаху сразу же рассердиться. Но когда он понял, что Колесо Кармы простаивает из-за шалости уборщика, то рассвирепел.

— Жалкий демон! Опять твои проказы? Мы ведь только из жалости сохранили тебя в этой форме! Все, Локи, твоя игра с судьбой закончена! В амебы! До скончания времен!

Ученик Будды погрузил правую руку в грудь беса и извлек оттуда маленький прозрачный шарик. Тело бывшего бога обмякло и расплылось, словно из него вынули позвоночник.

Заместитель управляющего сбросил пустую оболочку Локи на пол и по громкой связи вызвал наряд демонов. «Это им всем наука, чтобы неповадно было», — довольно подумал благодетельный и плюхнулся в кресло.

Изящным щелчком просветленный отправил атман Локи в самую большую воронку и нажал красную кнопку.





# Следите за тауридами

С.Анофелес

**Т**ауриды — это рой мелких небесных тел, орбиту которых Земля пересекает в начале ноября: они проливаются метеорным дождем, летящим из сектора неба, занятого созвездием Тельца (Taurus), отсюда и название. Поток обладает довольно сложной структурой и, видимо, этим привлек внимание Уильяма Напьера из Астробиологического центра Кардиффского университета — человека весьма разностороннего: специалиста по динамике комет, популяризатора науки и автора нескольких высокотехнологичных триллеров. Он-то и предложил новый механизм катастроф, связанный с гигантскими кометами, — когерентный катастрофизм. Как предполагает Напьер, по крайней мере одна такая катастрофа, а именно похолодание позднего дриаса (см. «Химию и жизнь», 2010, №11), была вызвана потоком таурид («Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 2010, 405, 1901—1906; doi: 10.1111/j.1365-2966.2010.16579.x).

Велика вероятность, что рой таурид появился при распаде 100-километровой кометы, который случился в глубокой древности, около двадцати тысяч лет назад. Самый большой обломок той кометы превратился в комету Энке,

обращающуюся вокруг Солнца всего за 3,3 года. Не исключено, что многие астероиды, проходящие неподалеку от Земли, — ее братья: по расчету Напьера, координаты орбит 19 наиболее ярких объектов такого класса подозрительно соответствуют орбите кометы Энке. А многие другие подобные фрагменты могли раскрошиться в пыль и образовать дискообразные облака диаметром в сотни радиусов Земли, а толщиной в десятки. Если исходная комета диаметром в 100 км, то есть массой в  $10^{20}$  г, развалилась на тысячу одинаковых фрагментов, каждый даст облако массой  $10^{17}$  г. Земля проходит сквозь такое облако за несколько часов, при этом в ее атмосфере сгорает  $10^{14}$  г пылинок и выделяется столько же энергии, как от падения нескольких тысяч тунгусских метеоритов.

Много это или мало? Смотря для чего. Океан такой энергией испарить нельзя, а вот поджечь лес во многих местах по пути прохождения роя над поверхностью Земли, и вызвать пожар континентального масштаба, можно. И это не считая ударных волн от взрывов в атмосфере. На Землю же будут падать продукты взрывов — всевозможные высокотемпературные модификации кометных минералов, ударные наноалмазы и тяжелые металлы вроде иридия. Именно

такие следы и находят в слоях почв и ледников, соответствующих катастрофе позднего дриаса. Есть в этих слоях и частицы лунных минералов, что объяснимо: кометные фрагменты задевали поверхность нашего спутника и часть выбитого ими материала захватили на Землю. Впрочем, Земли могут достигнуть и крупные фрагменты, диаметром в сотню метров, а то и километр, — считается, что именно такие метеориты создали углубления в районе американских Великих озер. А вот пожары в Аризоне или Венесуэле, следы которых находят в слоях того времени, падение на севере Америки вызвать не могло, в отличие от прохождения Земли сквозь рой мелких метеоритов.

Согласно расчету Напьера, если комета за 20 тысяч лет распадется на тысячу фрагментов, а те, в свою очередь, станут плотными облаками пыли, время жизни которых исчисляется десятилетиями, то вероятность столкновения с одним из них за это время близка к единице. Вот такое столкновение и вызвало дриасовое похолодание 12,9 тысячи лет назад. А главный вопрос, к которому приводит гипотеза когерентного катастрофизма, — было ли это событие глубокой древности уникальным

1  
На фото сверху: раскопки в Гёбекли-тепе





Creator: Rolfcosar



## УЧЕНЫЕ ДОСУГИ

или поток таурид таит в себе опасность, проявляющуюся периодически, по мере прохождения Земли сквозь основной рой обломков кометы? Напьер считает, что, пока все фрагменты не распадутся, а созданные ими облака не будут растянуты приливными силами по орбите в малоплотные образования, вероятность катастроф выше фоновой и мы сейчас находимся в опасном периоде: из-за прецессии перигелия орбит обломков исходной кометы Земля каждые 6000 лет оказывается в области с их повышенной плотностью. Именно в этом, по его предположению, причина довольно частых падений метеоритов, в том числе Тунгусского, и неожиданных пролетов крупных объектов неподалеку от Земли.

Наблюдения астрономов определенности не добавляют: крупных объектов на подходящих орбитах они не видят, а облака мелких не фиксируют. А вот палеоастрономы Мартин Свитман и Димитрий Цикрицис из Эдинбургского университета, возможно, нашли подсказку («Mediterranean Archaeology and Archaeometry», 2017, 17, 1, 233—250; doi: 10.5281/zenodo.400780). Источником вдохновения для них послужили результаты раскопок удивительнейшего памятника древнего мира — Гёбекли-тепе, Пупочного холма по-турецки. Он находится на Армянском нагорье неподалеку от знаменитой греческой Эдессы, города, где в свое время было около сотни монастырей, — сегодня это Юго-Восточная Турция, немного северовосточнее Алеппо, а называется город Шанлыурфа.

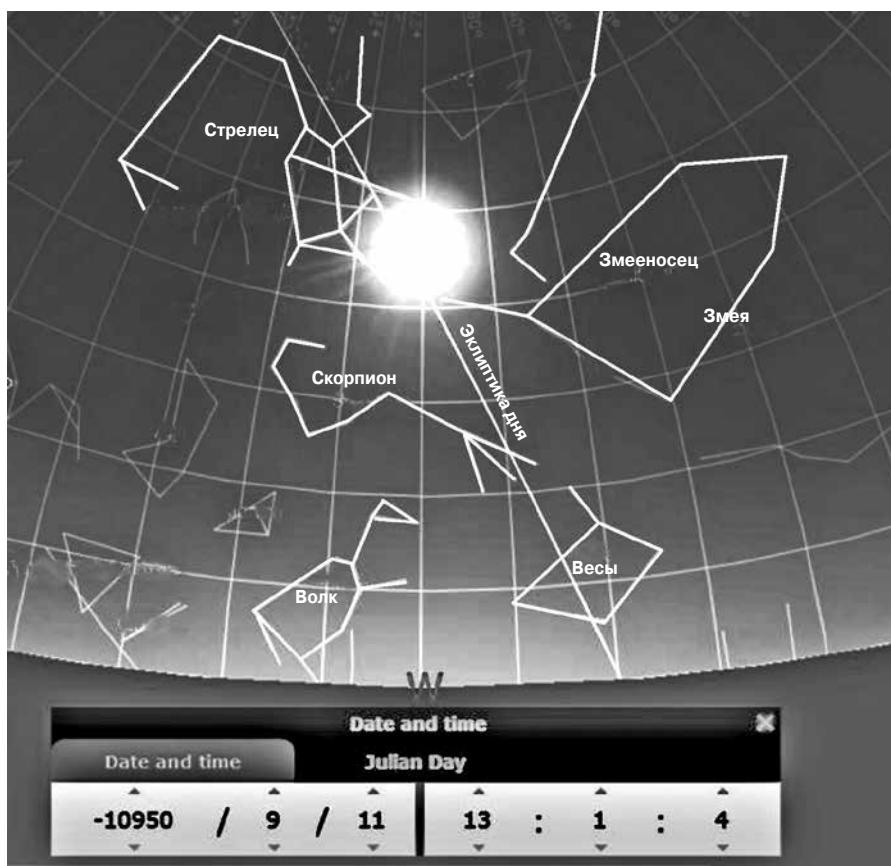
С 1994 года здесь ведет раскопки Клаус Шмидт из стамбульского отделения Немецкого археологического общества. Его группа раскопала примерно 5% этого памятника, нашла в нем несколько слоев и определила, что древнейший соответствует XI тысячелетию до нашей эры. Причем в этом слое находят не какие-нибудь кремневые скребки для обработки кожи или иглы из костей, обычные для стоянок палеолита, а постройки с трехметровыми колоннами, полом из обожженного известняка и каменными скамейками, выстроенными амфитеатром. На многих колоннах ис-

«Химия и жизнь», 2017, № 6, www.hij.ru

кусная резьба, изображающая разных зверей — змей, лис, вепрей, птиц, зубров, а также абстрактные символы, напоминающие буквы. На полу были найдены многочисленные кости животных (кроме змей, что важно!), по ним, собственно, и датировали объект. В настоящее время раскопано четыре помещения диаметром от 10 до 30 метров, а еще 16 ждут своей очереди. Точнее, ждут появления более совершенных инструментов и методик — Шмидт сознательно желает сохранить памятник для будущих археологов, чтобы не повторять ошибок предшественников, например Генриха Шлимана или Артура Эванса, реконструировавшего Кносский дворец.

Напомним, что в XI тысячелетии до н. э. люди на Ближнем Востоке еще не умели обжигать керамику и только начинали заниматься сельским хозяйством, питаясь преимущественно плодами собирательства и охоты. Похоже, это занятие оказалось столь успешным, что излишков пищи хватило на содержание штата каменотесов, а потом, видимо, и служителей культа. Этот удивительный комплекс, как предполагают, храмовый, просуществовал три тысячи лет, а затем в VIII тысячелетии до н. э., то есть за три-четыре тысячелетия до возникновения цивилизаций Шумера и Египта, его намеренно засыпали землей, создав искусственный холм. Есть мнение, что это было следствием своего рода коммунистической революции в другом древнем городе, ныне скрытом под холмом Чайюню-тепеси в районе Диарбекира (7250—6600 годы до н. э.): там якобы хотели построить совершенное общество полной справедливости — смелое предположение возникло из-за отсутствия следов имущественного неравенства в этом городе — и совершили радикальный акт разрыва с прежними верованиями и порядками (ссылку на ХиЖ.).

Так вот, приглядываясь к изображению на одной из стел (рис. 2) — по главному изображению ее называют стелой Стервятника, исследователи из Эдинбурга пришли к выводу, что на ней представлен гороскоп — расположение Солнца относительно созвездий в некий момент времени. И этот гороскоп можно расшифровать. Солнце — очевидно, диск, выбитый у правой крыла большой птицы, похожей на грифа. Что это может быть за созвездие? Подсказку дал изображенный ниже скорпион (на фото видна лишь малая его часть): если его отождествить с зодиакальным созвездием Скорпиона, то орел прекрасно впишется во фрагмент созвездия Стрельца. Удивительным образом птица в правой части стелы, несущая в клюве змею, и по форме, и по сюжету, и по месту расположения относительно

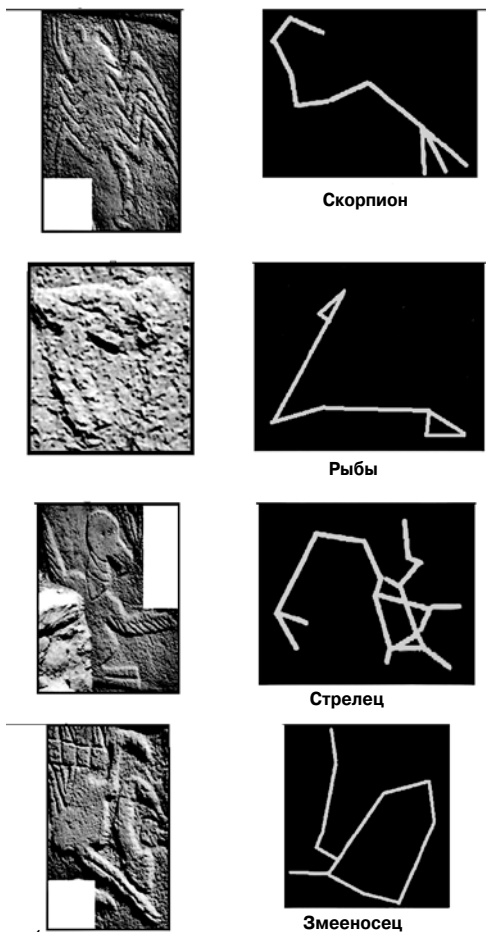


3

Карта звездного неба в районе Шанлыурфы в 10950 году до н.э.

Скорпиона напоминает тринадцатое зодиакальное созвездие — Змееносца. Ниже — длинноклювая птица, которую пусть и с некоторым трудом, но можно поместить на место Весов. Слева от Скорпиона (на фото не видно) открыта часть изображения — морда и лапы — какого-то хищного млекопитающего, скорее всего волка; именно там и находится современное созвездие Волка.

Итак, на стеле может быть представлен момент, когда Солнце восходит или заходит в Стрельце, точнее, в том его участке, что можно соотнести с крылом грифа; этот фрагмент известен как астеризм (часть созвездия) Чайник или Молочник. Вообще, Солнце по месяцу находится в каждом из зодиакальных созвездий, поэтому желающие расшифровать гороскоп должны определиться с датой. Это не трудно сделать: в календаре есть четыре особенных дня — два равноденствия и два солнцестояния. Исследователи, пользуясь программой «Стеллариум», рассчитали, когда в какой-нибудь из этих дней Солнце оказывалось в требуемой позиции, если смотреть на него из Гёбекли-тепе, точнее, из нынешней Шанлыурфы. И оказалось, что выбор невелик: в 2000 году н. э. Солнце в Стрельце захватило день зимнего солнцестояния, в 4350



4

Отождествление некоторых фигур на стеле с созвездиями («Mediterranean Archaeology and Archaeometry», 2017, 17, 1)



году до н. э. — осеннее равноденствие, в 10950 году до н. э. — летнее солнцестояние и в 18000-м до н. э. — весеннее равноденствие.

Конечно, такое расположение приходится не на один год и даже не на сто лет. Более тысячи лет Солнце 21 декабря находится в Стрельце, но, скажем, в античные времена зимний солнцеворот приходился на Козерога. Это вызвано прецессией земной оси, период которой — 25765 лет. Поэтому приведенный расчет дает интервал времени, когда Солнце находится в нужном месте созвездия Стрельца: авторы исследования оценили его в плюс-минус 250 лет от указанных дат.

Свитман и Цикрицис, надо полагать, обрадовались, увидев в датировке гороскопа 10950 лет до н. э., ведь на очень близкую дату, 10890 год, указывают наноалмазы и прочие приметы, связанные с катастрофой позднего дриаса! Получается, что на стеле может быть зашифрован год катастрофы и, стало быть, это строение — обсерватория-святилище, посвященная страшному событию.

Для дополнительной информации приглядимся к трем фигуркам на верхнем ряду (рис. 2). Расчет показывает, что в 10950 году на весеннее равноденствие заход Солнца пришелся в созвездии Девы, зимнее солнцестояние — на Близнецов, а осеннее равноденствие 10951 года — на Рыб. И действительно, эти созвездия по форме подобны ползущей вниз лягушке, крадущемуся козлу или крысе и согнувшейся птице (если читать надпись справа налево).

Может быть, совпадения в формах и расположении созвездий с рисунками фигур на стеле — плод воображения? Чтобы проверить это, авторы стали заменять друг на друга фигуры стелы и проверять, как сильно новая картинка отличается от реальной карты неба. Ничего лучше исходного варианта не получилось, а расчет вероятностей показал, что случайно изобразить столь похожую на карту звездного неба картинку можно было в одном случае на пять миллионов.

Затем авторы попытались интерпретировать другие изображения, что удалось несколько хуже. Например, под предполагаемым гороскопом изображены лиса и человек без головы. Лису с ее длинным хвостом посчитали символом кометы, а безголового человека — символом худшего дня на людской памяти. Странность, на которую они не смогли не обратить внимания, — множество изображений змей, при том что никаких старинных следов пресмыкающихся в развалинах не замечено. Интерпретация такая: падение множества метеоритов можно представить как дождь из огненных змей. А расшифровав барельефы

еще на двух колоннах, авторы пришли к выводу, что там изображены созвездия, задающие координаты потоков таурида на дату гороскопа. Следовательно, эта обсерватория была предназначена для наблюдения именно за ними.

Если догадка эдинбургских исследователей как-то подтвердится, это будет иметь существенные последствия для всей доисторической археологии, да и не только. В самом деле, если в изображениях животных зашифрованы созвездия и гороскопы — а животные в Гёбекли-тепе выглядят весьма характерно, они запечатлены в необычных, узнаваемых позах, — значит, какие-то объекты наскальной живописи, сходные с ними, могут также оказаться гороскопами, подлежащими расшифровке. Но главное в том, что для создания такого гороскопа нужно обладать знаниями о цикле прецессии земной оси, иначе гороскоп лишится смысла — он не будет содержать дату, которую способен прочесть другой знающий человек. Это сразу же продлевает историю астрономических наблюдений до глубокости древности — хотя бы на один цикл прецессии, то есть в тридцатые тысячелетия до н. э. С точки зрения современной истории цивилизации такое представляется невозможным. Тем интереснее попытаться получить какие-то дополнительные доказательства, что на стеле действительно гороскоп, а не случайные фигурки.

Если комплекс в Гёбекли-тепе служил для наблюдения за тауридами, то задача обслуживающего его персонала очевидна — вовремя распознать опасное нарастание яркости метеорного потока, чтобы успеть укрыться. В таком случае можно нафантазировать и причину гибели обсерватории: жрецы тысячи лет смотрели в небо и переводили продукты, а ожидаемое страшное событие, мотивирующее их безбедное существование, не наступало. Видимо, в какой-то момент кормильцы приняли решение не тратить ресурсы на бездельников и ликвидировали астрономическую синектуру. Современные борцы с астероидной опасностью предпочитают не искушать судьбу и, создавая свои проекты, стараются включить в них возможность приносить людям каждодневную пользу. Пока — не очень успешно.

А все-таки не зря ли обсерваторию закопали? Посмотрим еще раз на даты гороскопа: они подозрительно соответствуют шеститысячелетнему циклу явления обломков кометы Напьера. 18000 год — известная дата в истории ледникового периода, самая лютая стужа и пик последнего оледенения — деградация ледника началась как раз в период XVIII—XVII тысяч лет до н. э. 10950 год — это оледенение позднего



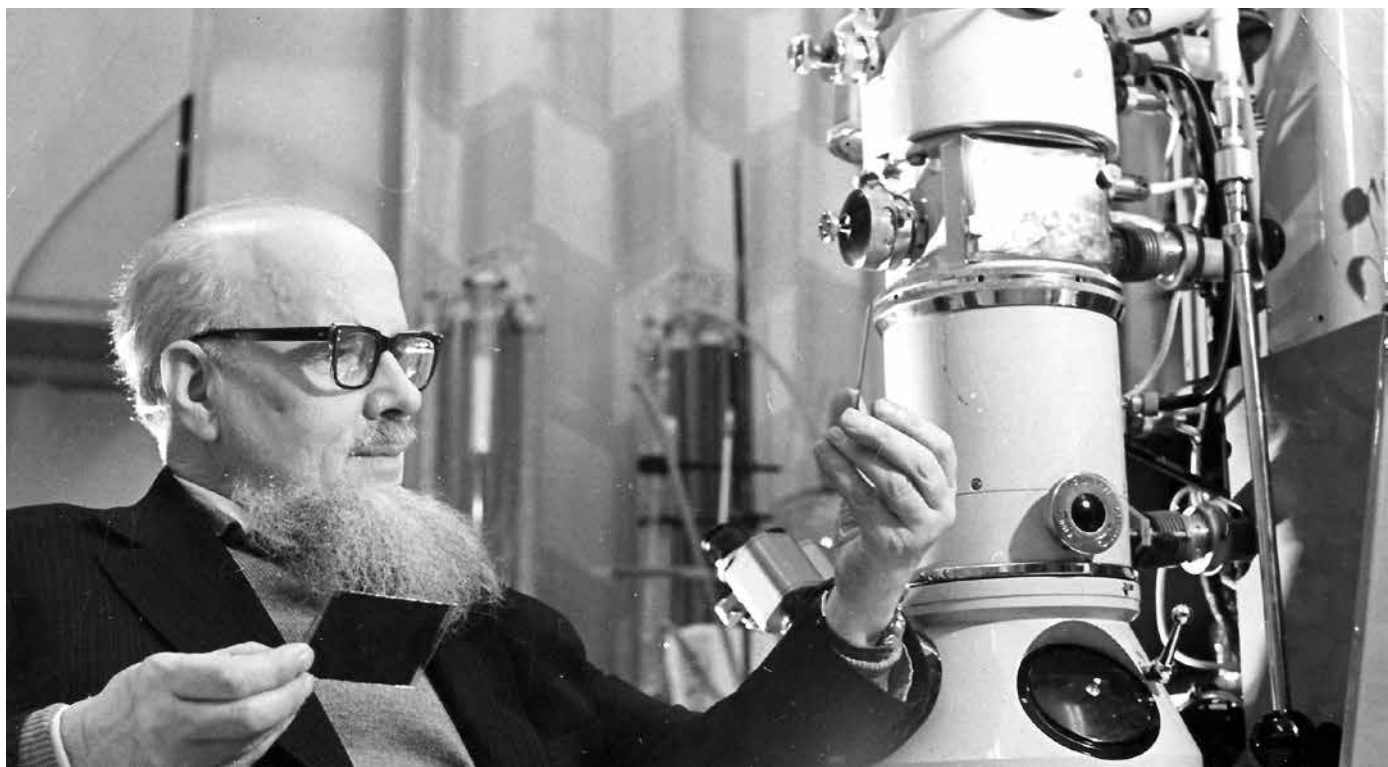
## УЧЕНЫЕ ДОСУГИ

дриаса, продлившееся тысячу лет. В 4350 году до н. э. не случилось ничего. Но в истории голоцена есть две даты, указывающие на вселенские катастрофы. Во-первых, это похолодание 6200 года до н. э., когда закончился голоценовый климатический оптимум: температура во время похолодания, длившегося 400 лет, снизилась столь сильно, что уровень океана из-за роста ледников упал на 14 метров! Другое событие случилось около 3,9 тысячи лет до н. э. — после резкого похолодания в той же Северной Атлантике началась засуха, которая привела к возникновению Сахары, а также к патриархату, росту насилия, появлению антропоморфных богов и формированию первых исторических государств в Древнем Египте и Шумере. Климатологи указывают разные причины обоих событий, но исключить падение огненного дождя в океан как причину второго из них никак нельзя, раз уж оно всего на четыре века отстоит от гороскопа: это за пределами ошибки в плюс-минус 250 лет, но все-таки относительно близко, по сравнению с тысячелетними отрезками времени. Так что, возможно, именно его и не дождался жрец-астроном Гёбекли-тепе.

Нас же интересует ближайшая к нам дата гороскопа — 2000 год, точнее интервал 1750—2250 годы. Если идея когерентного катастрофизма верна и в движении обломков древней кометы есть шеститысячелетняя периодичность, то именно сейчас следует ожидать нового огненного дождя и похолодания. Поскольку с 1700-х годов, наоборот, идет глобальное потепление, столкновения с облаком кометной пыли пока что не случилось. Значит, совсем не лишне приглядеться к тауридам и выяснить, что они способны с собой принести. Фантазии эдинбургских палеоастрономов могут показаться вздорными, расшифровка рисунков на стеле — условной, однако датировка удивительного комплекса в Гёбекли-тепе XI тысячелетием до н. э. — бесспорна и заставляет задуматься о том, что за люди жили на Земле задолго до египетской и шумерской цивилизаций.







# И.В.Петрянов-Соколов: первый и главный



ПАМЯТЬ

Доктор медицинских наук

**Г.Д.Засухина-Петрянова,**  
главный научный сотрудник ИОГен РАН

«Служить людям» — так называлась одна из статей академика Петрянова-Соколова. Именно служению была посвящена его научная, просветительская и общественная деятельность. Академик считал, что если ученый не может популярно написать и рассказать о своей работе — значит, он плохой ученый. По этой причине Игорь Васильевич возглавил научно-популярный журнал «Химия и жизнь», который сначала назывался «Химия и народное хозяйство», учрежденный Академией наук СССР в 1964 году. Он никогда не пропускал заседаний редколлегии, читал корректуру каждого номера и, естественно, читал рукописи, одобряя или внося какую-либо правку.

Игорь Васильевич очень гордился, что был основателем и главным редактором серии «Ученые — школьникам», которая выходила в издательстве «Педагогика». Он умел уговаривать ученых написать книжку для школьников. Таких книжек было издано около сотни. В числе авторов академик В.Л.Янин («Беременная почта столетий»); академик А.А.Логунов, доктор наук В.А.Петров («Как устроен электрон»), Е.И.Чазов («Сердце и XX век») и др. Игорь Васильевич также написал несколько книг: «Самое необыкновенное вещество в мире» (о простой воде  $H_2O$  и ее непростых свойствах), в соавторстве с академиком Н.Н.Семеновым — «Неведомое на вашу долю» (о химии), «Великий закон» (о Д.И.Менделееве) совместно с профессором Д.Н.Трифоновым и др. Академик Петрянов-Соколов был научным редактором третьего тома «Детской энциклопедии». В 1984 году он получил международную премию Калинги за популяризацию науки, учрежденную ЮНЕСКО, которую ему вручили в Париже.

Игорь Васильевич участвовал в создании Всероссийского общества охраны памятников истории и культуры (ВООПИК), 50-летие которого отмечалось в 2016 году, и постоянно работал в президиуме. О его участии в восстановлении Казанского собора в Москве см. «Химию и жизнь», 2007, 6; он также внес вклад в спасение дома В.Даля, фресок Дионисия в Ферапонтовом монастыре. Академик Петрянов-Соколов не мог остаться равнодушным, когда увидел, что на Большой Якиманке в одном ансамбле с Президент-отелем строятся еще два корпуса, которые закроют вид на кремлевские соборы и колокольню Ивана Великого со стороны Октябрьской площади. Он и еще несколько влиятельных людей, в том числе писатель Леонид Леонов, отправили «наверх» письмо с соответствующей просьбой. В итоге два корпуса построили малоэтажными, и осталась возможность любоваться соборами с дороги, которая ведет к храмам.

Многие годы И.В.Петрянов-Соколов был председателем правления Всесоюзного общества книголюбов. Это была крупная организация — число ее членов превышало 15 миллионов, один из съездов проходил в Колонном зале Дома союзов.

В этом коротком сообщении рассказывается об участии Игоря Васильевича в атомном проекте, о его идее безотходных технологий — и немного о его жизни, об отношении к людям.

## Идея безотходных технологий

В 60-х годах, когда Игорь Васильевич впервые выступил с идеей безотходной технологии, его не только не поняли, но и просто смеялись, сравнивая этот подход с идеей вечного двигателя. Его поддержал только академик Н.Н.Семенов. Игорь Васильевич, аргументируя идею безотходной технологии, говорил, что при получении полезного продукта большая часть

исходного материала (97—98%) остается неиспользованной. При этом он считал расход не только исходного материала, но и воды и воздуха. Через годы непонимания научное сообщество пришло к выводу, что идея безотходных или малоотходных технологий должна быть воплощена в жизнь. В нашей стране был принят закон «Об охране природы и рациональном использовании природных ресурсов», а в 1979 году в Женеве на совещании европейских стран, США и Канады приняли «Декларацию о малоотходных и безотходных технологиях и использовании отходов».

Игорь Васильевич считал, что необязательно создавать кафедры экологии в технических вузах. Он полагал, что все образование, начиная со школьного, должно быть пронизано идеей охраны окружающей среды и создания производств, не загрязняющих окружающую среду. В каждый новый проект следует включать идею дальнейшей переработки конечного продукта. Не надо, если это сложно, менять старые производственные процессы, достаточно учитывать «экологическую» компоненту при планировании нового. И в течение 10—12 лет (среднее время цикла существования производственного процесса) будет происходить постепенная замена на безотходные технологии.

## Беруши

Фильтры Петрянова нашли распространение в самых неожиданных областях. Когда Игорь Васильевич со своими сотрудниками предложил использовать ФП для «поглощения» шума, не знали, как назвать это маленькое устройство. Вдруг Игорь Васильевич говорит: «Ведь мы это сделали для того, чтобы беречь уши, значит, и назвать нужно — беруши». Этот термин так прижился, что в аптеке вам спокойно продадут беруши, их предлагают в самолетах, даже если они сделаны без ФП. Авторство термина, естественно, забыто. Игоря Васильевича это не огорчало, он не стремился к закреплению приоритета. Главное — сделано полезное дело для людей. Привожу цитату из книги В.М.Лейчика «Люди и слова» (М.: Наука, 1982): «На основе реализации этой тенденции (телескопические слова: скрепление слов в одно целое автором) появилось оригинальное телескопическое слово “беруши”: так назвали новый аппарат, созданный советским ученым для борьбы с вредным влиянием шума на человеческий организм. Слово “беруши” образовано от предложения — призыва “берегите уши”. Теперь это обычное существительное, вроде ножницы, сани и т. п. И оно склоняется как эти слова: нет берушей, работают

с берушами... Это совсем новый способ словообразования, находящийся где-то между аббревиатурой и телескопией».

## Защита Астраханского залива

Читаю письмо, написанное писателем А.Мареиным из Дагестана на четырех страницах, которое кончается словом «Помогите!». Он пишет, что выступление Игоря Васильевича в Союзе кинематографистов СССР по поводу охраны природы побудило его обратиться с просьбой о помощи в защите уникальной природы его замечательного края. Писатель перечисляет множество вопиющих фактов — об осушении Астраханского залива Каспийского моря, где было пристанище осетров, место гнездовий и зимовки водоплавающих из стран Азии и Африки; это осушение привело к засолению пастбищ; о вырубке лесов, прославленных в «Хаджи-Мурате», «Казаках»; о браконьерстве с участием работников Государственной охотничьей инспекции Дагестана. Названы фамилии и факты.

Что делает Игорь Васильевич? При всей своей безумной занятости, отдаленности Дагестана, незнакомстве с автором письма он пишет письмо в Прокуратуру СССР и в Министерство сельского хозяйства. Ответ из Прокуратуры СССР приходит на домашний адрес Игоря Васильевича: подтверждены «факты нарушения законодательства об охране природы, по ним приняты меры прокурорского реагирования. Этот документ рассмотрен на заседании комиссии Верховного Совета Дагестанской АССР по сельскому хозяйству и охране природы. Намечены конкретные меры, направленные на устранение нарушений природоохранительного законодательства».

Это один из бесчисленных фактов помощи людям, которые не могут молчать, быть равнодушными.

## Животные в нашем доме

У нас почти всегда жили собаки. Вначале лайка Алик, выброшенный кем-то на улицу и пригретый нами, пес очень самостоятельный, который сам выходил гулять и возвращался обратно, царапая лапой дверь (тогда не было домофонов и закрытых входных дверей). Когда мы на машине ездили по Золотому кольцу, на ночь Игорь Васильевич ставил палатку, где мы спокойно спали, а Алик нас охранял. Как-то к нам подошла группа ребят, и Алик так грозно зарычал (хотя он никогда не кусался), что ребята быстро разбежались. Потом был ризеншнауцер Бэр, с ним дочка каждое воскресенье ходила на занятия, поэтому он все умел и все знал. Игорь Васильевич очень его любил, хотя в прошлом в его доме жила кошка, которой он посвятил прекрасное стихотворение «Коты это знают издавна, что кот всему господин...». Возвращаясь к Бэру: в те времена (1980-е годы) мы выписывали много разных газет и «Огонек», которые лежали обычно на даче на втором этаже, на стуле. Игорь Васильевич, сидя на террасе и окончив чтение очередного номера «Огонька», сказал, что не хочется подниматься вверх за другим номером, подозвал Бэра, дал ему понюхать журнал и скомандовал: «Принеси!» Умная собака радостно поднялась на второй этаж, отыскала журнал и преданно вручила его хозяину. Может быть, Бэр к тому времени уже научился читать?

## Усадьба Гребнево

Рядом с усадьбой находятся два храма — летний и зимний. Это храмы Гребневской Божьей матери. Несколько лет подряд мы с Игорем Васильевичем и компанией наших друзей, среди которых были профессор О.В. Бецкий с женой, народный артист СССР А.И. Полетаев, руководитель ансамбля «Боян», заслуженная артистка РФ Г.М. Кулюкина, и другие замечательные люди, приезжали туда на день-два, на празднование Пасхи.



*На Красной площади с газетой, в которой напечатан указ о награждении Игоря Васильевича орденом Ленина. 6 июля 1966 года*





В музеях Московского Кремля экспонаты защищали от пыли «фильтры Петрянова»

Стояли на службе, а потом возвращались во дворец, принадлежавший когда-то князьям Трубецким, — отреставрированный, двух-этажный, теплый, просторный — и отмечали великий праздник.

Гребнево знаменито стихотворением Державина, который воспел родниковый ключ на территории усадьбы. Ансамбль восстанавливали благодаря письмам, подписанным рядом известных людей, в том числе Игорем Васильевичем. Дворец и флигель, в котором после реставрации размещалась детская школа искусств, были на балансе НПО «Платан». Эта организация вложила немалые средства в реставрацию

усадьбы. Была даже небольшая гостиница, в которой мы и жили. Естественно, это место привлекало туристов. Увы! В 1992 году, когда начались «смутные времена» и захват-передел государственной собственности, группы неизвестных людей не смогли поделить великолепную усадьбу и сожгли ее. Сейчас там руины, и, к сожалению, нет нового «Платана», желающего что-то восстановить.

## Post scriptum

Считается, что человек умирает тогда, когда о нем перестают вспоминать. Я бесконечно благодарна ученикам, которые хранят память о нем и его делах: профессор Ю.Н.Филатов, руководитель отдела, помогающего организовать Петряновские чтения в НИФХИ имени Л.Я. Карпова, профессор Б.И.Огородников, профессор Б.Ф.Садовский, А.В.Шепелев, недавно ушедший П.И.Басманов и другие.

В 2012 году Союз химиков учредил золотую медаль академика И.В.Петрянова-Соколова за выдающиеся достижения в области физической и прикладной химии, которой наградили академиков А.Л.Бучаченко, Б.Ф.Мясоедова, П.С.Голицына, Л.А.Ильина, а также учеников Игоря Васильевича, проработавших с ним долгие годы.

В 1999 году в серии «Творцы ядерного века» был опубликован сборник воспоминаний об академике Петрянове-Соколове, который составил Б.И.Огородников. В 1998 году публицист, литератор, издатель В.О.Осипов переиздал книгу Игоря Васильевича «Самое необыкновенное вещество», в 2013 году посвятил ему главу в своей книге «Корифеи моего времени». В 2009 году вышла в свет замечательная книга академика Н.А.Платэ «О моих учителях и друзьях в химии и жизни», в которой есть глава «Феномен Петрянова»; об Игоре Васильевиче есть статья в книге И.А.Захарова-Гезехуса «Ученые верят в бога» (2016).

В 2007 году я напечатала книгу «С тобой... и без тебя», удостоенную премии «Имперская культура». В тезисах Петряновских чтений каждые два года я описываю какие-либо эпизоды из жизни Игоря Васильевича, было также несколько публикаций в журнале «Химия и жизнь». В книге «Реставратор всея Руси. Воспоминания о Савве Ямщикове» (М.: НО «ИЦ Московведение», 2014) есть глава «Ямщиков, Петрянов и Марк Аврелий».

Мой низкий поклон всем, кто хранит память об Игоре Васильевиче.



# Аэрозольный след ядерного оружия

Доктор химических наук

**Б.И.Огородников,**

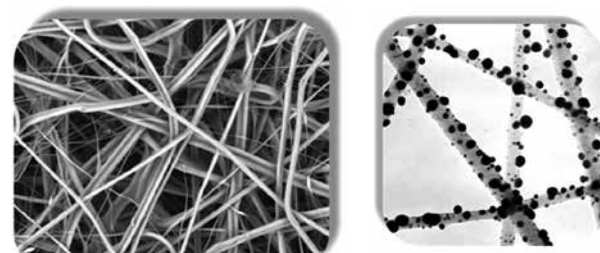
главный научный сотрудник НИФХИ им. Л.Я.Карпова

После испытания первой атомной бомбы в июле 1945 года в пустыне Аламогордо и бомбардировки японских городов Хиросима и Нагасаки Соединенные Штаты Америки запланировали провести через год еще два взрыва. Для этого был выбран атолл Бикини в Тихом океане. Чтобы успокоить некоторых американских ученых и общественность, выражавших несогласие с монопольным владением атомным оружием, известили об испытаниях ООН и ряд стран.

Получив приглашение, советские руководители решили не ограничиваться отправкой наблюдателей. Академики Н.Н.Семенов, И.В.Курчатов и А.И.Алиханов сочли, что очень важную информацию о бомбах можно получить, если отобрать из атмосферы и проанализировать радиоактивные продукты взрывов. В письме, направленном 2 июля 1946 года Л.П.Берии, который в те годы курировал атомный проект, они писали:

«...Возникла мысль о возможности получения ценных сведений об американской бомбе, а именно, определение коэффициента полезного действия бомбы и веществ, из которых она сделана (плутоний, или уран-233, или уран-235). Для этого необходимо, чтобы в день второго взрыва на расстоянии 500 км от центра взрыва находился наш самолет типа летающей лодки, снабженный фильтрами для воздухоочистки (от пыли). Самолет должен быть снабжен счетчиками  $\gamma$ -лучей. Залетев с подветренной стороны на расстояние 300 км от центра взрыва и курсируя там, самолет с большой долей вероятности встретится с летающим по ветру облаком пыли с остатками из вещества оболочки бомбы, неразложившегося вещества ядра бомбы и продуктов взрыва. Счетчик  $\gamma$ -лучей позволит самолету отметить момент встречи с этим радиоактивным облаком и, включив фильтр, курсировать внутри облака в течение получаса. Как показывает расчет, за это время на вате фильтра осадится достаточно веществ для того, чтобы можно было его затем анализировать радиометрическими методами в Москве.

...Считая, что при хорошей организации дела имеется значительный шанс на успех, мы обращаем Ваше внимание на большой интерес проведения этого опыта,



Волокна материала ФПП-70-0,2 в электронном микроскопе. Аэрозольные частицы на фильтрующих волокнах (справа)

т. к. он даст значительно более важные сведения, чем все остальные опыты, за-проектированные экспедицией».

Однако экспедиция к атоллу Бикини не состоялась. Ее осуществление требовало большой подготовки. Кроме того, взрыв в воздухе был проведен еще за сутки до того, как академики отправили письмо.

Следует отметить, что специалисты Института химической физики АН СССР, готовившие экспедицию, предполагали использовать в качестве фильтра для отбора аэрозолей гусиный пух — им в то время снаряжали некоторые модели противогазов. Очевидно, из-за режимов секретности они не знали, что в нашей стране имеются более совершенные фильтрующие материалы, которые позже стали называть «Фильтры Петрянова». Способ их получения был открыт в 1937 году на основе электрогидродинамического вытягивания ультратонких полимерных волокон, разработанного в лаборатории аэрозолей Физико-химического института им. Л.Я.Карпова. Уже через два года в Калинин начал работать цех по производству таких фильтрующих материалов, предназначенных для новых армейских противогазов. За эту работу И.В.Петрянов в 1943 году был удостоен ордена Ленина, а сотрудники лаборатории награждены орденами и медалями.

После взрывов на Бикини И.В.Петрянов был приглашен на заседание НТС Первого главного управления при Совете министров СССР, которое состоялось 9 сентября 1946 года. Одним из пунктов повестки дня было сообщение Ю.Б.Харитона по докладу Н.Н.Семенова «Об организации испытаний». Речь шла о подготовке наблюдений за взрывом первой советской атомной бомбы. Предполагалось получить сведения о мощности взрыва и КПД взрывчатки с помощью аэрозольного метода. По материалам заседания было принято Постановление Совета министров СССР от 14 ноября 1946 года, согласно которому Научно-испытательному институту ВВС Министерства вооруженных сил поручили разработать способы «забора в воздухе проб пыли вредных продуктов самолетом, снабженным фильтрами».

Чтобы выполнить это задание, нужно было разработать материалы, улавливающие аэрозоли и пригодные для радиохимического анализа. Материалы с волокнами различного диаметра, обладающие разным сопротивлением, испытывали в широком диапазоне скоростей потоков. В итоге в Карповском институте создали материалы из ацетилцеллюлозы с диаметрами волокон около 1 мкм, которым присвоили марку ФПА-15-2,0 (фильтры Петрянова из ацетилцеллюлозы). Образцы передали для испытаний в Институт химической физики АН СССР.

Самолетные гондолы создали в ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского совместно с ФХИ им. Л.Я.Карпова; разместили их на крыльях



*Противогаз МО-2, в котором впервые был использован для защиты от аэрозолей фильтрующий материал Петрянова. Принят на вооружение в 1942 году*

истребителя Як-9в. В каждой гондole на трех соосных конусах находилось по 3 м<sup>2</sup> фильтрующего материала. Эти управляемые по радио самолеты после взрыва должны были проходить через радиоактивное облако и приземляться на полигонном аэродроме. Материалы с уловленными аэрозолями поступали в радиохимическую лабораторию.

К середине августа 1949 года фильтровальными гондолами оборудовали пять самолетов Як-9в, под каждым крылом разместили по гондole. Летные испытания проходили на Семипалатинском полигоне. Узким местом оказалось приземление самолетов: ломались шасси, машины «клевали» при посадке. Из пяти самолетов при испытательных полетах пострадали два или три. Только два могли взлететь и работать.

Испытание первой советской атомной бомбы состоялось утром 29 августа. Из-за густой и низкой облачности И.В.Курчатов отменил отбор аэрозольных проб.

Следующие два отечественных ядерных испытания провели через два года. К этому времени пробоотборными гондолами оборудовали транспортные самолеты ЛИ-2. Испытание заряда РДС-2 состоялось на полигонной башне 24 сентября 1951 года, а через три недели (18 октября) третья отечественная атомная бомба РДС-3 была сброшена с бомбардировщика Ту-4. Радиоактивный «гриб» поднялся до тропопавы (около 12 км). Самолет ЛИ-2 прошел несколько раз через облако и отобрал аэрозоли на фильтр Петрянова. Примечательно, что руководил пробоотбором радиохимик Дмитрий Александрович Шустов,



## ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

которого И.В.Курчатов посадил на место штурмана. Впервые в мире самолет с людьми вошел в ядерную преисподнюю.

«Сначала мы пролетели на высоте 3000 метров, — вспоминал Д.А.Шустов. — Приборы показали, что радиоактивных веществ здесь не очень много. Тогда я приказал подняться на 5000 метров. Стрелки дозиметрических приборов вскоре ушли за границы шкал. Это означало, что на фильтре уже находилось более 1 Ки радиоактивных веществ. После приземления фильтрующий материал поступил в радиохимическую лабораторию, где определили коэффициент полезного использования плутония. Мощность взрыва равнялась 41,2 кт. И.В.Курчатов был доволен и всех поблагодарил за работу».

У научного сотрудника Карповского института П.И.Басманова, разработавшего под руководством И.В. Петрянова знаменитый респиратор «Лепесток», сохранился лабораторный журнал с записями середины 50-х годов. Это время создания полигона на Новой Земле и первого в СССР подводного ядерного взрыва. Было ясно, что взрыв приведет к вскипанию и диспергированию большой массы воды. Чтобы обеспечить отбор радиоактивных аэрозолей, требовалось исследовать гидродинамику и механическую стойкость фильтрующих материалов, а также их возможность улавливать и накапливать водные туманы. Эта задача была решена с помощью гидрофобных волокнистых «фильтров Петрянова». Но в день подводного взрыва при отборе проб возникла ситуация, которая могла привести к трагедии. Вот что писал об этом Д.А.Шустов:

«Осенью 1955 года на Новой Земле провели первый подводный взрыв атомной бомбы... На Северном полигоне создали радиохимическую лабораторию. Пробу отбирали самолетом Ил-28, оборудованным гондолой с фильтром... Когда самолет вышел из облака, летчик обнаружил, что лобовое стекло покрыто каким-то веществом, да так плотно, что видимость почти не осталось. Самолет с трудом был посажен на аэродром. При осмотре лобового стекла установили, что оно покрылось морской солью. Следовательно, радиоактивные аэрозоли, образующиеся при подводных взрывах, являются не только твердыми, но и жидкими».



Вскоре в итоге теоретических, экспериментальных и летных исследований, проведенных специалистами ФХИ им. Л.Я.Карпова, удалось разработать и внедрить в промышленность новый неворсистый фильтрующий материал ФПА-15-1,0. Он с высокой эффективностью улавливал аэрозольные продукты ядерных взрывов, имел пониженную зольность (чем ниже зольность, тем меньше фоновых примесей, мешающих анализу), а также обладал высокой механической стойкостью благодаря склейке волокон. Этот материал создавали для новой унифицированной фильтровальной гондолы, разработку которой завершили в 1964 году в конструкторском бюро А.С.Яковлева. Материал выдерживал сверхзвуковые скорости полета при эксплуатации на самолетах Як-25 и Як-28.

Однако даже отбор продуктов ядерных взрывов с помощью самолетных установок не всегда удовлетворял потребности службы специального контроля. Например, при космических взрывах или воздушных взрывах мощных термоядерных устройств требовалось отобрать пробы из верхних слоев стратосферы. Это можно было сделать лишь с аэростатов или с помощью ракет.

Весной 1961 года началось создание аэростатной аппаратуры для отбора не только радиоактивных аэрозолей, но и газообразных компонентов, которые содержали тритий (в парах воды) и  $^{14}\text{C}$  (в углекислом газе). Уже через год в стратосфере были проведены полеты аэростата APP-1 с высот до 25 км доставлены пробы аэрозолей.

В 1965 году под руководством И.В.Петрянова в ФХИ им. Л.Я.Карпова и Долгопрудненском конструкторском бюро автоматики началась разработка нового аэростата (APP-2) и аппаратуры «Снежинка», предназначенных для отбора радиоактивных веществ из стратосферы с высот до 32 км. В «Снежинке» воду и углекислый газ вымораживали в теплообменнике, охлаждаемом жидким азотом, что обеспечивало чистоту и высокую эффективность отбора. В 1967—1969 годах с помощью APP-2 доставили около 20 уникальных проб, в том числе 21 октября 1969 года с высоты около 25 км — «свежие» продукты девятого ядерного взрыва КНР. Одновременно получили уникальные сведения о влажности стратосферы и концентрациях



третия — установили, в частности, что выше 15—20 км удельная влажность воздуха возрастает и наблюдаются ее сезонные колебания. Из анализов углекислого газа следовало, что содержание  $^{14}\text{C}$  максимально на высотах около 25 км.

После заключения в 1963 году Договора о прекращении ядерных испытаний в атмосфере, под водой и в космосе США и СССР перенесли свои взрывы под землю. При этом пристальное внимание стали уделять выходу на поверхность земли в районе испытания газообразных химических веществ, в частности радиоактивного йода. Для его обнаружения в Карповском институте были разработаны сорбционно-фильтрующие материалы, содержащие активированный уголь. Самолетные гондолы стали снаряжать слоистыми композициями: первый слой — материал ФПА-15-2,0 (или ФПП-15-1,5), второй — сорбционно-фильтрующий. Когда же материал ФПА-15-2,0 заменили на трехслойную композицию (первый слой — ФПА-70-0,1, второй — ФПА-70-0,2 и третий — ФПП-15-1,5), стали получать еще сведения о размерах частиц радиоактивных аэрозолей.

Все марки фильтров начинаются с аббревиатуры ФП (фильтр Петрянова). Следующая буква обозначает полимер: А — ацетилцеллюлоза, П — перхлорвинил. Числа указывают сопротивление слоя и диаметр волокон. Трехслойная композиция фильтров подобна сити из трех сеток, в котором наиболее крупные частицы задерживаются первой сеткой, более мелкие — второй и наиболее мелкие — третьей. Размер частиц важно знать, например, при оценке переноса аэрозолей в атмосфере, а также чтобы определить, как они поведут себя в дыхательных путях человека (крупные частицы оседают в носоглотке и легко отхаркиваются, а мелкие проникают в альвеолы и легочные бронхи).

Созданные для аналитических целей волокнистые полимерные «фильтры Петрянова», а также наземные, корабельные, самолетные, аэростатные

*Самолет-штурмовик Ил-28 с двумя фильтровальными гондолами, расположенными под крыльями слева и справа от реактивных двигателей*

фильтровальные установки позволили отбирать и анализировать радиоактивные продукты не только отечественных, но и зарубежных ядерных взрывов в различных точках нашей планеты, в том числе в стратосфере. Так аэрозольный метод контроля и обнаружения ядерных взрывов стал неотъемлемой частью советского атомного проекта.

Все средства и методы контроля ядерных испытаний, рассмотренные выше, нашли применение при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Уже 27 апреля 1986 года с самолета АН-24pp, совершавшего очередной плановый полет над западной частью Европейской территории СССР, были отобраны и доставлены на анализ в Киев радиоактивные аэрозоли взорвавшегося 4-го энергоблока. Еще через пять суток чернобыльские аэрозоли были зафиксированы над Атлантическим океаном с борта одного из советских научно-исследовательских судов, оборудованного фильтровальными установками. Непрерывный контроль радиоактивности атмосферы над ЧАЭС и центральными областями нашей страны продолжался до завершения строительства саркофага, укрывшего разрушенный энергоблок 30 ноября 1986 года. Немаловажен еще и такой факт: 90% ликвидаторов последствий аварии работали в зоне отчуждения в респираторах «Лепесток», созданных в ФХИ им. Л.Я.Карпова из фильтрующих материалов Петрянова.







КНИГИ

**А.Д. Резник**

Шаг за шагом: готовим статью для международного научного журнала.  
КМК, 2017



**В** книге рассмотрены все этапы работы над рукописью, от поиска наиболее подходящего журнала и работы над текстом до переписки с редакцией. Автор дает читателям множество конкретных рекомендаций, иллюстрируемых фрагментами из опубликованных научных статей. Детальное рассмотрение всех слагаемых процесса делает книгу хорошим подспорьем для университетских ученых, научных работников, аспирантов и докторантов, поставленных перед необходимостью наращивать объем публикаций в международных журналах.

**Т.Л. Шаумян**

Россия, Великобритания и Тибет в «Большой игре».  
КМК, 2017



**К**нига посвящена малоизвестным страницам истории международных отношений в Центральной Азии и на Дальнем Востоке в конце XIX — начале XX века. Ее темы — место Тибета в российской внешней политике, особенности отношений Тибета с Россией, Цинской империей, Великобританией и Монголией, а также его стремление утвердить свою независимость. Автор использовал оригинальные источники из Архива внешней политики Российской империи и Национального архива Индии, в том числе переписку русского царя и Далай-ламы XIII, донесения и письма российских дипломатических представителей и агентов из Лондона, Калькутты, Пекина и Урги.

Установление российско-тибетских отношений, тибетские миссии в Россию в 1900 и 1901 гг. были связаны с основными тенденциями российской политики в отношении Дальнего Востока и Центральной Азии — частью «Большой игры», англо-русского соперничества в Азии. По убеждению автора, именно тибетский вопрос стал пробным шаром в ходе англо-русских переговоров, создавшим условия для взаимного определения намерений сторон.

**Е.Н. Панов**

Зоология и моя жизнь в ней  
КМК, 2016



**Э**та книга — мемуары полевого зоолога, вся жизнь которого состояла из путешествий и экспедиций. Автор описывает свои исследования на протяжении полувека, в России и на сопредельных территориях, а также в Израиле. Книга адресована широкому кругу читателей, от школьников до профессиональных научных работников. Но в первую очередь она — для зоологов разных специализаций. На фоне яркого экспедиционного быта показаны зарождение и развитие научных гипотез, поиски и находки, открытия и разочарования, трудный путь отказа от ошибочных выводов и концепций. Каждая глава посвящена истории создания одной из 12 книг Е.Н. Панова. Автор показывает, как устроена «наука вообще», ее различные аспекты, ее организация на разных уровнях — не иерархических и чиновных, не по научным степеням и званиям, а по уровням замысла, исполнения, анализа и осмысления. Книга может рассматриваться как первый отечественный профессиональный и в то же время научно-популярный учебник этологии.

**И.А. Жирков**

Био-география.  
Общая и частная: суши, моря и континентальных водоемов  
КМК, 2017



**В** отличие от большинства отечественных и зарубежных монографий и руководств, эта книга рассматривает биогеографию с позиции биологии, а не географии. Она состоит из двух частей, посвященных общей и частной биогеографии. В первой проанализированы различные концепции и взгляды на структуру биосферы, рассмотрены закономерности, свойственные всей биосфере, методы выявления биогеографических регионов и смысл этого понятия в разных парадигмах. Вторая часть посвящена частной биогеографии — биогеографии основных биотопов Земли: суши, континентальных водоемов и моря, соответствующих основным типам экосистем. При характеристике биогеографических регионов, в первую очередь суши, по возможности учтены изменения, произведенные человеком, и сделана попытка воссоздания картины, существовавшей до его появления. Книга интересна не только специалистам, но и широкому кругу лиц, интересующихся вопросами биогеографии и экологии.

Подробности см. на сайте издательства  
<http://avtor-kmk.ru>

# Рогатый огурец

Среди экзотических плодов, призванных разнообразить наш привычный рацион, набирает популярность кивано — рогатый огурец.

**Что это за растение?** Кивано, *Cucumis metuliferus*, принадлежит к семейству тыквенных, к тому же роду, что и дыня *C. melo* и наш привычный огурец *C. sativus*. Это однолетняя лиана длиной до трех метров, лазающая или стелющаяся. Стебель у нее волосистый, листья крупные. Растение однодомное, то есть мужские и женские цветки появляются на одном стебле. Цветки одиночные, женские крупнее мужских. Плод эллипсоидной формы, длиной до 15 см и до 6 см в диаметре. Снаружи он утыкан довольно крупными, широкими иглами, потому и рогатый. (Растение иногда называют рогатой дыней.) Кожира его зеленовато-серая, а когда плод созреет — желтая. Многочисленные крупные семена утопают в желтовато-зеленой желеобразной массе. Отсюда еще одно название — желейная дыня.

Кивано — растение тропической Африки. Его ареал простирается к югу от Сахары до Намибии, Ботсваны, Южной Африки и Свазиленда. В 1980-х годах несколько фермеров стали выращивать *C. metuliferus* в Новой Зеландии для внутреннего потребления и на экспорт. Продавали его почему-то под названием «Мексиканский фруктовый салат». А в Западной Африке, в Сьерра-Леоне, растение прозвали английским томатом.

Но потом все наладилось, название «кивано» зарегистрировали как торговую марку, и под этим именем *C. metuliferus* культивируют далеко за пределами его родной Африки: в Австралии, Чили, на юге США, в Португалии, Италии и Германии — там, где достаточно тепла и света. В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН вывели первый российский сорт кивано, Зеленый дракон, рекомендованный для выращивания в открытом грунте и теплицах Сибири.

**Огуречная горечь.** Пробовать рогатые огурцы нужно с осторожностью. Плоды могут быть горькими, но по внешнему виду их нельзя отличить от негорьких. Горечь им придают тритерпеноиды кукурбитацины, которые содержатся во многих растениях семейства тыквенных, Cucurbitaceae, — в их честь эти соединения и названы. Так, горькими бывают дикие формы арбуза. Столовый арбуз, плод долгой селекции, берет начало от сладкой формы.

Из-за кукурбитацинов горчат огурцы. В XVIII веке английские медики даже считали их ядовитыми и призывали соотечественников огурцы не есть. Кукурбитацины действительно ядовиты, однако в той концентрации, в которой их содержат огурцы, как обычные, так и рогатые, они безопасны, ученые специально это проверяли. Горьким рогатым огурцом отравиться нельзя, даже если, преодолевая себя, съесть несколько плодов. Между прочим, некоторые африканские племена, бушмены например, во время неурожая и сами едят горькие кивано, и скотину ими кормят. Ничего, все живы.

Негорькие плоды имеют освежающий ананасово-банановый вкус с легкой кислинкой и практически не пахнут. В магазины попадают именно они.

**Чем полезны рогатые огурцы?** У нашего родного огурца под кожурой находится слой плотной мякоти, у кивано такого слоя нет. Внутри сплошное желе с семечками, и в нем очень много воды, целых 89%. В пустыне Калахари кивано — один из немногих источников влаги.

Рогатый огурец полезен желающим сбросить вес: 100 г сырых плодов содержат всего 44 ккал. Однако главное достоинство кивано заключается в большом количестве витаминов, микро- и макроэлементов.

Прежде всего специалисты отмечают высокий уровень витамина С, особенно им богата кожира. Еще два ценных соединения — бета-каротин и витамин А. Бета-каротин поддерживает иммунную систему, витамин А полезен для зрения, особенно для ночного, а также помогает сохранить здоровую кожу. По некоторым данным, диеты, богатые бета-каротином и лютеином (кивано и его содержат), замедляют старение. Витамин Е благотворно влияет на эритроциты, кожу, мышцы, нервы и сердце и действует как антиоксидант. Некоторые исследователи предполагают, что витамин Е может снизить риск развития болезней Альцгеймера и Паркинсона.





Мякоть плода содержит также тиамин В<sub>1</sub>, рибофлавин В<sub>2</sub>, ниацин В<sub>3</sub>, пантотеновую кислоту В<sub>5</sub>, витамин В<sub>6</sub> и фолат В<sub>9</sub>.

Из минеральных веществ в первую очередь надо упомянуть железо и калий. Кроме того, плоды богаты фосфором, магнием, цинком, кальцием, медью и натрием. Цинка достаточно, чтобы увеличить количество сперматозоидов и их подвижность.

А еще в кивано есть сапонины, танины, алкалоиды, углеводы, сердечные гликозиды, флавоноиды и другие биологически активные вещества.

**Кивано и медицина.** Местные жители издавна применяли рогатый огурец в лечебных целях, причем не только плоды, но и корни. Племена шона, живущие в Окаванго (Зимбабве), используют отвар корня для смягчения боли после родов, вареный корень помогает при гонорее. А если корень измолоть, смешать с жиром и намазать этой смесью тело, ни один злой дух не сможет проникнуть в дом.

На плато Нигерия кивано — традиционное средство для лечения язвы желудка, сахарного диабета, гепатита В, гипертензии и СПИДа. (Сведения о СПИДе получил в 2006 году один из специалистов Нигерийского университета Джоса в личной беседе неизвестно с кем.) Местные фермеры лечат рогатым огурцом болезни кур. По некоторым данным, мякоть кивано на плато Нигерия служит универсальным средством от всех болезней как человека, так и скотины, и плод называют «канда», в переводе это слово означает «остановить что-то, прежде чем оно произойдет».

Естественно, лечебными свойствами плодов заинтересовались и ученые, в частности его активно исследуют в Университете Джоса — анализируют действие экстракта плодов либо его алкалоидов и флавоноидов. Исследования проводили in vitro или на лабораторных животных.

Оказалось, что экстракт плодов действительно улучшает показатели крови — увеличивает содержание гемоглобина, количество эритроцитов и лейкоцитов; помогает при язве (во всяком случае, защищает слизистую оболочку у мышей); нормализует уровень глюкозы в крови при искусственно вызванном диабете. У кроликов он снижает численность трипаносом — паразитических одноклеточных, возбудителей разных недугов, в том числе сонной болезни, и, хотя не спасает зараженных животных, вдвое продлевает им жизнь. У кур кивано ослабляет клинические признаки болезни Ньюкасла (вирусного заболевания домашней птицы) и восстанавливает геморрагические повреждения внутренних органов, вызванные болезнью. Есть основания полагать, что рогатый огурец поможет при гепатитах В и С. Плоды обладают также антибактериальными свойствами, снижая численность *Salmonella gallinarum* — возбудителя кишечного заболевания домашних кур.

В общем, рогатый огурец заслуживает самого пристального внимания, вдруг он и впрямь канда.

**И как его едят?** Сезон рогатого огурца длится с февраля по июль: в это время он плодоносит. Кивано можно есть на любой стадии спелости, но перезрелый плод иногда ломается прямо в руках, освобождая семена, так что брать его следует с осторожностью.

При комнатной температуре плоды хранятся до полугода. Их можно есть как обычный огурец (хотя чаще кивано моют, разрезают пополам и вычерпывают ложечкой желейную мякоть) или добавлять во фруктовые салаты. Эти салаты, кстати, эффектно смотрятся в пустых кожурках-лодочках, оранжевых и шипастых.

Даже если огурец перезрел, из его мякоти можно приготовить джем, запечь во фруктовый пирог или добавить в смузи. Некоторые народы Южной Африки плоды жарят, а листья готовят как шпинат или смешивают с кукурузной мукой.

А что делать нам, если повезет разжиться Зеленым драконом? Разрезав огурец пополам, удалим сердцевину, смешаем ее с двумя столовыми ложками сахара, разложим по мисочкам и поставим в морозильник. Через час летнее лакомство готово.

Если есть еще один рогатый огурец, приготовим сокрушительный напиток «Два К». Нам понадобятся кивано, два киви, 60 мл ликера Куантро (его делают на основе сладких и горьких апельсинов), 120 мл водки и две чашки колотого льда.

Из серединки кивано вырежем два тонких ломтика и оставим для украшения. Остальную мякоть вынем ложкой и положим в блендер. Туда же добавим киви, очищенные и порезанные на крупные кусочки, и остальные ингредиенты. Взобьем все это на большой скорости до получения однородной массы, перельем в два высоких стакана и украсим ломтиками кивано. Ваше здоровье!

Н. Ручкина

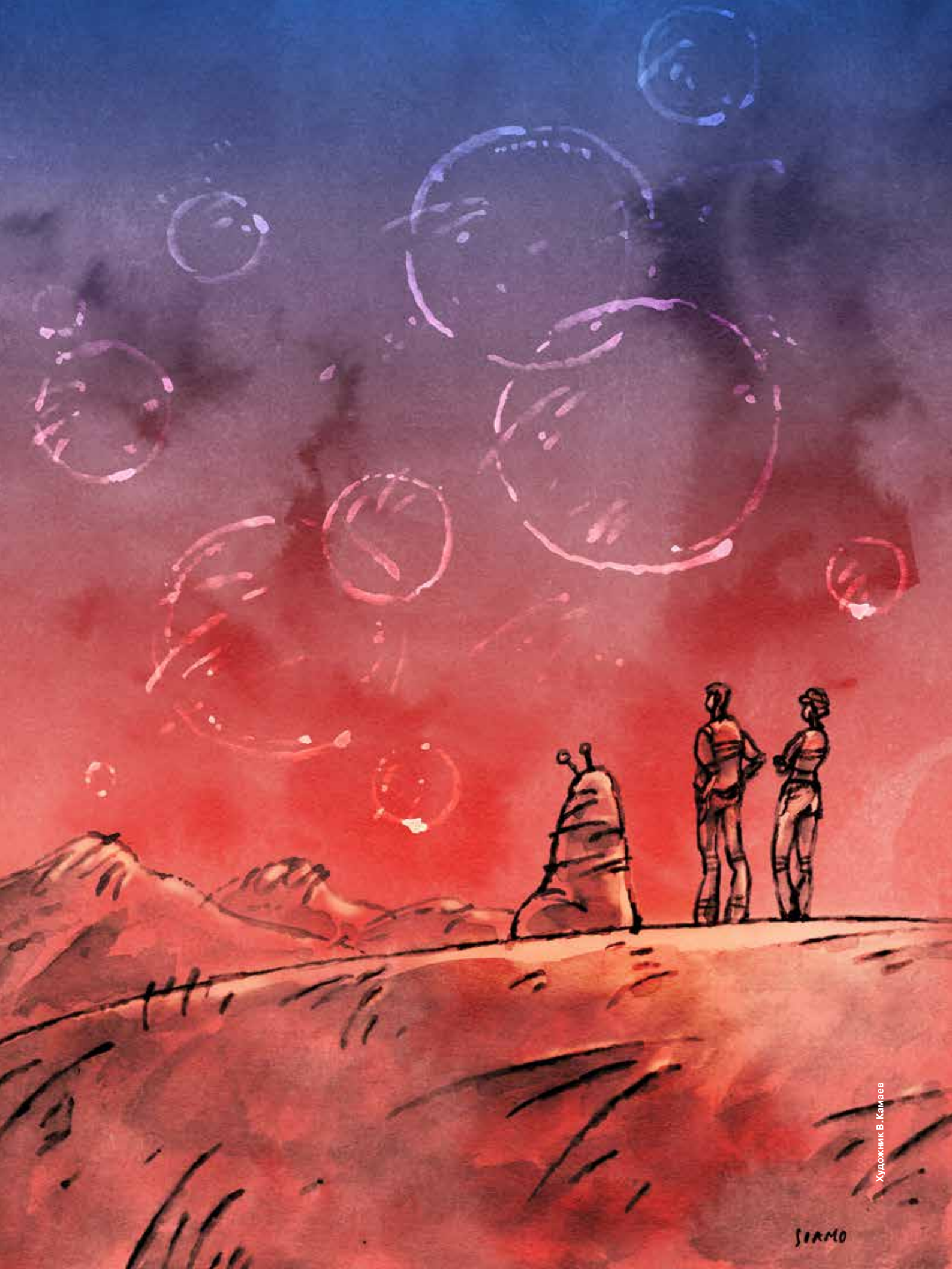


ЧТО МЫ СЪЕДИМ

Художник Н. Колпакова







# Что вы знаете о Шушурбане?

Елена Щетинина

Когда Мишка вернулся к флаеру, ловко балансируя в тесноте парковки двумя пакетами с эрцаз-пищей, его штурман Алиса горько рыдала, вытирая слезы шторкой.

— Эмн? — осторожно осведомился Мишка, садясь в салон на свое место пилота.

— Смо-о-три-и-и, — всхлинула Алиса, протягивая ему планшет.

Мишка вздохнул, увидев логотип сетевой библиотеки и маркировку «Не-земной автор». Неужели Алису опять потянуло на графоманов с тентаклями, хитиновыми панцирями и псевдоподиями? Мишка как-то раз попытался прочесть что-то оттуда, обозначенное как «шпионский роман», но когда понял, что половина действующих лиц являются субличностями в составе единого сознания гигантского шмеля, парящего в космосе и пожирающего галактики... в общем, он содрогнулся и бросился лечить моральную травму старым добрым Дюма.

«Анди-Ту, окруженный вязкой и плотной темнотой, протянул щупальца и нашарил хрупкое и высохшее тельце Ку-ри-Ба, — пробежал Мишка глазами последний абзац. — Его любимый питомец, самое близкое в мире существо, маленький хромой Ку, не отзывался. Прекратили биться три верных сердечка, бессильно распласталась единственная псевдоподия. Никогда больше не издаст Ку веселый заливистый буук, не выбежит, хромая, навстречу маленькому хозяину, Анди...»

Слезы покатались из пустых глазниц Анди-Ту».

— Опять? — сурово спросил Мишка, возвращая планшет Алисе. Собственно, ее личное дело, чем она занимается, когда нет работы, — но проблема в том, что в последнее время работы не было практически постоянно, а это могло оказаться гибельным как для литературного вкуса бывшего филолога, так и для ее нервной системы.

— Ты грубый и бессердечный, — всхлинула Алиса. Шторку она, однако, оставила в покое.

— Ну есть такое, — согласился Мишка, протягивая ей пакет. — Ешь. Сейчас сборный туристический рейс с орбиты придет. Может быть, кого-нибудь удастся перехватить.

Заняться частным извозом было большой ошибкой. Мишка купился на романтику путешествий и заразил ею верную подругу — но, кроме романтики, ничего эта деятельность не приносила. Гости Земли прибывали на планету преимущественно по туристическим путевкам, в которые уже входили услуги корпоративных такси, заранее пристыкованных к коридорам выхода. Разумеется, эти туристы и внимания не обращали на ярких частников, какими бы романтическими те ни были. Другой тип приезжих, совсем малочисленный, наоборот, отличался страстью к риску и приключениям. Но этих такси не интересовало вообще. Они жаждали чего-то особенного — лошади, дирижабли, аэропланы, вот что радовало их сердце или сердца, в зависимости от биологического вида. И тут небольшое и юркое такси тоже было не в кассу.



ФАНТАСТИКА

Мишка уже решил: дорабатывает до конца года, а там меняет профиль деятельности. Редких заказов едва-едва хватало на заправку энергобаллонов, не то что на какие-то излишества. Алиса тоже маялась, пережегая скуку рыданиями над сентиментальными романами.

— Ешь давай, — повторил Мишка. — У нас на все про все десять минут.

Алиса вздохнула, взяла небольшую коробочку, резко потрясла и потянула за уголки, раскрыв ее, как диковинный цветок. По салону поплыл запах жареного мяса, а из коробочки, как тесто из кастрюли у бабушки в деревне, вылезла красновато-коричневая масса. Алиса наморщила нос.

— Уж лучше бы ты просто бутерброд взял.

Она брезгливо ткнула массу вилкой. Та заколыхалась и, кажется, даже что-то недовольно пробормотала.

— Дала бы денег, взял бы. — Мишка запихивал в рот свою порцию, не обращая внимания на сопротивление еды. — На что хватило, то и купил.

— Ты допрыгаешься со своими экспериментами с индукцией. Когда-нибудь нас в лучшем случае пронесет. А в худшем... — Алиса зажмурилась и сунула в рот вилку с пищей. Масса пульсировала и явно возражала против поедания. С напряженным лицом Алиса еще с минуту прислушивалась к своим ощущениям, а потом благосклонно кивнула: — Ну ладно, сойдет.

— Ну конечно, сойдет. — Мишка, закинув голову, встрял в рот какие-то семена из пакетика. — В едалнях космопорта только то, что для людей не ядовито, таковы условия лицензии.

— Ну не ядовито не равно вкусно. — Алиса скептически изучала содержимое пакета с семенами. — А ты знаешь, что их перед едой нужно прорастить у себя в еешу? Что такое еешу?

Мишка задумался, застыв с набитым ртом. На его лице отразилась работа мысли и борьба с желудочными спазмами.

— Хотя, надо сказать, меня больше интересует ремарка «у себя», — задумчиво продолжала Алиса. — Ты уверен, что...

— Ладно, я пошел. — Мишка выплюнул семена обратно в пакетик и открыл дверь. — Пожелай нам удачи. И больше не читай про этого... слепого Эндиту и хромого Ку.

Когда, вернувшись через полчаса, он от души хлопнул дверью флаера, Алиса все поняла без слов.

— Ладно, — вздохнула она. — Давай сейчас в Сибирь махнем. Там как раз у шахтеров смена закончилась. Может быть, хотя бы десяток клиентов наберем... Кстати, я узнала, что такое еешу, это...

— Мы даже дорогу туда-обратно не окупим. — Мишка раздраженно выкинул в окно пакетик недоеденных семян и с каким-то мстительным удовольствием стал наблюдать, как вокруг захопотал робот-уборщик стоянки. — И что там в этой Сибири? Глад, холод и снег? Хуже только в горах, ей-богу.

— Ну-у-у... — Алиса развела руками и снова включила планшет. — Мое дело предложить.

Мишка с раздражением стукнул кулаком по имитации руля и задумался.

И тут в окно со стороны Алисы вежливо постучали. Штурман Алиса, уже погрузившаяся в перипетии жизненного пути жабы-пиры, вздрогнула. За окном маячило существо, при виде которого хотелось вымыть руки и бежать. Или сначала убежать, а потом вымыть руки.

— Ишвините, — прошепелявило существо. — Вы швоботны?

Алиса нервно взглянула на Мишку — ее любовь к ксеноавторам не распространялась на существ, отличавшихся от гуманоидов. Тем более так отличавшихся.

Мишка сурово кивнул.

— Баб-ло, — проартикулировал он.

Алиса вздохнула и, улыбаясь как можно милее (пусть даже существо и не понимает человеческой мимики, корпоративная этика прежде всего), сняла блокировку пассажирской двери.

— Шпашибо, — поблагодарило существо и втекло в такси, полностью заняв, а точнее, залив собой сиденье.

— А вы хорошо выучили язык, — похвалила Алиса, поглядывая на пассажира через зеркало заднего вида.

Там шевелилось и клубилось бесформенное сизо-багровое нечто, переливаясь и пульсируя. Алисе показалось, что не так давно она ела что-то весьма похожее. «Надеюсь, потом не придется отдавать салон в чистку», — подумала она и тут же устыдилась этой мысли.

— У наш вроштенные шпошобношти к яшыкам, — с явными нотками удовольствия и гордости сообщило существо. — У ваш это нашьывается «мушыка шлюх».

— Музыкальный слух, — поправила Алиса, строго глянув на покрасневшего от сдавленного смеха Мишку. — Музыкальный слух.

— Мушыкальный шлюх, — старательно повторило существо, пробуя звуки на вкус. — Шпашибо.

— Вы чуть-чуть не так произносите. — Алиса повернулась к пассажиру. Его внешний вид ее уже почти не смущал. — Вот смотрите... вы говорите «шшшш», а надо «зззз» или «сссс».

— Шшшш, — покорно согласилось существо.

— Ладно, куда едем? — перебил их Мишка. — Простой такси тоже стоит денег.

Он на ходу изобрел новое условие: скорее всего, это их единственный клиент на сегодня, если вообще не на ближайшую пару дней, так что нужно было выдоить интуриста по полной. Не перегибая палку, конечно, — совесть у Мишки, к его сожалению, все-таки была.

— В Шушурбан, — гордо сообщило существо. — Я хошу увитеть Шушурбан.

— Кого? — Мишка воззрился на Алису. Та пожала плечами.

— Шушурбан, — терпеливо повторило существо. — Ваш лучший горот на планете.

— Штурман? — спросил Мишка.

Алиса снова пожала плечами: «Может быть, он неправильно произносит». И набрала «Шушурбан» на планшете, сконнектив тот с экраном пилота.

Теперь настал черед Мишки пожимать плечами.

— Скажите, а что вы знаете о Шушурбане? — спросила Алиса.

— О! — Существо благоговейно закатило к потолку все свои восемь глаз. — О! Это я толшен шпрашивать ваш, што ешьт в Шушурбане!

Алису слегка передернуло от столь человеческого проявления эмоций, но она упорно продолжала:

— Не, я про то, откуда и что вы узнали о нем? Нам же... ммм... интересно, как он воспринимается со стороны.

— Ах, вот вы про што! — Существо закопошилось шупальцами в своих складках; Алиса едва сдержалась, чтобы не зажмуриться. — Вот! — Пассажир извлек какой-то свиток.

Алиса протянула было руку, но, заметив капаящую со свитка слюзу, тут же благоразумно воздержалась от контакта.

— А давайте лучше вы сами прочтете, — предложила она, старательно улыбаясь. — Я же... ммм... не разбираюсь в этом... алфавите. Да, не разбираюсь.

— Простите, — смутился инопланетянин. — Я не потумал. Наш алфавит ошень слошный, в нем тышача што рашных шимволов. В шавишимошти от того, в какой шешон они ишпольшуютша...

— У нас время парковки заканчивается, — сообщил Мишка.

— Отгони куда-нибудь. — Алиса махнула рукой и любезно спросила клиента: — Вы же не возражаете?

— Отнюдь. — Существо покачало отростком, на котором находились голова и рот. (Это ведь голова и рот, да? Где же еще могут находиться глаза и для чего еще может служить эта... впадина?)

Алиса снова вздрогнула: они что, вместе с языком излучают и невербальные шутики?

— Ешли вопрош в теньгах, хошу ваш шаверить, я вешьма обешпечен. Чена для меня не имеет шначения. Тем более што курш валют вешьма в шторону моей ротины...

— Вам бы об этом особенно не распространяться, — посоветовал Мишка, цедя слова сквозь зубы и выворачивая флаер со стоянки у космопорта, чтобы перебраться в бесплатную зону подскока за городом.

Транс-прыжок на короткое расстояние, да еще и с полными баллонами, занял всего полминуты. Для пассажиров это только легкая вспышка и едва ощутимая встряска.

— А то мало ли на кого нарветесь... — пояснил Мишка после маневра.

— Мишк! — возмущенно вскрикнула Алиса. — Я же просила закрывать шторы при прыжках!

— Да ладно тебе, всего-то пара десятков километров, что ты волнуешься, — начал оправдываться тот.

— Што-то не так? — невозмутимо поинтересовался пассажир.

— Нет-нет, все в порядке! — Алиса устыдилась (все-таки не дело устраивать разборки при клиентах). — Просто есть такое правило: при транс-прыжках закрывать шторы. Чревато ожогом сетчатки, или голова заболит от яркого света.

— Яшно, — вежливо ответил инопланетянин. — Так вот, отрывок иш путевотителя по Шемле, пошвяшённный Шушурбану. Прошу прошения, ешли перевот бутет нешколко корявый... Итак... «Каштый гошть Шемли обяшан пошетить Шушурбан. Этот горот по праву мошет именоватъша чарём горотов — и не только Шемли, но и, пошалуй, вшей ишвешт-ной вшеленной. Вечные лъты и влашные шферы в етином аншамбле шоштают величайшее шрелишче, не увитав которое, невошмошно шитать шебя шнатоком и ченителем крашоты. По шеркальной глати плывут крушевные тени, тивные пешнопения шовут и манят в чутешные пешеры...»

— Вы точно уверены, что это город? — скептически осведомился Мишка. — А то знаете... влажные сферы, чудесные пещеры... это, кхм, не совсем архитектурные описания.

— Простите, — смутилось и растерялось существо. — Но это то, што напишано в путевотителе. Мошет быть, перевот нетошен...

Алиса украдкой бросила взгляд на Мишку — тот пожал плечами. Она вздохнула.



По-хорошему, конечно, стоило отказаться от заказа и объяснить интуристу, что они даже понятия не имеют, о каком городе речь. И что весьма вероятно — а Алиса считала себя хорошим штурманом, разбирающимся в географии, во всяком случае, хотя бы в части туристических достопримечательностей Земли, — никакого Шушурбана вообще не существует. Явно какая-то ошибка, опечатка (что там еще может быть в этом слизистом путеводителе?). Похоже, существо прибыло сюда в поисках города, которого нет. Но деньги... Им с Мишкой очень нужны деньги. А если сейчас прыгнуть обратно к космопорту, посадить пассажира, снова оплатить парковку на территории, пусть на этот раз и минимальную, но все же... Тогда они сегодня вообще уйдут в минус. Тем более что время для транс-прыжки в Сибирь уже упущено: туда сразу, как только иссяк поток космопассажира, прыгнули все, кто остался без клиентов. Хочешь не хочешь, надо выкручиваться.

— Понимаете... ммм... — Алиса стала на ходу придумывать. — Дело в том, что... ммм... у нас тут несколько Шушурбанов.

— Да?! — хором спросили инопланетянин и Мишка.

— Да, — осмелев, кивнула Алиса. — Одно время это было очень популярное название городов на Земле, а потом уж не стали менять. Понимаете, дань традиции и все такое.

— Понимаю, — согласилось существо. — Тратичии — это очень важно. Вы хотите шкашать, што вше эти Шушурбаны похожи трук на труха?

— Не совсем, — опять замялась Алиса; ей почему-то было сложно врать; возможно, потому, что она чувствовала на себе изумленный взгляд Мишки (черт возьми, уж лучше бы помог!) — Дело в том, что они разные... и мы не можем понять, о каком именно идет речь. Верно же?

Она сурово взглянула на Мишку. Тот послушно кивнул.

— Шаль, — опечаленно поникло существо, полустекая на пол. — Понимаете, у меня ешт время вшего лишь до вечера. Потом — очень важная встреча... А можно ли объехать вше ваши Шушурбаны, штобы найти нушный?

Мишка привычно пожал плечами, как бы говоря: «Ну, я за язык не тянул», и забарабанил пальцами по экрану. На планшете вспыхнуло: «Давай просто закинем его куда-нибудь, авось наткнемся на его Шушурбан».

— Вы уверены? — уточнила Алиса у существа, попутно отсылая Мишке задумчивый смайлик. (Только не сорвись, только не сорвись с крючка!)

— Я ше шкашал, тениги не имеют никакого шначения. Только время.

— Тогда не будем медлить! — Мишка хлопнул по регулятору.

И шторы задержались.

Алиса не любила транс-прыжки на дальние расстояния. Мало того что они занимали по пять — десять минут, так еще и приходилось эти пять — десять минут проводить в полной темноте: дополнительное освещение в салоне расходовало и без того скудные запасы энергобаллонов. После таких прыжков ее всегда знобило, мутило, и она ненавидела всех и вся. Особенно — Мишку, который, наоборот, выглядел почему-то только свежее и бодрее.

Но в этот раз инопланетянин обставил Мишку по части бодрости.

Пассажира весело булькал, помахивал щупальцами, выпускал и прятал какие-то псевдоподии, даже, кажется, менял цвет и по-разному пахнул — в общем, был в полном восторге.

— Это великолепно, — наконец пискнул он. — Феерично, шамечательно, ошаровательно! Оххх! Я готов это телать хоть каштую минуту!



## ФАНТАСТИКА

— Угу, — мрачно буркнула Алиса, напряженно думая о том, что, если она прямо сейчас потянется за санпакемом, это станет нарушением профессиональной этики.

— Приехали. Париж! — сообщил Мишка, с усмешкой глядя на позеленевшего штурмана.

— Но я ше прошел Шушурбан... — удивился инопланетянин.

— Да-да, этот город называется еще и Шушурбан. — Алиса высунулась из приоткрытой двери и жадно глотала свежий воздух. — А чтобы отличать один Шушурбан от другого, этот мы назвали Парижем.

— Хм... — Существо толкнуло дверь и вытекло из машины.

— Есть шанс бросить его тут и уехать, — хмыкнул Мишка.

— Ну да, конечно! — возразила Алиса. — А деньги? Мы же только из-за них и подписались на эту авантюру. Вдруг это похоже на его Шушурбан. Как там? «Единый ансамбль и величайшее зрелище»?

На фоне ночного неба искрилась и переливалась всеми цветами радуги иллюминированная Эйфелева башня. В воздухе, смешиваясь с тонкими нотками осенней листвы, плыл густой аромат жареных каштанов. Где-то вдалеке играл аккордеон и танцевали вальс...

— Увидеть Париж и умереть, — с чувством блаженства произнесла Алиса, оглядываясь на Мишку. — Мне кажется, он как раз подходит на роль...

— Это не Шушурбан, — сухо сказал турист, втекая в такси. — Крашиво, не шпорю, но не Шушурбан. Не тот Шушурбан, что я ишу.

Мишка вздохнул и послушно щелкнул регулятором.

Шушурбаном не оказались ни Москва, ни Лондон, ни поднятый из воды три года назад Китеж-град.

Существо не признало Шушурбан в Пекине, Токио и Рио-де-Жанейро.

Отвернулось от Берлина, Цюриха, Венеции.

С сожалением отказалось от Рима, Вены, Нью-Йорка.

Десятки городов — столицы, мегаполисы, провинциальные городки — облетели они, мечась по планете, перебирая географические названия в тщетной попытке найти Шушурбан. Его не было нигде — ни в памяти бортового компьютера, ни в преданиях местных жителей.

Шушурбан как в воду канул.

Или же и не выходил из нее.

В Санкт-Петербурге, который тоже был отвергнут пассажиром, Алиса заскочила в картографическую лавку.

— Послушайте, — тихонько спросила она, оглядываясь (кто знает, насколько тонок слух у пассажира), — а что вы знаете о городе Шушурбане?

Хозяин лавки, декорированной по последней моде «а-ля XIX век», задумчиво потер шею. По тому, как под его пальцами забегали тугие комочки, Алиса поняла, что этот весьма похожий на человека господин — вампир.

Вампирами прозвали гостей из созвездия Рыб после памятного инцидента, когда один из их первых послов, только-только прибывших на Землю с приветственной миссией, самозабвенно впился в шею земного коллеги. Был ужасный конфуз! Потом-то выяснилось, что это вышло по недоразумению: у «вампилов» там, где у человека кровеносная система, — система пищеварительная, нечто вроде огромного, вытянутого в трубочку и заплетенного в причудливый лабиринт желудка. А акт «отведывания», так сказать, непосредственно из горла того, чем собеседник недавно питался, является жестом высшего уважения и доверия. Конфликт замяли достаточно быстро, а к гостям так и приклеилось прозвище «вампиры».

— Шушурбан... — задумчиво протянул хозяин лавки, придвигая к Алисе тарелочку с какой-то жижей; ритуалы, связанные с питанием, были очень важны для вампиров, поэтому Алиса покорно окунула палец в тарелку и быстро облизнула, стараясь не думать о микробах, конфликте ингредиентов и прочем.

— Шушурбан, — повторил вампир, присев за прилавок и, судя по звуку, копаясь в каком-то ящике, набитом бумагами. — Я вас верно понял?

— Возможно, оно произносится иначе, — уточнила Алиса. — Чело... существо, которое им интересуется, не выговаривает некоторые звуки, заменяя их на «шшш». Поэтому может быть и Сусурбан, и Зусурбан, и Шужурбан... попробуйте разные вариации.

— Шесть факториал, — уныло раздалось из-под прилавка. — Факториал числа шесть, не считая вариаций местных диалектов.

Алиса согласно вздохнула.

— Тем более это город, а не планета или астероид. — Вампир, кажется, решил окончательно добить ее. — Вы же понимаете, что это может быть и его неофициальным названием.

Алиса снова вздохнула, порылась в карманах, поднесла банковскую карточку к терминалу. Тот звонко пикнул. Поняв намек, хозяин мгновенно выпрямился за прилавком и улыбнулся во все свои сорок четыре острейших зуба.

— У меня немного денег, — грустно пояснила Алиса. — Но все будут ваши.

Вампир глянул на окошко терминала и разочарованно подпер щеку кулаком.

— И эта информация вам так нужна, что вы готовы отдать последнее? Оторвать от сердца ради сомнительных сведений? — Вампиры любили изысканно-вычурные фразы.

— Угу, — поморщившись, кивнула Алиса.

— Ну что ж, — с деланой печалью вздохнул вампир. — Если вы уверены, что ваша игра стоит свеч, я, пожалуй, помогу вам. Его нет.

— Что?

— Его нет. Города Шушурбан нет нигде. Во всяком случае, в известной и картографированной Вселенной.

— Но может быть... другое название, диалект... вы же сами говорили!

— Моя семья, — горделиво подбоченился вампир, — занимается картами всю жизнь. И на родине, Руупринте, — и здесь. Мы владеем крупнейшей сетью магазинов и третью всех картографических фабрик. Все названия, которые когда-либо наносились на карты и их аналоги, — здесь. — Он постучал согнутым пальцем себя по лбу.

Вампиры славились феноменальной памятью, которая передавалась из поколения в поколение в буквальном смысле этого слова. Эти гуманоиды уже с рождения обладали вековыми знаниями и опытом своих родителей, дедов и

прадедов. Даже браки на Руупринте заключались, исходя из целесообразности объединения клановой памяти жениха и невесты. Поэтому если вампиры чего-то не знали, то этого действительно, скорее всего, и не существовало в природе.

Алиса вставила карточку в терминал. Тот сыто заурчал.

— Спасибо.

— Ну? — шепотом спросил Мишка, косясь на пассажира. — Узнала?

Алиса молча смотрела в окно. Они уйдут в такой минус, который им не исправить и за месяц. Баллоны уже практически пусты. А денег на то, чтобы заправиться, нет. Опять идти по друзьям, просить в долг. Или же сдаваться на милость банкам...

— Ну? — Мишка с нетерпением толкнул ее в колено.

— Сколько заправки? — спросила Алиса.

— Еще на два прыжка. Точнее, на один — еще же возвращаться надо.

На один... Она прижала горячий лоб к теплоте от частых прыжков стекла. Мишка не будет просить у друзей — и так уже в долгах. В кабалу к банкам тем более не пойдет. Скорее всего, это будет их последний прыжок. Уже сегодня флаер встанет на вечную стоянку, а через пару дней уйдет с молотка. Они с Мишкой давно предвидели такой исход, но все равно же всегда кажется, что подобное произойдет когда-нибудь потом, не сейчас. И даже не завтра...

— Алис? — Мишка начал волноваться.

— Да-да, — кивнула она, стараясь казаться бодрой. — Да-да, сейчас.

Куда же отправиться сейчас? В последний раз. Что выбрать? Какой город? Страну? Материк? Полушарие, в конце концов?

Она закрыла глаза и вбила координаты наугад.

— Вот.

— Думаешь? — с подозрением спросил Мишка.

— Уверена.

Она промахнулась.

Судьба, ведущая ее руку, в этот раз коварно толкнула под локоть.

Это были горы. Не город. И не деревенька — просто горы.

Скандал. Неустойка. Позор. И даже если им с Мишкой больше в такси не работать — все равно стыдно. Стыдно, безумно стыдно. Они (а точнее, она) подвели это милое, пусть и такое безобразное существо. Оно всего лишь хотело увидеть красивый город, который по какой-то дурацкой случайности, опечатке, халатности робота-типографа попал в путеводитель по Земле. Оно проделало такой дальний путь, потратило столько сил, и все ради чего? Чтобы поболтать по планете, пересмотреть кучу не впечатливших его городов и теперь таращиться на холодные горы? Боже, как стыдно!

Хлопнула пассажирская дверь. Инопланетянин отправился смотреть, куда его привезли.

Алиса закрыла лицо руками. И Мишка, черт, Мишка! Он ведь тоже поверил ей, когда она вбивала эти координаты. Надо было ввести что-то другое! Архангельск? Женева? Недавно найденный город Зет в Мату-Гросу, в конце концов? Черт, как она подвела всех! Подвела в последний момент!

Штурманская дверь открылась. Это пассажир открыл ее. Разозленный, раздосадованный пассажир, пусть он сделает то, что должен. Пусть наорет, пригрозит судом — все, что угодно...

— Шушурбан... — восхищенно раздалось у Алисы над ухом. — Вшляните на Шушурбан... Не шитите тут!

Алиса вздрогнула и отняла руки от лица. Что?

— Шушурбан! — повторило существо, мелко пульсируя.

Алиса на негнущихся ногах вышла из такси. Горы. Просто горы. Камень и снег. Небо и эдельвейсы. И ничего больше. Больше — ничего!

— Но это же... это же не го... — начала было она и осеклась, когда почувствовала на запястье крепкую руку Мишки.

Она оглянулась. Мишка молча качал головой: «Не надо».

*— И тень чертогов наслажденья  
Плыла по глади влажных сфер.*

Алиса вздрогнула. По ее спине пробежал холодок.

Пришелец вдруг чисто и четко продекламировал это! Их пассажир — нелепый, бесформенный, шамкающий и шепелявивший — вдруг неуловимо изменился. Он приобрел... нет, не формы, странной текучей массой он так и остался, но эта масса больше не была нелепа, забавна и трогательна. Она была... Монументальна. Величественна. Царственна.

Закатное солнце окрасило вершины гор в нежно-розовый цвет — и так же нежно розовело существо. Где-то там внизу, в долине, журчал ручей — и это журчание рождало рябь в чертах их пассажира. Он жил и дышал — да, да, кажется, что дышал! — в ритм с этими горами.

*— И стройный гул вставал от пенья,  
И странно-слитен был размер  
В напеве влаги и пещер.  
Какое странное виденье —  
Дворец любви и наслажденья  
Меж вечных льдов и влажных сфер\*...*

Мощный глубокий голос разносился над погруженным в молчание миром. И даже когда он затих, эхо в расщелинах еще долго повторяло последние строки.

— Кто вы? — в ужасе прошептала Алиса.

— Вшехо лишь туришт, — зашепелявил инопланетянин. — Обычный туришт. Шамый-шамый обычный туришт.

— Куда вас? — спросил Мишка, почему-то уже догадываясь, каков будет ответ.

— В правительство.

— Сегодня поистине великий день! — Корреспондент видеонОВОСТЕЙ захлебывался от восторга. — Судьбоносный, знаменательный, великий... ах да, «великий» я уже говорил... замечательный день! Правительство Земли и Содружество планет подписали мирный договор с самым потрясающим, самым невероятным существом, которое только возможно вообразить! Представьте себе ожившую стихию, мыслящую черную дыру, силы природы, сконцентрированные в едином теле, руководимые единым разумом...

— С ума сойти! — Мишка покачал головой, приглушая звук: слишком уж экзальтированно вопил корреспондент. — С ума сойти. В нашем такси сидело одно из самых могущественных существ Вселенной. Да он мог одним плевком растворить нас! С машиной и всей стоянкой! А мы-то думали, что сможем его обмануть... А это он нас обманул, подсунув несуществующий город и наблюдая, как мы решим его задачу!

— ...На вопрос, что же в итоге побудило его подписать мирный договор, он ответил... цитирую: «Красоты вашей планеты и терпеливость ваших таксистов. Я увидел вашу планету и поразился ей. Еще раз прошу прощения за мою маленькую шутку». Я не знаю, что это означает, но думаю, что это можно сделать девизом таксомоторной службы Земли!..

— Вот так всегда, — Мишка выключил телевизор. — Сейчас профсоюз приберет себе всю славу, а нам досталась



## ФАНТАСТИКА

только шкатулка. А говорил: «Теньги, теньги...» — передразнил Мишка. — Нет, шкатулка, конечно, красивая, но нам же не поверят, кто оставил ее в нашем салоне.

— Мишк, а Мишк... — рассеянно сказала Алиса, замороженно уставившись на приоткрытую шкатулку. — Мишк...

— Что? — Мишка глянул, и слова комом встали у него в горле.

Золотое, серебряное, платиновое... Зеленое, красное, синее... Ультрамарин и архиверт... Сотни цветов и оттенков, которых никогда прежде никто не видел на Земле, сверкали и переливались перед ними. Похожие камни Мишка видел в новостях о самых дорогих лотах шахтерских аукционов и в каталогах известных музеев, но большинство было ему совершенно незнакомо.

— Это же... это же... — Он хватал воздух ртом, а в мозгу пульсировали суммы, размер которых он даже не мог толком осознать: миллиарды, триллионы, Господи, как страшно-то! — Это все нам?

— Нам, — тихо сказала Алиса. — Он же сказал, что деньги для него не имеют значения...

— Мы же можем... мы же можем... — Мишка чуть не терял сознание от картин, что проносились перед его мысленным взором: особняки, машины, острова... Господи, да на это только тысячная часть уйдет, куда же девать остальное?

— Миш, — вдруг попросила Алиса, — давай построим Шушурбан?

«Еще несколько лет назад в ответ на вопрос “Что вы знаете о Шушурбане?” вы бы недоуменно пожали плечами. Этого города никогда не существовало на Земле, равно как и во всей известной Вселенной. И вот пять лет назад город со странным и немного смешным с точки зрения некоторых землян названием стал реальностью. Его основатели — семейная пара, которая пожелала остаться неизвестной, — попросили, чтобы в путеводителях он описывался так:

“Каждый гость Земли обязан посетить Шушурбан. Этот город по праву может именоваться царем городов — и не только Земли, но и, пожалуй, всей известной Вселенной. Вечные льды и влажные сферы в едином ансамбле создают величайшее зрелище, не увидав которого, невозможно считать себя знатоком и ценителем красоты. По зеркальной глади плывут кружевные тени, дивные песнопения зовут и манят в чудесные пещеры...”

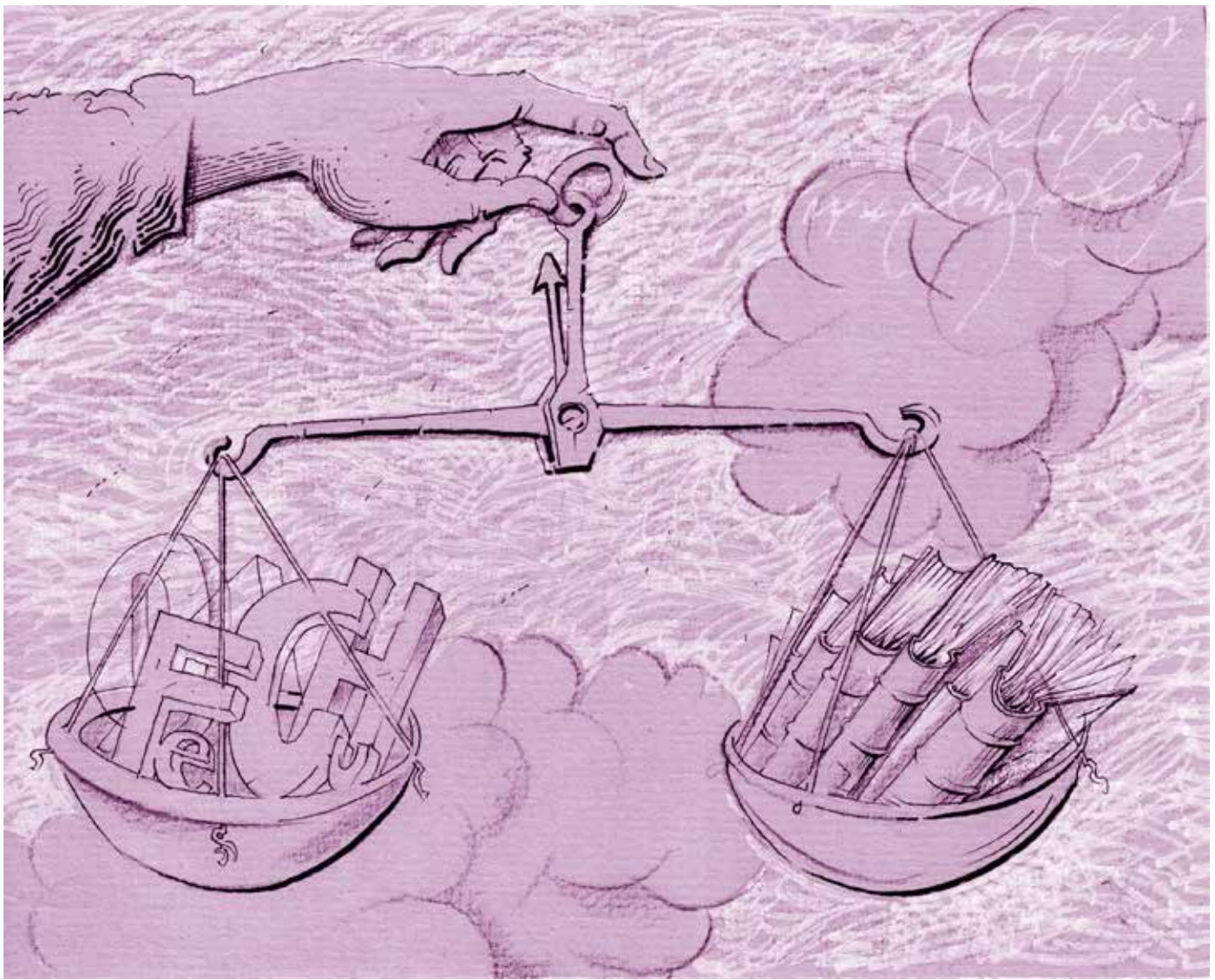
Как видите, мы выполнили их просьбу. И скажем вам, что это действительно величайший город.

Который теперь есть».

*Путеводитель по Северо-западному сектору, том 35, «Земля».*

\*С.Т. Кольридж. «Кубла Хан» (перевод К.Бальмонта).





Художник П. Перевезенцев

# Периодическая система братьев Стругацких

— Р-рубидий! Резер-рв! Огр-ромен! — сказал попугай.  
— Резервы рубидия огромны, — перевел Эдик. — Интересно, где?

Аркадий Стругацкий, Борис Стругацкий.  
Понедельник начинается в субботу

Нельзя сказать, что химия играет большую роль в произведениях Аркадия и Бориса Стругацких, но и совсем обойтись без обращения к этой науке писатели не могли. В первой их большой повести, «Страна багровых туч», герои летят на Венеру, чтобы провести геологическое обследование месторождения радиоактивных руд Урановая Голконда. Повесть благополучно вышла в 1960 году, в следующем была переиздана. Но чуть позже из цензурных соображений стали запрещать упоминания о любых радиоактивных материалах. Как вспоминал об этом Борис Стругацкий: «Шла кампания по охране ядерных секретов, но жертвой этой кампании пали в первую очередь писатели-фантасты: пуганные редакторы принялись вычеркивать из текстов ПЛАНЕТУ УРАН!»

В залежах Урановой Голконды обнаружилось множество этих секретных элементов, помимо самого урана: радий,

торий, плутоний, кюрий, калифорний, актиноиды. А в «Гадких лебедях» Виктор Банев поет Голему песню «Урановые люди» (наверное, про Быкова с Юрковским).

После тщательного изучения всего корпуса текстов Стругацких обнаружилось, что в их произведениях упоминается 49 элементов Периодической системы Менделеева — почти половина таблицы!

Рекордсменом по числу упоминаний стало обыкновенное железо, которое встречается 449 раз. Этот элемент присутствует почти во всех книгах Стругацких, чаще — в виде определения, и уж тогда железным может оказаться что угодно — и саранча Аваддона, и Стена в мире описываемого будущего, и девчонка, и дракон, и труп... Железными могут быть такие явления, как хватка, здоровье, ржание и даже остроумие. Любопытно упоминание в «Хромой судьбе»: «Я писал тогда повесть “Железная семья” — о современных, мирных, так сказать, танкистах».

На втором месте (326 упоминаний) другой распространенный металл — золото. Это и вещество, и деньги, и множество определений: Золотая Рыбка, Золотой Век, Золотой Грот, Золотое Руно, Золотой Шар, наконец! Японский атомокар

«Золотой Дракон», корчма «Золотая Подкова», плитка «Золотого якоря» (шоколад, наверное?), ириски «Золотой ключик», золотистая «Ява», еженедельник «Золотые Дни». Персонажи: Золотистик-Пушистик, Полина Златопольских и Борька Золотоношин, златоперстый Феб и Иоанн Златоуст...

За золотом вполне предсказуемо идет серебро (175 упоминаний). Этот благородный металл также представлен в самых различных видах. И как собственно металл, и как драгоценности, и как деньги. Естественно, в виде пуль («Понедельник начинается в субботу» и «Отель “У погибшего альпиниста”») — супротив упырей и инопланетян. Часто — в качестве цветовой или даже звуковой характеристики. Серебрится паутина, в которую вляпался Кирилл Панов во время похода за полной пустышкой. Серебристые халаты с капюшонами у сотрудников, занятых Великим Опытом по считыванию информации из мозга академика Окады. Серебристая трубка ляпника в «Хищных вещах века». Серебряный диск Каллисто в «Пути на Амальтею». Серебряные буквы на вывеске Изнакурнож и серебристо-зеленый акулий хвост русалки на дубу. Серебряная надпечатка на синей треугольной марке во «Втором нашествии марсиан». Медаль «Серебряный Трилистник Второй Степени», врученная Виктору Баневу в «Гадких лебедях». В одних серебристых трусах остался Максим Каммерер на Саракше после взрыва ракеты. Серебристые павианы в Граде Обреченном. Наконец, серебристый смех госпожи Мозес и: «Здравствуйте, дядя Атос», — серебряно прозвенела Тзана, делая книксен...

Почетное четвертое место в книгах Стругацких занимает кислород (97 упоминаний). Этот животворящий элемент часто упоминается и в космических произведениях, и в реалистических, таких, как «Хромая судьба» и «Поиск предназначения», ибо без кислорода человеку деваться некуда. Как заметил Искусник Крэг: «Я нашел также, что непременным условием возникновения, развития и функционирования разумных существ с подобным мощным мозгом является наличие кислорода, воды, хлорофилла и красной крови». Кстати, в той же «Экспедиции в преисподнюю» кислород используется и как оружие. Любопытно упоминание кислорода в «Хищных вещах века»: «По потреблению спиртных напитков, натурального мяса и жидкого кислорода на душу населения город занимал в Европе соответственно шестое, двенадцатое и тринадцатое места». Интересно, неужели и вправду в туристических справочниках отдельно фиксируется потребление жидкого кислорода? Или он применялся в каких-то фантастических оздоровительных процедурах и потому был нужен в больших количествах?

Следом вновь в призеры выходит металл — медь (87 упоминаний). Помимо собственно медных предметов, здесь наличествует также «медь» как мелкие монеты, несколько сравнений в качестве цвета: медно-багровое зарево заката, меднокожие варвары в «Трудно быть богом», среди которых сверкает прекрасная меднокожая Яиневнигора. Из предметов заслуживают упоминания огромная медная чернильница, подвешенная к поясу человека в хитоне (в описываемом будущем), и громоздкий медный аквавитометр в музее НИИЧАВО. Сверкает медью и Большая Круглая Печать в «Сказке о Тройке». Естественно, в «Экспедиции в преисподнюю» Великий Спрут нежится в золотом бассейне, наполненном крепким раствором медного купороса. И не стоит забывать о медных трубах, которые приходится проходить главному герою «Повести о дружбе и недружбе».

И замыкает ТОП-6 самый распространенный во Вселенной элемент — водород (46 упоминаний). Конечно же нельзя было обойтись без упоминания водорода при описании ракетного топлива в «Стране багровых туч», падения «Тахмасиба» в атмосферу Юпитера в «Пути на Амальтею», продувки корабля водородом для избавления от загадочных мух в «Чрезвычайном происшествии». Семь раз в различном контексте и



разных произведениях упоминаются и водородные бомбы, которые уже забыты в «Стажерах», но никак не могли быть забыты в 60-е годы... Интересно сравнение директора Управления по делам леса с атомом водорода:

«— Подожди, откуда же ты знаешь, что он рыжеватый и так далее?

Ким покачал головой.

— Перчик, — сказал он ласково. — Душенька. Никто никогда не видел атома водорода, но все знают, что у него есть одна электронная оболочка определенных характеристик и ядро, состоящее в простейшем случае из одного протона».

Достоин представлен в книгах Стругацких элемент 16 — сера. Прежде всего ее запашок: возникновение Мерлина из ничего сопровождается запахом серы, ифриты пахнут серой... Лора, жена Нурланна из «Тучи», кричит: «В серу меня смердящую, в уголья!» И конечно же завет Сикорски, произнесенный им в «Жуке в муравейнике» и повторенный в романе «Волны гасят ветер»: «И если в нашем доме вдруг завоняло серой, мы просто не имеем права пускаться в рассуждения о молекулярных флюктуациях — мы обязаны предположить, что где-то рядом объявился черт с рогами, и принять соответствующие меры, вплоть до организации производства святой воды в промышленных масштабах».

Любопытны редкие упоминания (всего 3) редкого элемента германия. В «Понедельнике...» встречаются дубли на германиевой основе, в «Экспедиции в преисподнюю» «работники Мадридской лаборатории биосинтеза запустили в жизнь инфузорию с белком на германиевой основе». А в «Спонтанном рефлексе» мозг Урма является «необычайно сложным и тонким аппаратом из германиево-платиновой пены и феррита». Очевидно здесь сходство с позитронными мозгами роботов Айзека Азимова, которые ведь тоже «пористые платино-иридиевые шары величиной с человеческий мозг». Забавно, что в последнее время появились сообщения о конструкциях квантовых и спинтронных компьютеров на основе платины. Вульф Вульфхекель из Технологического института в Карлсруэ создал прообраз ячейки памяти таких компьютеров, заключив атом гольмия в платиновую клетку. А об истории применения германия в высоких технологиях «Химия и жизнь» писала совсем недавно (2017, 4).

Наконец, многие химические вещества встречаются в сказке С.Ярославцева «Экспедиция в преисподнюю» в необычном качестве — в виде лакомств и изысканных яств обитателей Планеты Негодяев и Двуглавого Юла. Вот ингредиенты самых вкусных блюд: серная кислота с сероводородом, хлор и хлорная известь, медный купорос, пемза под йодистым соусом, ртуть и ртутно-колчеданные коктейли. А «мозг разумного обитателя планеты Оаба, например, нуждается во фторе, соляной кислоте и магнии».

Как говорится: приятного аппетита!

**Владимир Борисов,  
Александр Лукашин**





Louis-Léopold Boilly (1824)

## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

### Развенчание Страдивари

Есть просто скрипки, а есть скрипки Страдивари или, скажем, Гварнери. Это знают даже люди, далекие от музыки. Старые итальянские скрипки особенные, в них секреты мастеров и уникальная древесина с неповторимой структурой, созданной малым европейским ледниковым периодом, а нам, детям глобального потепления, такой древесины не видать больше никогда... Но ученые на то и ученые, чтобы сомневаться в бесспорных истинах.

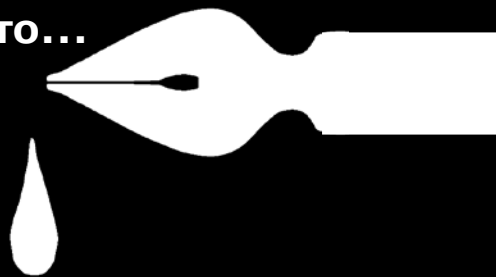
И раньше появлялись данные, что, если эксперт не в курсе, страдивари ли звучит или качественный современный инструмент, различить он их не может, а то и отдает предпочтение современному. Но эти данные оспаривались из-за неконцертных условий прослушивания в лаборатории. И вот теперь группа физиков-акустиков под руководством Клаудиа Фритц из парижского Института Пьера и Марии Кюри организовала эксперимент в двух концертных залах — в Париже и Нью-Йорке. Результат был обескураживающим: в контролируемом слепом эксперименте слушатели, в том числе профессиональные музыканты, мастера, композиторы и музыкальные критики, предпочитают новые скрипки старым итальянским, не делая исключения даже для Страдивари («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2017, doi: 10.1073/pnas.1619443114).

По мнению Клаудии Фритц, настало время отправить миф о скрипках Страдивари на покой и двигаться дальше — изучать физические свойства инструментов, а не их историю. Некоторые музыканты возражают: связь инструмента и исполнителя — глубокая, личная и не может быть исследована методами акустики, нельзя просто так взять в руки скрипку Страдивари и раскрыть весь его потенциал, и чем плохо, если исполнитель уверен, что его инструмент — лучший? Впрочем, все это можно отнести и к современным скрипкам.

«И альт его, получалось, будто бы обладал той же красотой звука, какая была у Альбани, или это Данилов чувствовал, что музыка его так же красива, как и с Альбани» (Владимир Орлов. Альтист Данилов). Возможно, демон на договоре все правильно чувствовал, а вовсе не заблуждался из-за влюбленности и вдохновения.

Е. Котина

## Пишут, что...



...Казанский федеральный университет принял решение прекратить сотрудничество с итальянским хирургом-трансплантологом Паоло Маккиарини, ранее уличенным в этических нарушениях и фальсификации данных («Science», 2017, doi: 10.1126/science.aal1201)...

...исследованы возможные последствия столкновения с Землей астероида, сопоставимого по размерам с астероидом 99 942 Апофис, который опасно приблизится к нашей планете в 2029 году; показано, что тепловое воздействие может ощущаться на расстоянии до 400 км от кратера, а при ясной погоде диаметр области воспламенения древесины — около 200 км («Астрономический вестник», 2017, 51, 1, 51—66)...

...загадочные вспышки на снимках космической обсерватории DSCOVR, расположенной в первой точке Лагранжа и снимающей землю, получили объяснение: это сверкают ледяные кристаллы в облаках («Geophysical Research Letters», 2017, doi:10.1002/2017GL073248)...

...анализ данных российской сети метеорологических станций за 1837—1909 гг. позволил выявить 22-летнюю вариацию в частоте появления полярных сияний, связанную с четностью солнечных циклов и широтой станции наблюдения («Геомagnetизм и аэрономия», 2017, 57, 2, 208—216)...

...собрать разлитую нефть помогут полимерные губки, обернутые лентами нанографена («Nature Nanotechnology», 2017, 12, 5, 406—407, doi: 10.1038/nnano.2017.63, 434—440, doi: 10.1038/nnano.2017.33)...

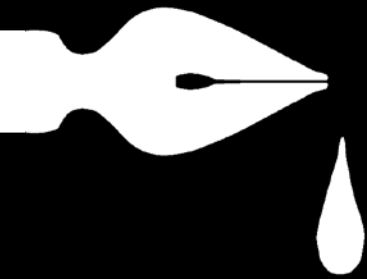
...в Ямальском районе сложилась критическая экологическая ситуация, которая может положить конец этнической форме хозяйствования ненцев («Экология», 2017, 2, 77—82)...

...товарообмен в доколумбовых Андах был куда более сложным и децентрализованным, чем представлялось ранее («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2017, 114, 20, E3917—E3926, doi: 10.1073/pnas.1610494114)...

...в мире более 50 000 съедобных растений, но 90% пищевых нужд человечества удовлетворяют всего 15 («Nature», 2017, 544, 7651, S8—S10, doi: 10.1038/544S8a)...

...жизнеспособность зрелых половых клеток крыс снижается после электромагнитного





воздействия мобильного телефона с частотой 1745 МГц и плотностью потока энергии 0,2—20 мкВт/см<sup>2</sup> независимо от продолжительности воздействия («Радиационная биология. Радиоэкология», 2017, 1, 71—76)...

...стрекозы-самки притворяются мертвыми, чтобы избавиться от приставаний самцов («Ecology», 2017, doi: 10.1002/ecy.1781)...

...ископаемой змее за выросты на позвонках, напоминающие крылья, дали родовое название *Zilantophis* в честь крылатого змея Зиланта, изображенного, в частности, на гербе Казани («Journal of Herpetology», 2017, 51, 2, 245—257)...

...шипы защищают растения не только от крупных животных, но и от гусениц, ограничивая их движения и увеличивая время, за которое они достигают съедобных участков, что, в свою очередь, повышает для гусеницы риск быть съеденной («Biology Letters», 2017, 13, 5, 20170176, doi: 10.1098/rsbl.2017.0176)...

...у лабораторных крысят с наследственной эпилепсией и сопутствующей ей депрессией, отданных на воспитание крысам с ярко выраженной материнской заботой, приступы становятся реже и болезнь протекает более спокойно («Доклады Академии наук», 2017, 473, 2, 246—249)...

...самцы и самки рюкйской мыши *Tokudaia osimensis* имеют один и тот же кариотип X0/X0; из индуцированных плюрипотентных стволовых клеток самок развиваются не только женские половые клетки, но и сперматоциты и сперматиды, что может быть полезно для сохранения этого исчезающего вида («Science Advances», 2017, 3, 5, e1602179, doi: 10.1126/sciadv.1602179)...

...результаты изучения Y-хромосомы жителей города Мологи Ярославской области свидетельствуют, что в их генофонде сохранились следы финно-угорских предков, активно осваивавших Верхнее Поволжье в VIII—X вв. («Генетика», 2017, 53, 3, 378—389)...

...предложен метод выявления и исследования ученых в твиттере; показано, что в этой социальной сети избыточно представлены социальные, компьютерные и информационные науки, недопредставлены математика, физика и науки о жизни, а также больше доля женщин по сравнению с научными журналами (PLoS ONE, 2017, 12 (4): e0175368, doi: 10.1371/journal.pone.0175368)...

Художник Гаретт



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## На Проксиме b идут дожди

Проксима Центавра — ближайшая к нам звезда. Она принадлежит к числу красных карликов — именно у таких звезд астрономы ищут планеты, на которых возможна предствавимая для землян жизнь. Именно у Проксимы Центавра подходящую планету нашли в 2016 году. За год физики провели несколько расчетов климата этой планеты. Свежайший такой расчет сделала группа исследователей из Эксетерского университета (Великобритания) при помощи местных синоптиков, которые умеют обращаться с метеорологической программой, рассчитывающей климат Земли, той самой, которую применяют при анализе глобального потепления; первый автор статьи — метеоролог Иэн Ботл (arXiv:1702.08463v1 [astro-ph.EP] 27 Feb 2017).

Точные параметры вращения планеты ProCb неизвестны, мы знаем лишь, что она гораздо ближе к своей звезде, чем Земля, но эта звезда холоднее Солнца. А вот как движется планета — по окружности ли, по эллипсу, и вращается ли вокруг своей оси — неизвестно. Поэтому было рассмотрено два принципиально разных варианта: планета, повернутая к звезде одной стороной, как Луна к Земле или Меркурий к Солнцу, или вращающаяся. В первом случае, очевидно, имеются горячая дневная сторона и холодная ночная — толь-в-толь мир романа Роджера Желязны «Джек из Тени». Расчет дал, что холод и жара относительные — в местах с самым лютым морозом температура выше точки замерзания углекислого газа, а самая горячая точка — ниже температуры кипения воды. В этом мире в центре горячего пятна всегда идут дожди, и поскольку небо скрыто облаками, там прохладнее, чем в окрестностях. Поэтому именно вокруг центрального влажного пятна располагается зона мощного испарения воды. Далее, на периферии, в зоне вечных сумерек лежит снег, за которым начинается засушливая холодная пустыня — вся вода из воздуха вымораживается раньше. Таким образом, имеется большое климатическое разнообразие. Наличие океана должно расширить теплую зону, а необходимое условие для замыкания цикла воды — это ее отток от центральной области в зону интенсивного испарения, то есть и реки должны быть.

Если же планета вращается вокруг своей оси, а ее орбита — эллипс, то на ее поверхности в районе экватора возникнет одно или два аналогичных горячих пятна, а океан опять-таки может теплые зоны расширить и создать непрерывный пояс, где вода никогда не замерзает.

В общем, теперь нужно настраивать телескопы и внимательно смотреть, нет ли в атмосфере Проксимы b каких-либо следов жизнедеятельности, прежде всего метана и кислорода. И невозможно не вспомнить сериал «Вавилон-5» и другие произведения в жанре фантастики, которые помещали инопланетную цивилизацию, первой вышедшую на контакт с землянами, именно в систему Проксимы Центавра.

А.Мотыляев

# Стелла Арутюнова: Искусство как алхимия

Стелла Арутюнова, художник-эмальер из Ярославля, много лет работает над циклом эмалей «Алхимия». Каждому алхимическому элементу она посвящает отдельное произведение, наполняя его образами и ассоциациями, с ним связанными. «Это напоминает алхимический поиск Квинтэссенции, — говорит Стелла, — общение со стеклом и эмалью я воспринимаю как игру и познание. Убедена, что мир будет стоять, пока живо ремесло».

## Стелла, почему вы обратились в своем творчестве к алхимии?

А я чуть было не стала химиком. Я родилась в Обнинске, первом российском наукограде. Начальные знания получила от мамы, химика-аналитика. Она даже маринование огурцов и помидоров объясняла мне как химический процесс. Важной частью моего детства был химический кружок на Станции юных техников, в настоящее время Центр НТТУ «Эврика»: там учили учиться, видеть связи, анализировать превращения веществ. Потом я поступила на химфак МГУ. Так сложилось, что я ушла с четвертого курса и химия не стала моей специальностью, но я люблю ее до сих пор.

А тогда, в детстве, я взахлеб читала «Химию и жизнь». Мне были интересны все материалы, даже те, которые я не понимала, буквально завораживали. А еще там публиковалась потрясающая графика, там я познакомилась с творчеством Арчимбольдо. Журнал был синтезом всего самого прекрасного: науки, искусства, литературы. Это было не просто стимулом, после чтения «Химии и жизни» все дети хотели стать химиками.

Наш руководитель химического кружка, Л.Ю.Ляшко, был необыкновенно обаятельным человеком и хорошим педагогом, без труда держал внимание группы.



Он не боялся позволять нам экспериментировать. Знаю, что впоследствии Лев Юрьевич организовал в нашем городе и Научное общество учащихся, и Малую академию наук.

Помню один из первых опытов: он больше походил на творчество. Преподаватель показал нам, что соли различных металлов окрашены по-разному, воспользовавшись небольшими метлахскими плитками, на которых мы сделали подобие разноцветных глазурей. И после обжига там проявилась такая красота!

Лев Юрьевич нам доверял, давал домой некоторые реактивы, понимая, что мы будем использовать их именно для опытов и ни для чего другого. Тогда у каждого уважающего себя мальчика или девочки был набор «Юный химик», мы все делали классический эксперимент «фараонова змея» с калиевым хромпиком. Мне жаль нынешних детей, которых все считают маленькими и ничего им не доверяют.

Как-то раз мы попросили научить нас варить мыло. Наш учитель принес на занятие свиное сало и после добавления в варевое едкого натра в таблетках сказал: «Вот вам соли жирных кислот, что еще надо?» Вонь была такая, что на нас приходили жаловаться из кружка танцев с нижнего этажа. Но мы узнали, что все, окружающее нас, связано с химическими процессами, что результаты челове-



РАДОСТИ ЖИЗНИ

ского труда нужно ценить. Помню, как потом мы, изумляя родителей, бережно относились к мылу.

В Обнинске была хорошо поставлена система УПК (учебно-производственный комбинат — организация, которая обеспечивает учащимся начальную трудовую подготовку. — Примеч. ред.). Мы не фартуки шили, как большинство моих сверстников. Один полный рабочий день в неделю мы проводили в Научно-исследовательском физико-химическом институте имени Л.Я.Карпова. Мы делали свои маленькие научные исследования и на вступительные экзамены в вузы приходили с ними. Работы были несложные, полезные для десятиклассников: нас учили обращаться с основными лабораторными приборами — муфелем, хроматографом, мы осваивали возгонку, наглядно оформляли результаты экспериментов, составляли таблицы. Я, например, на химфак пришла с научной работой — пусть и детской, — посвященной ионообменным смолам. Все, кто учился в нашем классе, поступили в химические вузы.

## А как вы пришли к искусству?

Одновременно с химической школой я посещала художественную, будучи студенткой, участвовала в неформальных выставках, тогда, в конце восьмидесятых, это был такой юношеский способ самовыражения. Затем стажировалась в филиале Всероссийского художественного научно-реставрационного центра имени И.Э.Грабаря, в Вологодской реставрационной мастерской — училась реставрировать и писать иконы. Иконописание также не чуждо химии, ведь традиционная иконопись использует минералы и требует базовых знаний о взаимодействии веществ.

## Почему вы обратились к искусству эмали, ведь эта техника — одна из самых сложных и капризных?

Однажды я побывала на симпозиуме по эмали, и эта техника меня увлекла. На этом симпозиуме я услышала очень ободряющий отзыв об одной из своих первых небольших вещей от академика Владимира Сергеевича Муратова. Всю жизнь Муратов занимался графикой и стеклом. Будучи уже сложившимся художником и немолодым человеком, он увлекся эмалью и создал множество блестящих работ. Его теплые







*Фосфор — одно из самых необыкновенных веществ, элемент, имеющий различные состояния. На эмали «Фосфор» изображены обрывки манускриптов из алхимических книг, руки алхимика, алая плешка с фосфором и превращения элемента: красный фосфор, белый фосфор...*

слова меня окрылили, за что я ему благодарна до сих пор. Светлая ему память.

#### **И все-таки: как возникла тема алхимии?**

С тех самых пор, как я стала работать в Ярославской «Арт-студии 204». Это мастерская, где жив дух алхимии — дух постоянного поиска, эксперимента. Ею руководит Михаил Петрович Бекетов, наш главный «алхимик», который не перестает нас удивлять. Приведу лишь несколько примеров.

Для покрытия оборотной стороны эмалевой плакетки необходима тугоплавкая эмаль — иначе медную пластину может «повести» при воздействии высоких температур. Однажды Михаил Петрович поразил нас гениальной находкой: он взял разбитый кинескоп и измельчил стекло в ступке. При обжиге это стекло превращалось в отличную контрэмаль! Он вел интересные эксперименты с флюсами, толченым стеклом и солями металлов, получая решения необыкновенные и с технологической, и с художественной стороны. Конечно, отчасти такой подход связан с тем, что он художник прежнего поколения, которое испытывало недостаток в материалах и красках. Но еще в большей степени он связан с духом эксперимента, который присущ и нам, его коллегам.

Вообще, работа с эмалью подразумевает внимание к материалу. Материал нельзя победить, с ним можно только сотрудничать и брать его в соавторы. Это в большой степени отличает прикладника от живописца: если ты не подружись с материалом, он будет работать против тебя.

#### **Собираетесь ли вы изобразить в эмалях всю таблицу Менделеева или только ее часть?**

Такой цели нет и не было. Меня интересует именно путь алхимика. Вещества,



*Такой же сумеречный и тревожный дух — в работе «Ртуть». «Ее оранжево-серый колорит подсказали мне воспоминания о путешествии по Горному Алтаю, — рассказывает автор. — Местные жители показали мне озеро в горах, окруженное погибшими лиственницами с хвоей необыкновенного рыжего цвета. Безжизненная и торжественная красота была присуща этому месту. Скорее всего это было не воздействие ртути (хотя ее месторождения и встречаются в тех местах), а другая природная аномалия. Но у меня осталась ассоциация: серая стальная гладь озера и оранжевые контуры деревьев. Текучесть ртути я постаралась передать по средством эмали».*



*Киноварь — это сульфид ртути, то есть соединение, а не элемент. Ткань в руках дамы, тень над городом, буква в книге — все эти элементы окрашены в цвет киновари. По духу работа очень тревожная, ведь киноварь — не только радостная краска для украшения манускриптов, но и ядовитое вещество*

привлекавшие внимание алхимиков, необязательно совпадали с простыми веществами, металлами и химическими элементами. Например, существовали алхимические знаки для квасцов, воска, нашатыря, молока и имбиря.

#### **Пригождаются ли вам знания, полученные на химическом факультете МГУ?**

Еще когда я была иконописцем — а это были девяностые годы, материалов не хватало, — мы сами выращивали яр-медянку, сами делали свинцовые белила в парах уксусной кислоты. Что же касается работы художника-эмальера, это постоянный эксперимент с непредсказуемым результатом. Братство эмальеров мне дорого тем же духом, который был у нас в химической лаборатории, когда каждый делился своими наблюдениями и находками... И в плавлении стекла, и в работе с эмалью необходимо чутье, понимание того, как будет расширяться металл при обжиге, как поведет себя стекловидная масса. Эти чисто технологические тонкости проявляются только в результате эксперимента.

В свое время я использовала свои знания, например, при патинировании металлов: олова, бронзы. Мастера прошлого не применяли жидкости из профессиональных магазинов. У них были растворы медного купороса, или они



*«Сера» — чисто декоративная работа, построенная на ассоциациях с острыми кристаллами аурипигмента*

готовили серную печень. И мы сейчас точно так же варим в тигле серную печень и покрываем бронзу и серебро. Наше новое увлечение — японские патины. Это древняя техника: покрытие бронзы и меди составами, придающими красивые оттенки.

#### **Сколько еще работ из цикла «Алхимия» вам предстоит сделать?**

Точно не знаю. В любом случае композиция «Золото» будет завершающей. Ибо сущность работы алхимика — не столько превращение и метаморфоза материалов, сколько изменение себя.

Беседовала  
**Анна Баскакова**



**23–26.10.2017**

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр»



20-я международная  
выставка химической  
промышленности  
и науки

# ХИМИЯ



**Инновации  
и современные  
материалы**

Организатор: АО «Экспоцентр»

При поддержке:

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

Под патронатом  
Торгово-промышленной палаты РФ



Реклама 12+



**Хим-Лаб-Аналит**



**Химмаш. Насосы**



**Индустрия пластмасс**



**Зеленая химия**



**Салон защиты  
от коррозии «Коррус»**

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

