



Ж

12

2015

НЗМЖ И РИМЖ







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,  
Н.Л.Резник,  
О.В.Рындина

Подписано в печать 18.11.2015

**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 —  
работа Яна Стена «Танец вокруг яйца».  
Ученые тоже любят веселые игры с ку-  
риными эмбрионами. О том, что скоро  
вылупится из яйца, читайте в статье  
«Динокуратина».

*Если формула длиннее  
пяти сантиметров,  
то она неверна.*

*Народная мудрость*

# Содержание

## Технологии

РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТ БАКТЕРИЙ: ИЗ СИБИРИ С ЛЮБОВЬЮ.

Е.И.Шишацкая, А.Н.Хоружая ..... 2

## Научный комментатор

ФУЛЛЕРЕНЫ В КОСМОСЕ. П.Елизарьев ..... 6

## История современности

ЧЕРНЫЕ ЛЕБЕДИ РОССИЙСКИХ ХИМИКОВ. Г.Б.Шульпин ..... 8

## Элемент №...

СЕРА: ФАКТЫ И ФАКТИКИ. О.Ю.Петрова, М.П.Лябин ..... 14

## Откуда твое имя?

ЕЩЕ О ФЕНОЛАХ И ХИНОНАХ. И.А.Леенсон ..... 18

## Здоровье

БОРЬБА СО СТРЕССОМ. Д.А.Жуков ..... 20

## Гипотезы

СЛЕПАЯ ВОЛЯ. А.Ю.Аккизов ..... 24

## Проблемы и методы науки

ОБЩЕНИЕ МИКРОБОВ. Е.О.Пучков ..... 28

## Нанофантастика

КИНО ПО КРУГУ. Алексей Дуров ..... 33

## Проблемы и методы любви

ТРУДНЫЙ ПУТЬ МОНОГАМИИ. Н.Л.Резник ..... 36

## Дневник наблюдений

О РОЛИ ЛИЧНОСТИ В СТАДЕ. Помпоний Квадрат ..... 40

## Ученые досуги

О ТЕЧЕНИИ КОТОВ. Н.Маркина, А.Андрианов ..... 42

## Математюры

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ: ОБЪЕДИНЯЙ И ВЛАСТВУЙ. С.Рубина ..... 44

## Научный комментатор

ДИНОКУРАТИНА. Е.Котина ..... 46

## История современности

С.В.МЕЙЕН: У ИСТОКОВ НЕКЛАССИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ. С.В.Багоцкий ..... 50

## Что мы едим

ТИРАМИСУ. Н.Ручкина ..... 54

## Фантастика

ЗА НЕДЕЛЮ ДО НОВОГО ГОДА. Жаклин Де Гё ..... 56

## Неизвестный Лем

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ..... 64

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	27	ИНФОРМАЦИЯ	61
ВОПРОСЫ — ОТВЕТЫ	34	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ	39	ПИШУТ, ЧТО...	62
КНИГИ	49	ПЕРЕПИСКА	64

# Регенерация от бактерий: из Сибири с любовью

Доктор биологических наук

**Е.И. Шишацкая,**

**А.Н. Хоружая**

В начале сентября во Владивостоке на базе Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета прошла большая международная конференция «Future of biomedicine», где ведущие специалисты мира в области генетики, биополимеров, молекулярной медицины и других смежных областей делали доклады обо всех новинках в этом научном поле. О новом классе биоразлагаемых биополимеров рассказала красноярский биофизик Екатерина Шишацкая, заведующая кафедрой медицинской биологии Института фундаментальной биологии и биотехнологии Сибирского федерального университета. Кстати, в 2009 году Екатерина стала лауреатом премии президента России в области науки и инноваций для молодых ученых, а ее исследование данного класса биоразрушаемых полимеров обеспечило приоритет и мировую известность научной школы России. Статья для «Химии и жизни» о тех задачах, которые решают в лабораториях новых биоматериалов Сибирского федерального университета и хемоавтотрофного биосинтеза Института биофизики Сибирского отделения РАН, где работает Екатерина Шишацкая, подготовлена при участии научного журналиста Анны Хоружей.

## Зачем мы занимаемся регенерацией

Голубая мечта многих исследователей — создать искусственные ткани и органы без каких-либо ограничений по размерам или функциональности. Одно из ключевых понятий в этой области — направленная регенерация тканей, и об этом мы поговорим подробнее.

Любая ткань и орган состоят из соединительнотканых опорных структур (стромы, или внеклеточного матрикса) и специализированных клеток. В норме клетки сами поддерживают свою ткань. Например, клетки кости — остеобласты синтезируют кальций, входящий в состав внеклеточного матрикса костной ткани, обеспечивая необходимую прочность. При переломах кости восстанавливаются за счет резервов собственных клеток, и никаких технологий, кроме обеспечения неподвижности отломков, не требуется. Другие ткани обладают такими же свойствами, в большей или меньшей степени. Здесь, разумеется, есть нюансы, но в принципе на здоровом человеке все заживает, «как на собаке». Вопрос лишь в том, какой ценой.

Часто при заживлении происходит замена ткани на менее специализированную, что ведет к утрате функции. Раньше, например, если больной зуб начинал крошиться, в итоге у человека становилось на один зуб меньше, и его это не волновало — по большому счету он был здоров. До появления доступного протезирования беззубых людей было множество. Лунка

от зуба заполняется мягкой соединительной тканью — но не костью, и человек жует оставшимися зубами. Если же отсутствует много зубов, да еще и подряд, то полноценное жевание невозможно и со временем атрофируется так называемый альвеолярный отросток челюсти (в котором раньше располагались корни зубов), так как мягкая соединительная ткань форму не держит и нагрузкам, в отличие от кости, не сопротивляется. Всем знаком этот печальный облик: деформирован рот, да и все лицо, внешность несет отпечаток дряхлости. Но причина данного явления — не возраст, а только утрата зубов и атрофия альвеолярных отростков. Характерные внешние признаки могут проявиться даже у достаточно молодых людей, если они потеряли зубы и не поставили функционально полноценных протезов. В современном мире мало кого устраивает такой имидж.



**SUPPORT BACTERIA!**  
*it's the only culture some people have*

«Поддержите микроба! Единственная культура, имеющаяся у некоторых людей, — бактериальная». К тому же бактериальные культуры производят вещества, жизненно важные для нас

И вот тут выступают на передний план технологии направленной регенерации тканей. Продолжая стоматологическую тему — конечно, хотелось бы, чтобы современные технологии заменили нам утраченные зубы новыми, с крепкими корнями. Однако стоматологи пока ограничиваются обеспечением роста кости в лунках от зубов, чтобы потом туда установить металлические имплантаты, а затем на них — красивые керамические коронки, внешне неотличимые от натуральных зубов. Как обеспечивают рост кости? Например, имплантируя специальные мембраны, препятствующие вращению мягкой ткани в лунку: кость растет значительно медленнее мягкой соединительной ткани, а мембрана дает ей дополнительное время. Кроме того, в лунку помещают разнообразные «затравочные» материалы, ускоряющие минерализацию растущей кости. Часто стоматологи используют для заполнения объемные, или, по-модному, 3D-блоки, материал для которых получают из костей крупных животных, обработанных специальным образом, так что они полностью лишаются клеток и антигенных свойств. Эти блоки становятся каркасом, который прорастает остеобластами пациента и минерализуется, что значительно ускоряет процесс протезирования.

Феномен направленной регенерации можно использовать в различных клинических ситуациях, для заполнения больших дефектов тканей и даже получения целых органов, применяя искусственный аналог внеклеточного матрикса, соответствующий специфическим признакам и потребностям, — это и есть наша цель. Множество современных исследований в этом направлении предполагают сначала девитализацию («обесклеточивание») ткани или органа животных, а затем заселение их нужными клетками, но уже в условиях *ex vivo*, то есть вне организма, в лабораторных культивационных сосудах. Мы с самого начала упорно продвигаем на роль тканевых каркасов трехмерные изделия на основе полимеров карбоновых кислот — полигидроксиалканоатов (ПГА), синтезируемых специфическими микроорганизмами в условиях несбалансированного роста. (Почему несбалансированного — об этом расскажем



Фото: А.Павский



Екатерина Шишацкая и Анна Хоружая

далее.) Наше преимущество в том, что эти полимеры абсолютно биосовместимы и полностью биоразрушаемы, причем последним свойством можно управлять — подгонять скорость биоразрушения под конкретную ткань, изменяя химический состав и структуру.

### Идеальная кость

Разумеется, всех интересует регенерация конечностей. Это страшно, когда кость руки или ноги раздроблена на множество осколков, которые невозможно соединить, и, хотя мягкие ткани относительно сохранны, показана ампутация всей конечности. Но если убрать все осколки и заменить кость на новую, искусственную, мы сохраним конечность. Что для этого нужно? Подобрать по размерам хороший искусственный 3D-каркас и дать возможность клеткам пациента его заполнить.

Мы занимаемся биосовместимыми и биодеградируемыми материалами много лет. Наша задача — создать такой материал, который будет работать везде: в кости, в мышцах, в паренхиматозных органах, коже, серозных оболочках... Почему бы нет? Мы хотим разработать идеальное сырье для внеклеточного матрикса разных тканей и при этом исходим из нескольких базовых понятий. К искусственным каркасам есть ряд важных требований: они должны быть абсолютно безвредными, то есть не оказывать на

организм никаких побочных эффектов после имплантации, биосовместимыми именно с этой тканью, выполнять функцию натурального каркаса, пока не сформируется новый, и быть биодеградируемыми — когда сформируется новая ткань, они должны полностью исчезнуть, причем продукты биодеградации должны быть безвредными.

В отношении функции есть тонкости. Например, множество команд исследуют гидрогели для замещения дефектов той же кости; но они уступают по исходным физико-механическим характеристикам девитализированной кости (проще говоря, слишком мягкие), так стоит ли тратить время?.. Большие дефекты будут замещаться слишком медленно, а небольшие зарастут и без тканевой инженерии. Также исследуют достаточно жесткие материалы для восстановления покровных тканей — кожи, например, либо эластичных хрящей; наивно полагать, что такой каркас хорошо приживется.

Наши материалы синтезируют в определенных условиях специальные микроорганизмы. Самый первый из них, поли-3-гидроксibuтират, — весьма твердый и прочный. Наличие в цепи мономеров 3-гидроксивалериата добавляет материалу эластичности, а 3-гидрокси-гексаноата — в еще более заметной

Микропористые пластины из ПГА. Пористость сделана с помощью лазера

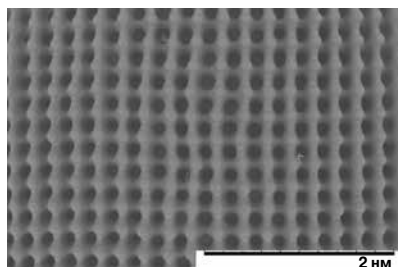
степени. Есть и другие мономеры, которые существенно изменяют физико-механические свойства. При этом мы «заставляем» материалы сохранять биосовместимость и биоразрушаемость. Множество составов и широкий спектр свойств — именно такие материалы в перспективе решат вопрос идеального внеклеточного матрикса.

Типичный недостаток продуктов, производство которых связано с микроорганизмами, — наличие в них примесей, компонентов мембраны, которые вызывают отрицательные иммунные реакции. Медиков это всегда беспокоит. У нашей группы есть запатентованная методика очистки материала до необходимого для имплантаций качества. Это в некотором роде коммерческая тайна, в других группах так не делают.

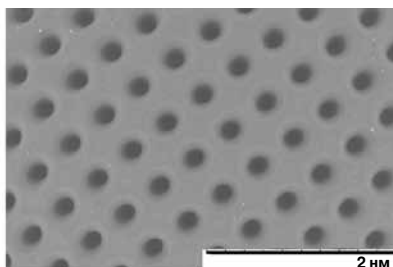
Далее нельзя не отметить, что ПГА синтезируются множеством микроорганизмов и мономеры могут быть в них в разных соотношениях, однако не все штаммы можно использовать в промышленных, массовых условиях. Это еще один наш плюс — у нас свой штамм, подходящий для промышленного производства.

Конечно, сейчас ставят качественные «неживые», но функциональные имплантаты, например металлические — в травматологии и стоматологии. Это гораздо лучше, чем ничего, пациенты довольны. Но все-таки хочется — и очень нужно — создать структуру, анатомически близкую к естественной, чтобы люди не «звенели» в аэропортах и не имели пожизненных противопоказаний к некоторым видам лечения и обследования, например, связанным с использованием магнитов (МРТ).

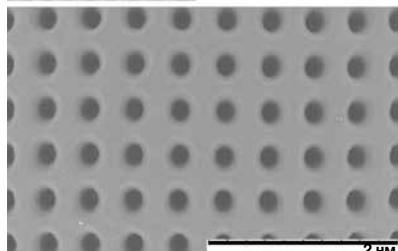
Еще один важный момент: материал, с одной стороны, должен выполнять функциональную нагрузку в теле, а с другой — должен быть пригодным для предимплантационной обработки, таким, чтобы его можно было расплавить, отлить в форме, пропустить через 3D-принтер, распилить, отфрезеровать, подогнать по месту... — иными словами, материал должен быть конструкционным. При сохранении обязательной биосовместимости и контролируемой биоразрушаемости это весьма усложняет задачу.



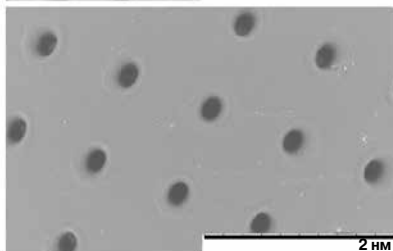
2 нм



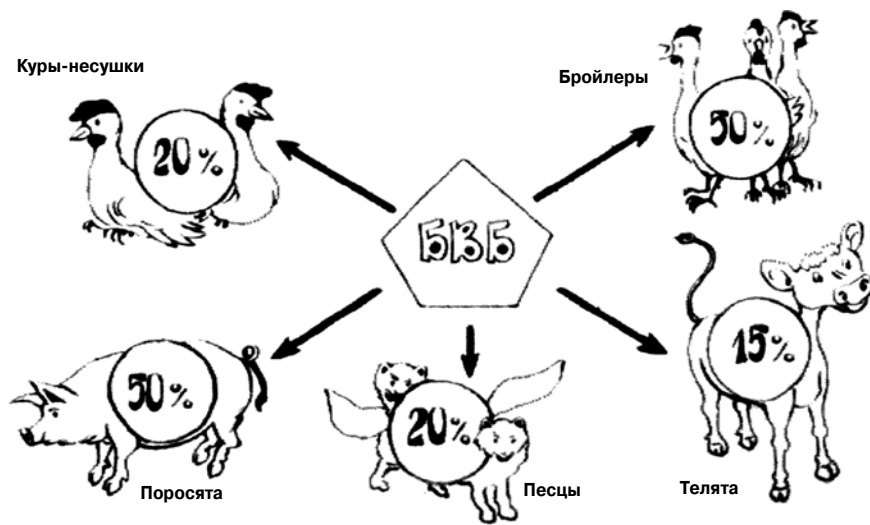
2 нм



2 нм



2 нм



Эксперименты по замене животной части кормов биомассой водородных бактерий в рационе сельскохозяйственных животных были весьма успешными

### Волокна и хрящи

Если говорить о «3D», то очень перспективно производить из полимеров изделия на основе ультратонких волокон, получаемых методом электростатического формования раствора — электроспиннинга. Можно делать маты с ориентированными и неориентированными волокнами, мы видим, что клетки ведут себя на них по-разному. Однако в целом биосовместимость достаточно хорошая, остается подогнать биоразрушаемость под конкретную задачу. Толщина матов, которые мы делаем в лаборатории, может быть от 10 до 30—50 мкм, ширина — до двух десятков сантиметров. Медики хотели бы получить «войлок» в 5—6 см толщиной, из которого можно было бы вырезать фрагмент нужного размера и формы, вставить по месту в мягкие ткани и подсадить в него клетки. Но такой установки у нас пока нет. Можно использовать пресс, тогда получаются блоки — кирпичики, которые найдут применение, например, в челюстно-лицевой хирургии. Пористость можно получать по-разному, в том числе с помощью лазеров и плазменной обработки. Один кирпичик, три или половинка — в зависимости от того, какое отверстие нужно заполнить. Или насыпной материал — маленькие ежики, миллиметрового размера, которые насыпают в лунку, и очень быстро формируется кость. Такого рода материалы мы можем начать делать хоть прямо сейчас. Но для того, о чем я мечтаю, — целая трубчатая кость, фаланга пальца, а лучше все три — возможностей еще недостаточно.

С хрящевыми структурами еще сложнее, хрящи имеют другие физико-механические характеристики. Но все же у нас есть мысли сделать элементы трахеи, бронхов. К примеру, когда развивается злокачественная опухоль центрального бронха, — это трагичная

ситуация: удаляют и опухоль, и все, что ниже, то есть человек лишается легкого и становится инвалидом навсегда. А если поставить пять сантиметров трубки, то легкое удастся сохранить. Мне постоянно говорят: «Ну хорошо, не можешь дать пять сантиметров, а четыре можешь?» Говорю, могу, но скажите, как вы его пришивать будете? Проблема в том, что трубка, которую можно сейчас сделать, достаточно твердая и ее сложно прикрепить к мягкому и эластичному живому бронху. Нужен другой подход для переработки полимерного сырья, его еще предстоит разработать.

### Шаги к практике

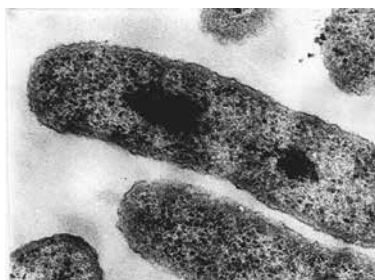
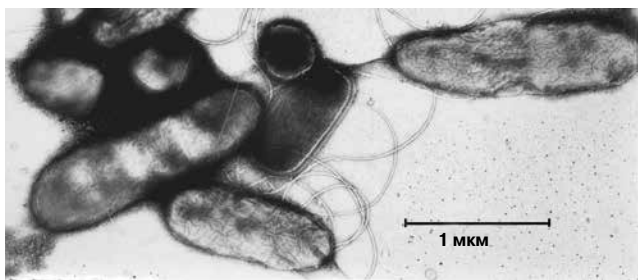
От медиков мы получаем очень много запросов, уже набралась целая папка. Есть замечательные специалисты, которые могут четко сформулировать, что им надо: размер, длину, ширину, вес... Один нейрохирург просил заготовки для искусственных тел позвонков и межпозвоночных дисков, с указанием размеров, в количестве 30 штук! Это уже маленькая промышленная партия, а у нас лаборатория. Отвечаем: мы не можем сделать так много. Тогда он спросил, можем ли мы прислать один кусок 55—60 см, а они сами выпелят, что им нужно. К сожалению, мы не делаем полимерные бруски на продажу. Пока не делаем. Как правило, в работе образцы по размерам дефектов, которые можно сделать в тканях на некрупных животных, таких, как крысы, маленькие собаки.

А бывают совершенно абсурдные запросы, видно, что люди не представляют, куда они хотят проникнуть. Какая-то повальная увлеченность биополимерами, не всегда оправданная. С одним человеком, врачом, имеющим степень, я переписывалась достаточно долго, пыталась из него вытянуть «техническое задание». Запрос: мне нужна трубка из вашего материала, буду делать нерв. О'кей, отвечаю, пришлите характеристики: диаметр, длина, гибкость, прочность на разрыв, скорость биodeградации трубки/

нервного кондукта. К примеру, хирурги всегда ругаются, когда шовные нитки тянутся, сосудистая стенка, напротив, должна растягиваться и сокращаться очень значительно. А что нерв? Вместо ответа человек присылает чужой обзор, где указана скорость роста периферического нерва человека. «Вы будете работать с людьми?» — «Нет». — «С крысами?» — «Нет». — «А с кем?» — «Я не знаю, я буду пробовать». Пробовать он хотел, кажется, на кошках. Это не регенеративная медицина, а садизм. Изготавливать материалы, а тем более изделия с никому не известными свойствами, для того чтобы кто-то попробовал, бессмысленно — это не наша вредность, это нежелание тратить время. Ясно, что дальше одной статьи такая работа не двинется.

Была проблема с медицинской частью — потеря результатов. Хирурги — они ведь все герои, они спасают человеческие жизни! И вот кому-то пришла мысль что-то сделать с нашим полимером. Пробуют на животных и часто работают чуть менее ответственно, чем хотелось бы, — забывают отчитаться, что же вышло. А нам ведь важен именно этот результат. Пусть не окончательный, но до окончательно-го мы никогда не доберемся без этих маленьких промежуточных результатов, которые, как правило, не интересуют врача, основное время работающего с людьми. Не получилось на кролике — он уходит и забывает о нас. Чтобы учиться на неудачах и улучшать материал, нужен настоящий исследовательский центр регенеративной медицины, со штатом квалифицированных медиков, ориентированный именно на получение этих промежуточных результатов на пути к окончательному. Мы очень много лет потеряли на этом: дали материал, его имплантировали, что-то получилось, но, конечно, «не космос» — и все, никакого продолжения. Но откуда взяться сносшибательному результату, если нет обратной связи, если мы не будем менять составы, молекулярную массу и т.д. Сейчас эту проблему мы от себя отодвинули — просто не сотрудничаем с теми, кого не знаем. Есть серьезные медики, которые с нами работают много лет, и мы продвигаемся вперед.

Внедрение и коммерциализация разработок — отдельная сложная тема. Пять лет назад мы ездили в Соединенные Штаты: американский исследовательский фонд Civilian Research and Development Foundation проводил конкурс по университетам, и от каждого крупного университета поехали представители-разработчики, которым рассказывали, что такое стартап, коммерциализация научного процесса, кампания, инвестор... Для меня, например, было удивительно, что на каждом этапе исследовательского процесса надо уже отпечковывать что-то, что будет



Клетки с белковой «программой синтеза»

приносит прибыль, а не ждать, когда получится сделать, скажем, в нашем случае, целый скелет человека. Следует извлекать прибыль на каждом этапе продвижения, только тогда процесс имеет шанс закончиться на заводе, производящем ваш товар. Иначе тупик.

### Бактериальный «целлюлит» и регенеративная медицина

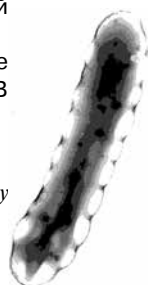
Многие родившиеся в 50—60-е годы помнят выражение «single cell protein». Люди помоложе удивляются, что это за «белок одинокой клетки», а биологи — ровесники наших родителей сразу вспоминают: не «одинокой», а одноклеточных. В то время человечество захотело покончить с дефицитом полноценного пищевого белка путем выращивания микроорганизмов — собственно микробные тела и были источником белка, который после обработки становится достаточно близким к животному.

В нашем институте этой проблемой занималась группа, где работала профессор Татьяна Григорьевна Волова. Была проведена огромная работа по оптимизированию и масштабированию процесса, анализу качественного состава этого белка, разработке технологических режимов производства в промышленных масштабах — потому что белка нужно было много. Белковое голодание, особенно в развивающихся странах, и сегодня остается частой причиной смертности.

Проблема это глобальная: не хватает всех ресурсов Земли, чтобы прокормить скот в количестве, необходимом для удовлетворения потребности всех людей планеты в мясе. Все равно кому-то придется питаться рисом или овощами. И чтобы всем хватило нормального, животного белка, придумали такой выход. Сегодня корма для животных действительно готовят с добавлением бактериального белка, так что своей вклад в решение продовольственной проблемы эта идея внесла.

Это было очень мощное движение во всем мире. В

Клетка *Ralstonia / Wautersia eutropha* В 5786 с «программой синтеза» ПГА. Гранулы по периметру клетки содержат ценный полимер



нашем институте стоял ферментационный аппарат с рабочим объемом две тонны, во взрывобезопасном исполнении — с толстыми стальными стенками (в качестве субстрата для микроорганизмов использовали взрывоопасные газовые смеси). Ферментер находился в отдельном корпусе, его обслуживал коллектив примерно из двадцати человек. Сейчас много ругают советскую науку, но все было сделано очень четко. По заказу наших специалистов на заводе построили ферментер, перевезли его по железной дороге в Красноярск. Там в течение нескольких месяцев отработали процесс биосинтеза, запустили производство и получали клеточную массу в огромных количествах. Потом ее отправляли в московские институты на исследования, для оценки полноценности белка. В колхозах несколько лет откармливали сельскохозяйственных животных: свиней, птиц, псцов, анализировали состав их мяса, качество шерсти. Потом советская наука закончилась, тематика закрылась, установку демонтировали, ферментер сдали в металлолом. Здание арендовал компьютерный клуб. А результаты по масштабированию роста водородных бактерий остались — хотя бы на бумаге, в статьях и патентах.

Теперь о том, какое отношение имеют производители кормовых белков к биополимерам. Чтобы оптимизировать процесс, Татьяна Григорьевна манипулировала условиями роста микроорганизмов. В каких-то неоптимальных условиях микробы вместо того чтобы делиться и наращивать богатую белком биомассу, прекращали рост и начинали накапливать внутри себя какие-то цепочки гранул, как потом выяснилось, с резервными энергетическими макромолекулами, — своего рода целлюлит одноклеточных. Сначала отработывали такие режимы, при которых этого не было, и успешно нарабатывали тонны белковой биомассы. А потом появились сообщения, что содержимое гранул — весьма интересная субстанция. Интересная именно тем, что она накапливалась внутри бактериальной клетки, а затем, при изменении условий, исчезала. Значит, должны существовать внутриклеточная полимеразы — фермент, синтезирующий этот полимер, и деполимераза — раз-

рушающий фермент. Кто-то задал вопрос: а только ли внутри микроба идет деполимеризация или клетки высших организмов тоже могут разрушать этот полимер? И если могут, то нельзя ли сделать из него биодеградируемый имплантируемый материал?

Оказалось, что можно оптимизировать процесс культивации так, что этих веществ в клетке будет очень много, и выделять их. Это и были полигидроксисилканоаты (ПГА). В нашем институте сумели довести их выход до 95% от сухой массы клеток. И в общем, все импланты, о которых говорилось выше, можно делать из полигидроксисилканоатов без добавления каких-либо иных веществ, пластификаторов, сшивающих агентов или, наоборот, разрушающих. Эти молекулы прямо волшебные, на мой взгляд, они ведут себя как живые существа. У них может быть огромный молекулярный вес, а потом они последовательно распадаются на мономеры, и вот уже нет ничего, кроме воды и  $\text{CO}_2$ . Чистая магия.

Напоследок замечание, не связанное с медицинской тематикой, просто как иллюстрация возможностей биоразлагаемых материалов. Для них буквально направляется еще одно применение: производство упаковок, пленок и пакетов взамен полиэтиленовых и пр. Тут, конечно, проблема с ценой, за которой в медицине мы не постоим, а вот, например, дружественное к природе, но дорогое ведро или губку купит не каждый. Однако для таких целей требования к чистоте материалов совершенно другие, и стоимость в разы меньше. Вообще поразительно, насколько велика приспособляемость биосферы. Даже те ужасные и тяжелые пластики, из которых сейчас сделано почти все, в каком-то смысле стали биодеградируемыми: природная микрофлора изменилась и научилась их разрушать. Это странно, но факт: современные бактерии могут есть пластик! (См. «Химию и жизнь», 2013, № 8, «Пластифера как часть биосферы». — *Примеч. ред.*)

Есть такая знаменитая фраза японского ученого Кэндзи Сакагучи: «Ищите все, что пожелаете, у микроорганизмов, и они не подведут вас...» Конечно, так оно и есть.



# Фуллерены в космосе

Свет — уникальный инструмент в руках ученых. С одной стороны, излучение объекта позволяет оценить его химический состав. С другой — когда свет проходит сквозь смесь газов, его характеристики изменяются. Это дает возможность определить, что за молекулы встретились на пути излучения. Для астрономов анализ излучения далеких объектов — единственная возможность сделать вывод об их составе. Однако не только о нем: межзвездная среда поглощает часть света, и по этому поглощению можно узнать, из чего она состоит.

Многие области поглощения межзвездной среды очень узкие, в спектре они выглядят как линии. Именно таковы обычно пики поглощения конкретных молекул. Эти области были названы диффузными межзвездными линиями поглощения — «диффузные» означает, что они распространены повсеместно в излучении космических объектов. Спектр межзвездного вещества необычен: линии поглощения излучения зачастую оказываются совсем не там, где ожидают астрохимики. И все же порой им удается расшифровать, какой молекуле принадлежит та или иная линия.

В конце 2015 года группе швейцарских и немецких исследователей во главе с Джоном Майером из Базельского университета («Nature», 2015, 7560, 322—323; doi: 10.1038/nature14566) удалось окончательно доказать присутствие в межзвездном пространстве положительно заряженного фуллерена  $C_{60}^+$ . Примечательно, что для этого сами ученые не измеряли спектры звезд. Они решили давнюю загадку о космических фуллеренах в условиях земной лаборатории.

## Загадка линий

Спектроскопия космического пространства знает немало успехов. В оболочках звезд идентифицировано множество различных соединений, в том числе органических. Среди них метан, ацетилен, аммиак и более сложные молекулы. Однако их спектры поглощения не соотносятся с диффузными межзвездными линиями. Поскольку напрямую

в космосе проанализировать состав межзвездного вещества невозможно, ученые, чтобы его определить, занимаются моделированием на Земле.

Для различных молекул или частиц пыли можно предсказать спектры их поглощения. Исходя из этих предсказаний, именно молекулы, а не пыль кажутся наиболее вероятной причиной диффузных линий поглощения. Следующий этап исследования — синтез молекул с предсказанным спектром в лаборатории и их экспериментальный анализ. Теперь, если спектр в лаборатории совпадет с космическим спектром, — соединение найдено. Здесь главная трудность заключается в том, что спектры поглощения веществ сильно зависят от температуры и окружающей среды. Воспроизвести в лаборатории близкую к абсолютному нулю температуру космического пространства и его высокую разреженность трудно.

С тех пор как в 1922 году диффузные линии поглощения были обнаружены, предложено несколько гипотез об их источнике. Теоретические предсказания вывели на первый план соединения углерода — длинные углеводородные цепочки, полициклические ароматические углеводороды и их ионы. Разная

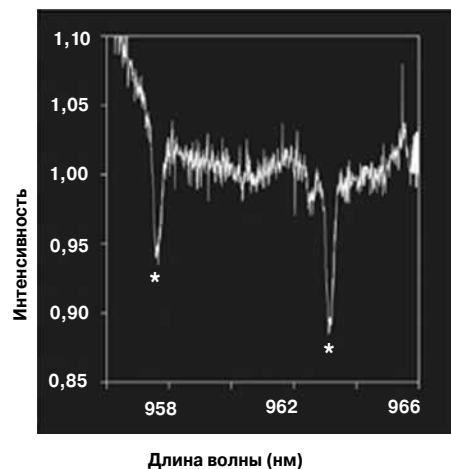
заряженность этих молекул может обеспечивать сложную картину пиков поглощения в спектре. Но что, если в космосе находятся молекулы, структура которых нам пока неизвестна?

В 1985 году была открыта молекула фуллерена  $C_{60}$  — выпуклый многогранник, в вершинах которого расположены атомы углерода, всего 60 штук. Несложно заметить, что эту молекулу легко разделить на секции из полициклических ароматических углеводородов



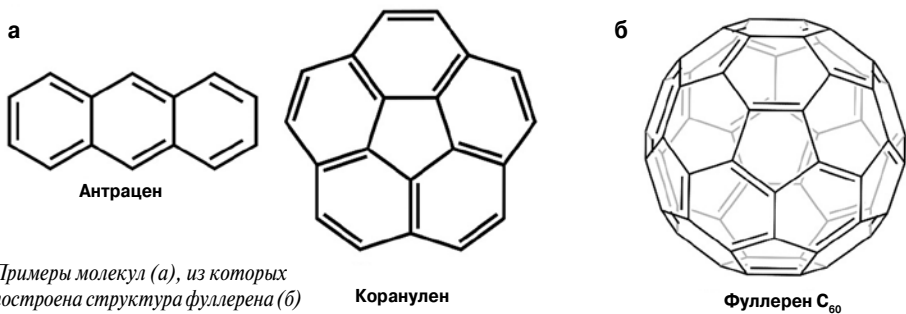
Дующие из центральной звезды ветры раздвигают границы молекулярного облака, создавая туманность Шлем Тора

Фото: ESO, B. Baillon



Звездочками отмечены линии поглощения  $C_{60}^+$

Ehrenfreund P., Feing B. Astrochemistry: Fullerene solves an interstellar puzzle. Nature, 2015, 7560



Примеры молекул (а), из которых построена структура фуллерена (б)

(которые мы только что упоминали). В многогранниках различных фуллеренов может быть и 50, и 70, и 540 атомов углерода. Фуллерен  $C_{60}$  наиболее устойчив. Эти молекулы были впервые обнаружены в саже, образующейся при сжигании графита, и сразу привлекли большое внимание. Несмотря на свою сложность, они стабильны и с высоким выходом образуются при горении углерода. Не могут ли они распространяться в космосе в результате горения звезд с большим содержанием углерода?

## Линия фуллерена

История поиска фуллеренов в космосе похожа на детектив. Основные линии поглощения фуллерена  $C_{60}$  лежат в видимой области спектра. Они не совпадают с диффузными межзвездными линиями поглощения. Кроме того, исследования в этой области всегда были осложнены тем, что измерения проводились на Земле, зачастую не на чистых фуллеренах, а на их растворах в органических растворителях и при комнатной температуре. Поэтому для сопоставления спектров фуллерена на Земле и в космосе ученые были вынуждены постоянно проводить соответствующие переводы. Впрочем, эти поправки результата не дали. Спектры фуллерена  $C_{70}$  тоже не удалось обнаружить. Достаточно ли этого, чтобы закрыть вопрос и искать другие молекулы-кандидаты? Нет!

У фуллерена  $C_{60}$  низкий потенциал ионизации, и поэтому большинство этих молекул могут находиться в положительно заряженной форме  $C_{60}^+$ . Спектры поглощения такого иона отличаются от спектров нейтральной молекулы. Со временем космические поиски сконцентрировались на фуллерене  $C_{60}^+$ . Для этого иона в экспериментах на Земле были обнаружены две четкие линии по-

глощения в инфракрасном диапазоне. Это область спектра, которую трудно изучать с Земли, так как значительные помехи вносит водяной пар земной атмосферы. Тем не менее были предприняты дополнительные попытки точных измерений спектров многих звезд в инфракрасном диапазоне. И наконец две линии поглощения фуллерена  $C_{60}^+$  были обнаружены. Две из нескольких сотен диффузных линий нашли свое вещество-носитель. Это произошло в 1994 году.

## Тщательность — залог успеха

Однако история с фуллереном в космосе не была закончена. Дело в том, что обнаруженные линии поглощения в космическом излучении очень походили на линии поглощения фуллерена, но, строго говоря, это были не они. Значения совпадали только при поправках на метод, которым фуллерен исследовали на Земле: спектры фуллерена в лаборатории снимали с молекул, находящихся в твердой фазе.

Теперь же, в 2015 году, в лаборатории Джона Майера анализировались ионы фуллерена  $C_{60}^+$  в газовой фазе, при температуре 5,8К. Полученные спектры в инфракрасной области точно совпадают с двумя диффузными межзвездными линиями и без поправок. Новый метод окончательно ответил на вопрос: фуллерены в космосе есть. По оценкам ученых, в этой форме может существовать до 0,9% космического углерода. Это не так плохо с учетом того, что об остальных межзвездных молекулах у нас пока имеются только гипотезы.

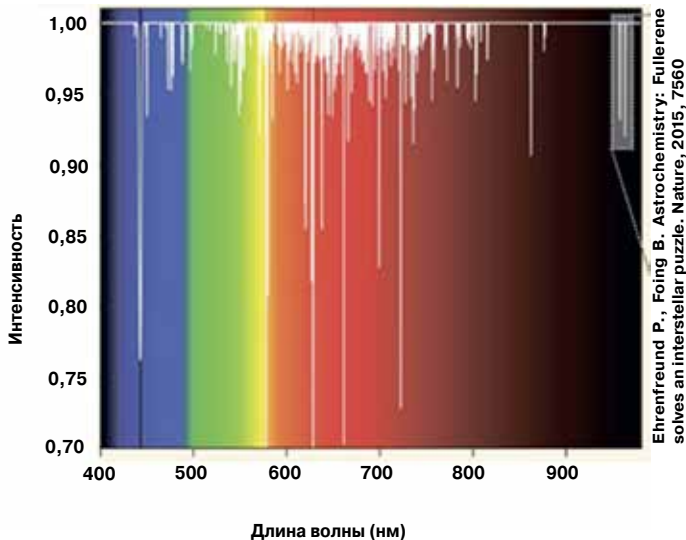
Предполагается два основных источника космических фуллеренов. Тяжелые звезды, заканчивая свое существование, сбрасывают оболочку в



окружающий космос. Таким образом, в пространство поступает большое количество углерода, который под воздействием космического излучения и температуры может превращаться в фуллерены. Могут они также образовываться и в открытом космическом пространстве, посредством постепенного наращивания углеродных цепочек с образованием полициклических ароматических углеводородов, которые собираются в сферические структуры.

Какие еще неизвестные молекулы может нести межзвездное пространство? Фуллерены были открыты сравнительно недавно, и нельзя исключать, что новые, еще не открытые формы углерода также найдутся в космосе. Интересный претендент — разные формы нанодIAMAZOV, о существовании которых в межзвездной среде поговаривают некоторые специалисты. История же с фуллеренами показывает, что космические молекулы, несмотря на разрушающее действие излучения в открытом космосе, могут иметь сложные многоатомные структуры.

**П.Елизарьев**



## Спектр поглощения межзвездной среды

Высота белых линий отражает силу поглощения. Например, если вершина линии доходит до значения 0,8, значит, в этой области 20% излучения было поглощено. На карте с высоким разрешением можно обнаружить около 400 отдельных диффузных, то есть распространенных везде, межзвездных полос поглощения. При анализе космического излучения из разных областей неба обнаруживается, что пики поглощения могут менять интенсивность независимо. Из этого следует, что их источники — различные вещества, концентрация которых меняется в разных областях космоса. Подробный анализ спектров космического излучения позволяет идентифицировать более ста независимых источников поглощения, то есть около сотни веществ. Мы не знаем, что это за вещества. По спектрам они не похожи на распространенные земные молекулы. Впрочем, две линии, отмеченные в правой части рисунка теперь удалось идентифицировать — они принадлежат  $C_{60}^+$

# Черные лебеди российских химиков

Доктор химических наук  
Г.Б.Шульпин



*Миром движет аномальное, неизвестное и маловероятное.*

Нассим Талеб

Одна американская студентка была очень удивлена, когда узнала о фразе Менделеева, сказанной ученым более века назад: «Нефть — не топливо, ибо топить можно и ассигнациями». Российские студенты и школьники воспринимают эту фразу с пониманием и юмором. Американка же спросила: «Почему не топливо? Ведь мы отапливаем свои дома нефтяными печками, да и автомобили заправляются бензином, полученным из нефти». Удивительно тут вот что: актуальность этих слов по прошествии десятилетий несколько не уменьшилась, хотя, когда великий химик сравнивал нефть с топливом и ассигнациями, еще не было ни автомобилей, ни самолетов... Давайте оставим в стороне объемы добычи нефти, взлеты и падения цен на нее. Попробуем подойти к проблеме не как экономисты, энергетика и военные стратеги, а как ученые-химики. Все, о чем мы будем говорить, касается и природного газа.

Основные составляющие нефти — это алканы, или парафины, то есть полностью насыщенные углеводороды, содержание которых колеблется от 15 до 60% по весу. В ней также много циклоалканов — от 30 до 60%. Меньше в нефти ароматических углеводородов (от 3 до 30%). Природный газ состоит в основном из метана (от 70 до 98%), и, кроме того, в нем содержатся этан, пропан и бутан. Насыщенные углеводороды при горении выделяют много энергии, именно поэтому они — отличное топливо. Вообще, алканы нефти и газа — уникальные кладовые углеродсодержащих соединений. Поэтому смысл «нефтяного закона» Менделеева совершенно прозрачен: человечеству гораздо выгоднее использовать насыщенные углеводороды нефти и газа в химической промышленности, получая из них ценные вещества, чем пускать их «на ветер» в топках электростанций и двигателей.

И вот тут мы сталкиваемся с проблемой. Дело в том, что алканы с большим трудом вступают в реакции, и я в свое время даже предложил называть их инертными газами органической химии. Метан можно сравнить с самым инертным газом — гелием. По мере утяжеления (удлинения цепи  $C_nH_{2n+2}$ ) алканы постепенно теряют свою химическую неприступность. Вспомните, что в ряду благородных газов известны устойчивые соединения ксенона, чего не скажешь о гелии. Реакции высших углеводородов, происходящие при температуре больше 500°C, хорошо известны, и некоторые из них используют в промышленности. Однако они протекают неселективно и дают много ненужных веществ. Впрочем, мы не будем здесь затрагивать эту важную область.

## Бактерии, катализ и биомиметика

Ах, как бы хотелось научиться перерабатывать алканы при низкой температуре! Давно известно, что живые организмы используют в своей жизнедеятельности углекислый газ, кислород и даже инертные молекулы (молекулярный азот, метан и другие алканы). Совершенно очевидно, что эти реакции протекают в мягких условиях, то есть при довольно низкой температуре и нормальном давлении.

Физик Николай Николаевич Семенов был организатором и куратором советских проектов по созданию атомной и водородной бомб и волею судеб — единственным российским нобелевским лауреатом по химии. Он же одним из первых предложил искать новые пути проведения химических реакций по принципу копирования биохимических процессов в живых организмах. Этот метод, названный тогда «химической бионикой», теперь известен как «биомиметический подход».

Семенов привлекли к участию в ядерном проекте не случайно, поскольку он до этого занимался химическими цепными процессами. Работы по ядерным реакциям продолжали два его великих ученика, трижды Герои Социалистического Труда Юлий Борисович Харитон и Яков Борисович Зельдович, а сам Семенов остался «химическим физиком». Еще в 1931 году он основал Институт химической физики (фото 1), и после вручения ему Нобелевской премии по химии в 1956 году занимался цепными реакциями в «своем» институте. Так, в начале 60-х годов Семенов с Александром Шиловым и сотрудниками открыли новый механизм превращений — цепные реакции с энергетическим разветвлением. Этот принцип был заложен в основу первого химического лазера. В основном ученые изучали реакции в газовой фазе. Но гениальному уму Семенова было уже тесновато, он начал заглядывать в жидкую и твердую фазы в колбе, и даже еще глубже — в клетку живого организма.

Николай Николаевич предлагает своему любимому ученику Александру Шилкову (фото 2) попытаться собезьянничать, то есть смоделировать в колбе три процесса, происходящие в природе. Первый — искусственный фотосинтез. Фотосинтез можно описать очень простым уравнением: зеленые растения и водоросли перерабатывают диоксид углерода, воду и солнечный свет в молекулярный кислород и глюкозу. Самая простая модель процесса — в колбе вода превращается в молекулярные кислород и водород. Идея тут такая: под действием «бесплатного» солнечного света мы из дешевой воды получаем водород. А водород — это ценнейшее топли-

1  
*Старое здание Института химической физики в Москве (фото вверху), основателем и директором которого долгие годы был Н.Н.Семенов, а заместителем директора — А.Е.Шилков*



2  
А.Е. Шилов и Н.Н. Семенов (1974)

во. Возможно, искусственный фотосинтез и позволит нам в то ли близком, то ли далеком будущем прекратить наконец топить ассигнациями.

Второй процесс не так значим, как фотосинтез. Давно было известно, что некоторые организмы способны в мягких условиях превращать молекулярный азот, запасы которого на земном шаре неисчерпаемы, в аммиак — сырье для химической промышленности и удобрения. В середине славных шестидесятых годов сотрудники Института элементоорганических соединений М.Е. Вольпин и В.Б. Шур сделали сенсационное сообщение о том, что им удалось под действием металлокомплексных катализаторов в совершенно безводной и бескислородной среде превратить очень инертный азот в аммиак. Почти одновременно с ними канадцы Альберт Аллен и Цезарь Зенофф ухитрились даже выделить и изучить промежуточный в таких превращениях комплекс, в котором одним из лигандов была молекула азота  $N\equiv N$ . А через несколько лет Александр Евгеньевич Шилов и его сотрудники сумели превратить азот в гидразин и аммиак в водной среде на комплексе металла — точно так, как это делают ферменты некоторых бактерий.

Вообще шестидесятые годы прошлого века — это период расцвета химии металлоорганических соединений (веществ, в которых есть связь металл-углерод) и гомогенного металлокомплексного катализа (когда процесс катализируется в мягких условиях комплексами металлов). Тогда было сделано много интересных открытий. Подводя итоги «золотого десятилетия» металлоорганической химии и гомогенного катализа, авторитетный специалист в области катализа Джек Хэлперн писал в 1968 году, что на фоне впечатляющих открытий тех



3  
Научный центр в Черногловке, где была открыта реакция Шилова



## ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

лет наиболее важной и до сих пор не решенной проблемой остается поиск методов превращений насыщенных углеводородов под действием комплексов металлов. Это была третья проблема, которой на основе биомиметического подхода занялся Шилов с сотрудниками в организованном незадолго до того Отделении Института химической физики в Черногловке (фото 3).

### Платиновая химия

Как бы отвечая на призыв Хэлперна, уже в 1969 году А.Е. Шилов, А.А. Штейнман и соавторы опубликовали маленькую статейку, в которой сообщали на первый взгляд ничем не примечательные сведения. Оказывается, если нагреть раствор метана  $CH_4$  в дейтерированной воде или дейтерированной уксусной кислоте в присутствии небольшого количества хлоридного комплекса двухвалентной платины  $PtCl_4^{2-}$ , то молекулы метана обменивают свои водородные атомы на атомы дейтерия. При этом обнаруживается весь спектр возможных продуктов:  $CH_3D$ ,  $CH_2D_2$ ,  $CHD_3$  и  $CD_4$ . Через три года те же авторы в еще одной маленькой заметке поведали миру о том, что, если добавить в раствор какое-то количество комплекса четырехвалентной платины  $PtCl_6^{2-}$ , происходит еще и окисление метана и получаются метилхлорид  $CH_3Cl$  (хлор идет из комплекса платины) и метанол  $CH_3OH$  (кислород берется из воды).

В последующие десять лет превращения метана под действием комплексов платины мало кого привлекали в химическом мире. Обе заметки были опубликованы в академическом «Журнале физической химии» на русском языке. И хотя этот журнал (как и большинство российских научных журналов) переводится на английский язык, в западном химическом сообществе весьма нерегулярно просматривали свежие номера, приходившие из-за железного занавеса. Шилов любил говорить, что именно этого он и добивался, когда отправлял рукописи в советскую редакцию («никто наше открытие не замечал, и у нас было несколько лет, чтобы спокойно поработать без конкурентов»).

Хитроумная стратегия Шилова вполне оправдалась: в течение доброго десятка лет нерусскоязычный химический мир практически не обращал внимания на работы черногловских химиков. Возможно, однако, такое невнимание было вызвано не только тем, что пионерские статьи исходили из «медвежьего» Советского Союза. Просто к тому времени западные химики еще не созрели для восприятия этой информации и этих идей, даже несмотря на знаменательное предначертание Хэлперна. В СССР же все происходило по-другому: сразу несколько научных групп с энтузиазмом взялись за изучение шиловской реакции и начали исследовать взаимодействия алканов с комплексами металлов. Помимо Черногловки этим занялись в московских институтах, Алма-Ате, Новосибирске и особенно интенсивно в Донецке (фото 4). В начале 70-х ново-



4  
Институт физической органической химии и углеродной химии в Донецке (2013)

сибирский физикохимик Елисей Сергеевич Рудаков, теперь член-корреспондент Академии наук Украины, перебрался с частью своих сотрудников в донецкий Институт физической органической химии и углеродной химии. Алкановая тематика — насколько это позволяет действительность — теплится в Донецке и по сей день.

Шестидесятые годы и два последующих десятилетия стали «золотым веком» советской (а потом и мировой) алкан-металлокомплексной химии. В 1982 и 1988 годах в Донецке прошли два Всесоюзных симпозиума «Новые пути превращения насыщенных углеводородов» (фото 5). А на Западе в это время химический народ только начал просыпаться и с удивлением читал уже ставшие архивными классические статьи советских ученых.

Шилов в то время много ездил по разным странам — участвовал в международных конференциях, читал лекции в университетах. И везде активно пропагандировал работы по активации алканов, проводившиеся в Советском Союзе. Удивительно, но то, что он говорил, с трудом доходило до слушателей. Так, в самых первых работах Шилов и Штейнман предположили, что их реакция с солями платины в чем-то аналогична реакции Васки. В начале 60-х годов американский химик эстонского происхождения Лаури Васка синтезировал новый комплекс иридия и описал реакцию присоединения к нему молекулярного водорода. В результате получается дигидридное производное иридия, который повышает свою валентность от единицы до трех («окислительное присоединение»). Такой процесс и гидридный комплекс стали моделями реакций присоединения молекулярного водорода к непредельным соединениям, например к олефинам:

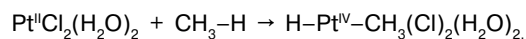
$$\text{Ir}(\text{Cl})(\text{CO})\text{P}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}-\text{Ir}^{\text{III}}-\text{H}(\text{Cl})(\text{CO})\text{P}_2$$

(здесь P — координированная по иридию молекула трифенилфосфина).



5  
Участники первого в мире Всесоюзного симпозиума «Новые пути превращения насыщенных углеводородов» в Донецке (1982).  
В центре в первом ряду А.Е. Шилов и Е.С. Рудаков

Заменим теперь одновалентный иридий на двухвалентную платину, а один из атомов в молекуле водорода — на метильную группу  $\text{CH}_3$ . В реакции получается метилгидридный комплекс четырехвалентной платины, аналог гидридного комплекса трехвалентного иридия.



Такое производное может легко отщепить  $\text{HCl}$ , и мы получаем метильный комплекс двухвалентной платины  $\text{CH}_3-\text{Pt}^{\text{II}}(\text{Cl})(\text{H}_2\text{O})_2$ . Если реакция идет в среде, содержащей катионы дейтерия, то взаимодействие  $\text{D}^+$  с комплексом приведет к выделению дейтерированного метана  $\text{CH}_3\text{D}$ . Это и есть первая реакция Шилова. Если же мы добавим производное четырехвалентной платины, то есть соль известной платинохлористоводородной кислоты  $\text{Na}_2\text{Pt}^{\text{IV}}\text{Cl}_6$ , то она окислит промежуточный комплекс  $\text{CH}_3-\text{Pt}^{\text{II}}(\text{Cl})(\text{H}_2\text{O})_2$  с привлечением молекул воды — и получится продукт окисления метана, то есть метанол  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Это уже вторая реакция Шилова.

## Что же тут такого?

Предвижу, что у читателя могло возникнуть недоумение: что же тут такого важного, чтобы посвящать этим реакциям столько внимания? Реакция (или реакции) Шилова — это первый пример истинной активации насыщенного углеводорода комплексом металла, когда происходит непосредственное образование связи металл-углерод.

Критически настроенный читатель скажет: «Была же ранее найдена реакция, в которой комплекс Васки реагировал с молекулярным водородом и образовывалась связь металл-водород». А тот, кто знаком с литературой в этой области, добавит, что в 60-е годы австралийские химики Джон Гарнетт и Раймонд Ходж показали, что хлориды платины способны катализировать дейтерообмен в углеводородах и окислять их. Да, молекулярный водород и насыщенный углеводород имеют некоторое сходство, но все-таки это соединения, принадлежащие к разным типам. Действительно, австралийцы описали превращения углеводородов под действием хлоридов платины, однако эти углеводороды были ароматические (бензол и др.). И что очень важно: у предшественников Шилова не хватило ни фантазии, ни мужества представить себе, что и алканы могут реагировать таким же образом.

Когда ровно за сто лет до этого Менделеев размещал элементы по клеточкам своей таблицы, то казалось, что многие «похожести» видны невооруженным глазом. Вспомните хотя бы ряды целочленных металлов или галогенов. И получилось, что Менделеев сделал не великое открытие, а так, всего лишь маленький шагочек. Но Менделеев совершенно авантюристично зарезервировал несколько пустых клеток для неизвестных элементов и был за это поднят на смех. Прошло некоторое время, и всем стало ясно, что был сделан не маленький шагочек, а подведена фундаментальная база под всю химическую науку.

Вернемся к тому, что западные ученые в ту пору встретили появление работ Шилова равнодушными зевками. Особенное недоверие у западных химиков (в отличие от самой феноменологии реакции) в течение целого десятилетия вызывал ее механизм, выдвинутый авторами. Встречать неодобрением все новое, что появляется в науке, — дело обычное. В конце одного из докладов Шилова на международном конгрессе поднялся всеми почитаемый нобелевский лауреат и заявил: того, что он сейчас услышал, быть не может просто потому, что такого механизма реакции не может быть. Ведь присутствующим хорошо известно, что платиновые комплексы, содержащие углеводородные заместители, — это нежные и пугливые создания, которые никак не могут плавать в протонном растворителе при температуре  $100^\circ\text{C}$ .

## Американцы очарованы

В 1979 году Шилов организовал группу в московском Институте химической физики. Нужно было, во-первых, попытаться выделить промежуточные комплексы платины и тем самым доказать, что нобелевский лауреат был излишне категоричен, и, во-вторых, начать научное сотрудничество с американцами в области катализа. Для такого сотрудничества наступал самый подходящий момент: мы тогда любовались обложкой журнала «Time», на которой Брежнев и Картер изображали «kiss of peace».

Вскоре в наш институт на Ленинских горах приехал Джон Стилле, известный по химической реакции, названной его именем. Я отвечал за оба направления и надумал совместить их в одном, то есть заняться платинаорганической химией в содружестве с американцами. Я тщательно подготовился к визиту, купив в магазине электротоваров бытовую плитку и на рынке алюминиевую кастрюльку. Поскольку термометр Бекмана у меня уже был, ничего не стоило сконструировать необходимый для работы термостат. Гость все просил показать ему оборудование лаборатории, а я, прогуливая его вокруг построенного в середине XVIII века здания первого корпуса института, пытался перевести внимание на нежные розы на клумбе перед входом в особняк и на тревожащие душу трели соловьев в старинном парке над Москвой-рекой. Экскурсия явно не произвела на Стилле неизгладимого впечатления, он улетел за океан, а я отправился в Подмоскovie помогать подшефному совхозу в прополке моркови.

Однако Стилле сдержал свое обещание относительно подбора кадров, и у нас в лаборатории появилась Джейн Зейле-Кревор, которая недавно окончила аспирантуру в американском университете и к нам приехала в качестве «постдоки». Незадолго до ее появления мне посчастливилось открыть реакцию ароматических соединений с гексахлорплатиновой кислотой, которая позволяет синтезировать устойчивые арильные комплексы. Джейн участвовала в работах по выделению промежуточных комплексов, образующихся в реакции и ароматических, и насыщенных углеводородов с хлоридами платины. Первый блин оказался не комом, однако наше непосредственное сотрудничество с заокеанскими коллегами вскоре закончилось, поскольку «трансатлантический поцелуй» сменился крепким похолоданием...

По иронии судьбы именно в то время западные химики просыпаются и начинают медленно-медленно подпадать под влияние идей шиловской химии. Используя кинетическую терминологию, нарастание числа работ по активации алифатических C–H-связей шло в 70-е годы с автоускорением, а дальше — уже по экспоненте. Малколм Грин, известный нашим химикам как автор первого учебника по металлоорганической химии переходных металлов, в Оксфордском университете присоединил компоненты связи  $(\text{CH}_3)_3\text{SiCH}_2\text{—H}$  к иону вольфрама в соединении  $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{W}$  и получил алкилгидридный комплекс, сходный с промежуточным веществом в реакции Шилова. В конце 70-х молодой ученик Грина Роберт Крабтри перебрался в Йельский университет и стал изучать работы Шилова. На Боба также оказали сильное влияние исследования и советы знаменитых Хью Фелкина, Роберта Бергмана, Уильяма Джонса, Роалда Хоффмана, которые только начинали заниматься активацией алканов. Крабтри был страшно удивлен тем, что в то время шиловский подход к активации связей C–H был неизвестен.

В 1975 году в Принстонском университете проходил американско-советский симпозиум по катализу. Совместная программа, организованная в период «трансатлантического поцелуя», была примечательна тем, что профессор Шилов прочитал три лекции за два дня. На всех докладах присутствовали молодой химик Джон Беркоу, только что назначенный профессором Калифорнийского технологического института, и его еще более молодой ученик, завершавший грант пост-



дока в Принстонском университете Джей Лэбинджер. В тот момент эти ученые усиленно обдумывали тему своих исследований на ближайшее время и слушали доклады Шилова с раскрытыми ртами. Они решили, что «химия Шилова — это как раз то, что нам надо», и последовавшие десятилетия посвятили тщательнейшим исследованиям реакций Шилова.

Уже не только в России образовались несколько групп, которые занимались реакциями хлоридных комплексов платины с углеводородами. У нас очень важный вклад в эту область внес и вносит Е.С.Рудаков с сотрудниками в Донецке. Интересные работы выполнил сначала российский, а ныне американский химик А.Н.Ведерников. Над выяснением механизма работали две российские группы: черноголовская (А.А.Штейнман, А.Ф.Шестаков в сегодняшнем Институте проблем химической физики РАН) и наша московская, в ИХФ им. Н.Н.Семенова РАН. Окислением алканов с участием производных разных металлов занимались М.Н.Варгафтик и И.И.Моисеев с сотрудниками Института общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова в Москве. А несколько лет назад появилось сенсационное сообщение о реакции Перианы — но об этом дальше.

## Не стреляйте в черных лебедей

В середине XX века Ливан был небольшой, уютной, процветающей страной. «Ливанский рай рухнул внезапно — Черный лебедь, взявшийся неведь откуда, превратил страну из рая в ад. Началась яростная гражданская война между христианами и мусульманами, к которым присоединились палестинские беженцы», — писал Нассим Талеб, американский философ и экономист ливанского происхождения. В 2007 году он издал книгу под названием «Черный лебедь». Сюрпризвед Талеб определяет Черного лебеда как событие, которое выглядит аномальным, потому что в прошлом его ничто не предвещало (по аналогии с австралийскими черными лебедями: до первой встречи с ними любой европеец смело заключил бы пари на любую сумму, что лебеди бывают только белыми). Это явление обладает огромной силой воздействия, и человеческая природа заставляет нас придумывать объяснения случившемуся уже после того, как оно произошло, делая событие, сначала воспринятое как сюрприз, объяснимым и предсказуемым. «Сочетание малой предсказуемости с силой воздействия превращает Черного лебеда в загадку, — пишет Талеб. — В некоторых областях — например, в научных исследованиях или в венчурных инвестициях — ставить на неизвестное чрезвычайно выгодно, потому что, как правило, потери при проигрыше малы, а прибыль при выигрыше огромна. Почти все важные открытия и технические изобретения не были результатом стратегического планирования — это Черные лебеди. Ученые и бизнесмены должны как можно меньше полагаться на планирование и как можно больше импровизировать».

Удручающих примеров «охоты» на Черных лебедей в науке и химии много. Конечно это не только равнодушие к шиловской химии на протяжении целого десятилетия. Например, канадский ученый Альберт Аллен в 1965 году был весьма доволен собой, получив из гидразина первый в мире комплекс рутения с азотным лигандом, и послал рукопись статьи в авторитетный журнал Американского химического общества. Из редакции пришел ответ: «Вранье не печатаем». Слава

Богу, что это не единственный химический журнал. Советский биохимик Б.П.Белоусов изучал в 1951 году окисление лимонной кислоты броматом в присутствии сульфата церия и открыл первую колебательную реакцию. Описание реакции он отправил в солидный советский журнал, и стандартный ответ не заставил себя долго ждать: «Глупую чепуху не публикуем». Ученый переделал рукопись и снова послал в редакцию уже другого авторитетного журнала, и пришел такой же ответ. А ведь все это были Черные лебеди, хоть и не сравнимые по масштабам с теорией относительности или открытием цепных ядерных процессов.

## За везенье надо бороться!

Обязательное свойство любого Черного лебедя — по прошествии какого-то времени люди начинают говорить: «А кто же сомневается, что это так и есть?» И как-то забываются высказывания нобелевских лауреатов и железно-стойкие рецензии в журналах. Как-то давно в ИХФ приехали сотрудники фирмы «Монсанто», супруги Салвадор Оливэ и Гизела Хенрици-Оливэ. Их книга «Координация и катализ» была тогда только что переведена на русский язык. Мы пригласили зайти на огонек и В.Б.Шура из соседнего Института элементоорганических соединений. Я представил его гостям: «Это профессор Шур». Гизела сразу не расслышала и попросила меня повторить несколько раз фамилию вошедшего. Через минуту она закричала «А-а, Вольпин–Шур! Фиксация азота! Система Вольпина–Шура!» — и бросилась к Владимиру Борисовичу целоваться. Первооткрывателям гомогенной активации азота повезло: их знают все специалисты в неорганической химии и катализе.

После долгих мытарств в конце концов повезло и Б.П.Белоусову. Эмоциональный ученый решил прекратить попытки опубликовать свое открытие, но два его молодых коллеги С.Э.Шноль и А.М.Жаботинский сделали все, чтобы лебедь Белоусова вылутился наконец из яйца. Трехстраничная заметка Белоусова «Периодически действующая реакция и ее механизм» увидела свет в «Сборнике рефератов по радиационной медицине» (Медгиз, 1959). Аспирант Анатолий Жаботинский, по специальности физик и математик, со всей страстью занялся этой реакцией, создал ее математическую модель и в 1964 году опубликовал в журнале «Биофизика» статью под названием «Периодический ход окисления малоновой кислоты в растворе (исследование кинетики реакции Белоусова)». Через два года в Пущине состоялся Всесоюзный симпозиум по колебательным процессам химии и биохимии (проглядывается явная аналогия с симпозиумом в Донецке). В последующие годы лебедь Белоусова–Жаботинского вырос, оперился, и теперь он известен всему химическому миру как «the BZ Reaction». Правда, в конце жизни Белоусова уволили из института, где он работал («из-за старости и частых болезней»), зато через десять лет после смерти наградили Ленинской премией (за открытие, которое стало гордостью российской науки).

Наверное, всех хороших, известных ученых можно разделить на две группы в зависимости от того, сколько слов требуется для описания вклада этого исследователя в науку. Первая группа — многочисленная, когда говорят «он много и плодотворно работал в такой-то области и внес большой вклад в исследование того-то». А исследования второй, малочисленной группы можно описать несколькими словами: Белоусов и Жаботинский — это гомогенные колебательные реакции, Вольпин и Шур — это гомогенная фиксация азота, Шилов — это активация алканов.

Всем российским ученым из второй группы, перечисленным выше, повезло: после заминок, а порой и страданий их имена прочно и навеки заняли нужные ниши в истории науки. А вот Александру Порфирьевичу Бородину, который был не только гениальным композитором, но еще и прекрасным

химиком, повезло меньше. Как насмешку читаем в некоторых зарубежных учебниках органической химии: «Реакция Хундикера, изученная в 1942 году, была открыта русским композитором Бородиным в 1861 году». Безусловно, немец Хундикер был ближе по духу западным ученым, чем творивший в далеком заснеженном городе русский химик. Чтобы продвигать на Запад свои имена, русским надо прилагать гигантские усилия.

Шилову, конечно, повезло с признанием. И, несмотря на недопонимание и даже насмешки в первые годы, «индукционный период» в десять лет, его реакция становилась все более и более популярной. Известность приходила благодаря цитированию известными учеными (Джозефом Чаттом, Малколмом Грином, Брайаном Джеймсом, Бьянкой Чубар, Роальдом Хоффманом, Робертом Крабтри) в самых читаемых журналах. Все они были друзьями Шилова и общались с ним не только через публикации в журналах, но и лично. В одной интернетовской дискуссии ученые подняли вопрос о том, что наши авторы должны проталкивать свои научные работы в самые престижные международные журналы. И вдруг в конце дискуссии ее участники заявили, что нам следует трепетно соблюдать тайны своих научных открытий, а для этого лучше всего посылать статьи в редко кем читаемые отечественные журналы. Только Гегель, наверное, смог бы разобраться в такой борьбе противоположностей.

## Ложка дегтя и «невероятное»

Вернемся к химии Шилова (реакции Шилова, или системе Шилова). У нее есть одна интересная особенность: в разветвленных насыщенных углеводородах типа изооктана легче всего окисляются первичные углерод-водородные связи, то есть связи метильных групп. А вот атомы водорода при третичных (то есть соединенных с тремя другими углеродами) углеродах наименее активны. Совершенно обратная селективность у других реакций, например при окислении алканов воздухом при высокой температуре. В тех превращениях легче всех замещаются именно третичные атомы водорода. Кстати, такие процессы происходят в двигателях внутреннего сгорания, поэтому изооктан служит эталоном при определении знаменитого октанового числа бензина.

Почему так получается? Повышенная селективность метильных групп на самом деле — следствие пониженной активности всех других заместителей. А пониженная активность связей углерод-водород в местах разветвления объясняют стерическими затруднениями, то есть просто иону платины трудно приблизиться к связи C–H, со всех сторон окруженной объемистыми заместителями. Относительно высокую реакционную способность метильных групп решил «обойграть» уже известный нам Джей Лэбинджер. Он ввел в систему Шилова не углеводород, а этиловый спирт, у которого доступ к метильной группе свободный. Мечта сбылась, но только частично. Действительно, как и в этане, метильная группа окислялась, и удалось получить соединения  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  (3%) и  $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  (5%). В скобках даны относительные выходы продуктов, и они очень невысоки, поскольку образуется еще куча других веществ, включая те, которые возникают при замещении водорода в метильной группе. Вот этот набор:  $\text{ClCH}_2\text{CH}(\text{OH})_2$  (1%),  $\text{CH}(\text{OH})_2\text{CH}(\text{OH})_2$  (21%),  $(\text{CH}_2=\text{CH}_2)\text{PtCl}_3^-$  (4%),  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (6%),  $\text{HOCH}_2\text{COOH}$  (4%),  $\text{CH}(\text{OH})_2\text{COOH}$  (следы),  $\text{ClCH}_2\text{COOH}$  (следы),  $\text{CO}_2$  (8%). Немыслимо говорить о полезности такой реакции.

В 2002 году Дэвид Торн с сотрудниками, опять же пытаясь использовать необычную селективность системы Шилова, окислял нормальный пропиловый спирт, применяя в качестве окислителя пероксид водорода. Получилась смесь:  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  (58%),  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$  (21%),  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (21%). Обратите внимание, концевая метильная группа окисляется в три раза легче, чем средняя метиленовая. Что это — победа? Ведь об-

разуются такие заманчиво-полезные продукты! Увы, удалось получить выход продуктов всего 230% в расчете на платину, то есть катализатор накручивает лишь два цикла.

К счастью, в самом конце предыдущего тысячелетия американский химик гайанского происхождения Рой Периана сообщил совершенно невероятные на первый взгляд (впрочем, и на второй тоже) новости из области активации связей C–H. Если Шилов и затем Лэбинджер, основываясь на комплексе двухвалентной платины как катализаторе, применяли в качестве окислителя четырехвалентную платину, а Торн использовал для этой цели пероксид водорода, то группа Перианы решила окислять метан серной кислотой. Катализатором служил хлоридный комплекс платины с бипириридиновым лигандом (дифенил, содержащий в ортоположениях четыре атома азота вместо групп NH). Первая неожиданность заключалась в том, что нежный гетероцикл оказался вполне устойчивым в условиях реакции и катализатор продерживал до 500 циклов. Второй невероятностью были драконовские условия реакции: окислителем и растворителем был 30%-ный олеум, а температура реакции 220°C. Как-то в Стэнфордском университете я сказал Периане, что у меня мурашки по спине начинают бегать, если представлю себе, что его окисление метана в метанол будут проводить в огромных заводских автоклавах. Рой начал стучать себя в грудь и объяснять, что условия его реакции просто идеальны для промышленности: температура реакционной массы позволяет эффективно отводить и использовать тепло, из метана получается с прекрасным выходом метилсульфат, который легко может быть омылен до метанола, а SO<sub>2</sub>, получающийся при восстановлении SO<sub>3</sub>, без труда превратится обратно в олеум. Ну, не знаю... Сами авторы пытаются сейчас преодолеть несколько проблем: дороговизна платины, дороговизна выделения метанола из смеси, непонятность природы некоторых стадий каталитического цикла.

Я специально все это нудно перечисляю, чтобы не создалось впечатление о том, что перед химиками открылась какая-то однозначно радужная перспектива. Впрочем, Периана с огромным энтузиазмом продолжает все эти изыскания и в самые последние годы показал, что в серной кислоте алканы могут окисляться не только на платиновых комплексах, но и на соединениях палладия, золота, иода...

## Золотые ферменты и их модели

Напомню, что толчком к началу работ по активации алканов была мысль Семенова о возможной продуктивности и для науки, и для практики копирования в пробирке известных ферментов. В какой-то момент встал вопрос: является ли реакция метана с солями платины моделью работы бактерий, превращающих метан в метанол? Можно моделировать разные аспекты ферментов: имитировать, например, их структуру или функцию. Если известны детали структуры фермента, содержащего ионы металла, то, синтезировав в лаборатории комплексы со структурой, аналогичной реакционному центру фермента, мы получим структурную модель. Тут, правда, вспоминается лекция одного авторитетного английского химика, который в течение часа подробно рассказывал об исследуемых в его лаборатории комплексах никеля, моделирующих каталитические центры природных гидрогеназы и уреазы. Когда его спросили, какую активность проявляют комплексы в восстановлении водородом или в гидролизе мочевины, то он ответил: «К сожалению, пока у нас комплексы не катализировали эти процессы, но мы сейчас их модифицируем и надеемся, что наши модели заработают».

Можно представить себе и функциональную модель — катализатор в колбе мало похож на фермент, но механизм его действия сходен с каталитическим циклом энзима, и сама реакция дает такие же продукты. Шилов предложил считать активацию алканов на платине моделью ферментативного процесса. Многие со



скепсисом встретили это заявление (вначале и автор этих строк тоже был искренним скептиком). Однако постепенно стало приходиться понимать глубины такого сравнения.

Давайте попытаемся разложить аргументы на две полочки и начнем с «contra». В бактериальных ферментах за окисление метана отвечает железо, а тут — платина, совсем непохожие элементы. Да и вообще, ферменты — это нежнейшие белки, которые работают при комнатной температуре и нормальном давлении, а здесь сто градусов, уксусная кислота и метан под давлением. Более того, ферменты окисляют алканы кислородом воздуха, а платина катализирует окисление либо платиной же, либо пероксидом водорода, или даже олеумом. И в платиновой системе Шилова кислород на метан идет из воды.

Теперь — полочка «pro». В донных отложениях живут анаэробные бактерии с поэтическими именами *Methanobacterium thermoautotrophicum*. В отсутствие кислорода эти бактерии заменяют атом водорода в метане на атом кислорода. Предполагается, что окислителями в таких микробных системах работают сульфаты, нитраты или нитриты, а «моторами» превращения выступают производные четырехвалентного марганца или трехвалентного железа. Я уже говорил об особенностях платиновой системы в активации длинных алканов: частица металла легче сближается с теми связями C–H, которые менее экранированы другими атомами. Чем ближе ион металла способен подойти к связи, тем быстрее он будет ее разрывать, а если подобраться ему не удастся, то реакция вообще не пойдет. Именно такая селективность наблюдается и в реакциях с ферментами, и с комплексами платины. В этом смысле сравнение их правомерно.

Пока платина не замечена в катализировании каких-либо биологических процессов с участием алканов. Зато превращение метана и других алканов способен катализировать другой драгоценный тяжелый элемент — золото. Такие исследования, начатые всего несколько лет назад, имеют самый что ни на есть биомиметический привкус. Черноголовские биологи под руководством Шилова выделили из бактерий *Micrococcus luteus* содержащую золото субстанцию, которую назвали «Au-белок». Им удалось в превращении метана в метанол накрутить 2000 каталитических циклов на одну молекулу белка. А затем ученые создали первую функциональную биомиметическую модель активного центра Au-белка — помимо хлоридного комплекса золота она содержит биофлавоноид (растительный полифенол) рутин или кверцетин и биологический восстановитель НАДН. Нужно заметить, что описанные реакции — это окисление алканов молекулярным кислородом. Чудеса начались, когда в 2012 году Шилов, Шестаков и сотрудники создали биомиметическую систему для анаэробного окисления метана на основе комплекса золота и рутина! Окислителем в этой системе был K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>].

Похоже, что химики в колбе начинают уже обходить природу. Судите сами: ученые создают биомиметические системы на основе платины и даже на золоте окисляют метан в отсутствие кислорода. Природа пока такое делать не научилась. К сожалению, эта тема стала последней научной страстью А.Е.Шилова. Он умер в 2014 году.



# Сера: факты и фактики

**О.Ю.Петрова,**  
кандидат химических наук  
**М.П.Лябин**

## Что писали о сере в древности?

«Серу применяют для очищения жилищ, так как многие держатся мнения, что запах и горение серы могут предохранить от всяких чародейств и прогнать всякую нечистую силу» — так про нее рассказывал Плиний Старший в своей «Естественной истории» (I век н. э.). «Если травы чахлы, бедны соками, а ветви и листва деревьев имеют окраску тусклую, грязную, темноватую вместо блестящего зеленого цвета, это признак, что подпочва изобилует минералами, в которых господствует сера». «Если руда очень богата серой, ее зажигают на широком железном листе с множеством отверстий, через которые сера вытекает в горшки, наполненные доверху водой». «Сера входит также в состав ужасного изобретения — порошка, который может метать далеко вперед куски железа, бронзы или камня» — орудие войны нового типа». А это уже Георг Агрикола, «О царстве металлов», XVI век.

**Кто и когда открыл серу?** Сера широко распространена в природе и человеку известна с древнейших времен. Однако серу как химический элемент первым охарактеризовал французский химик Антуан Лоран Лавуазье: сжигая вещества, он обнаружил выделение газа; как мы теперь знаем, это был сернистый газ. Позже Лавуазье изучил свойства и природу химического элемента, породившего газ. Сегодня нам известно, что атомы серы обладают уникальной способностью формировать устойчивые цепи, которые достигают большой длины или, наоборот, смыкаются в кольца. Поэтому у серы есть несколько десятков как кристаллических, так и аморфных модификаций, отличающихся формой цепей и способом их упаковки. При нормальном давлении и температуре до 98,38°C стабильна альфа-модификация серы, образующая лимонно-желтые кристаллы. Аморфную серу и резиноподобную пластическую серу получают при резком охлаждении расплава серы, выливая его в холодную воду. Эти модификации состоят из нерегулярных зигзагообразных це-



пей. Длительное выдерживание при температуре 20—95°C превращает все модификации серы в альфа-серу.

**Почему сера служит символом нечистой силы?** Сера во все времена не случайно ассоциировалась у людей с подземной жизнью: горячие потоки расплавленной серы вытекают из кратеров вулканов, а ее желтые кристаллы осаждаются в местах выходов вулканических газов — фумаролах, причем в воздухе вокруг разлит неприятный аромат серы и ее соединений, прежде всего сероводорода. Сероводород выделяется и еще в одном страшном для человека месте — болоте. Кроме того, в древности курения с серой использовали жрецы при проведении различных обрядов. Бытовали верования, что сера создана сверхчеловеческими существами мира духов и что подземные боги в виде серного дыма возникают среди людей и манипулируют ими.

**Как серу используют в сельском хозяйстве?** На борьбу с вредителями сельскохозяйственных культур (главным образом винограда и хлопчатника) идет 10—15% годовой добычи серы. А применяют ее в этом качестве с древнейших времен. Это и окуливание садов серным дымом, и опрыскивание коллоидной серой. Используют также медный купорос в виде чистого раствора или в смеси с известью (так называемую бордоскую жидкость). Серу вводят в почву вместе с фосфоритной мукой. Почвенные бактерии окисляют ее, образующиеся серная и сернистая кислоты реагируют с фосфоритами, и получают фосфорные соединения, хорошо усваиваемые растениями.

**Как сера может победить ртуть?** Ртуть из-за своей летучести — опасное для здоровья человека вещество, однако в некоторых приборах без нее не обойтись. Поэтому иногда ртуть оказывается на открытом воздухе, например вытекая из разбитого ртутного градусника. Сотрудники МЧС первым делом собирают крупные шарики ртути, а те места, из которых маленькие серебристые капли не извлекаются, засыпают порошкообразной серой. Между серой и ртутью проходит реакция, и образуется кирпично-красная киноварь — сульфид ртути. Это соединение совершенно безопасно для человека.

**Зачем организму нужна сера?** Сера играет одну из важнейших ролей в организме человека, это незаменимый элемент, входящий в состав аминокислот — метионина и цистеина, а стало быть, и многих белков. Остатки цистеина образуют дисульфидные мостики между участками белковых цепочек, скрепляя их вместе, — это важный элемент трехмерной структуры белка. Много серы в хрящевой, костной и нервной тканях, в ногтях, коже и волосах, всего же в теле человека содержится около полутора килограммов серы, а дневная потребность — 4 грамма. Лучшей усвояемости серы способствуют соединения железа и фтора, а ухудшают ее усвоение такие элементы, как селен, барий, молибден, свинец и мышьяк. Сера присутствует в любых растениях и животных (в морских обитателях ее больше). Поэтому при гниении выделяются неприятные запахи — это выходят содержащие серу газы, сероводород и меркаптаны. Именно из-за того, что эти

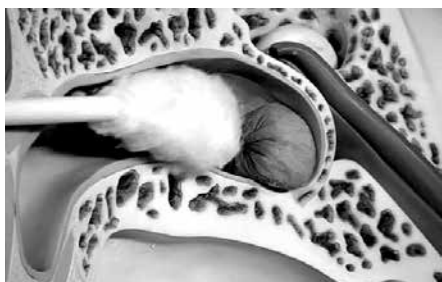


ЭЛЕМЕНТ №...

газы — индикатор опасного для здоровья процесса гниения, их запах и стал для человека столь мерзким.

**Почему лук вызывает слезы?** Когда мы берем обычный нож и надрезаем луковицу, то тем самым нарушаем целостность луковых клеток. В итоге вещества, хранящиеся в различных клетках и отличающиеся по составу, смешиваются, между ними идет реакция, и получается содержащий серу луковый газ — 1-сульфинилпропан,  $C_3H_6SO$ . Именно этот газ и вызывает слезы, но не только. Когда луковый газ смешивается со слезами, образуется жгучая серная кислота. А жжение еще сильнее стимулирует слезотечение. Получается замкнутый круг, разорвать который может либо прекращение выделения лукового газа, либо прекращение выделения слез. Впрочем, слезы от лука приносят организму пользу: они обладают бактерицидными свойствами.

**Зачем сера в ушах?** Многие думают, что ушная сера — это грязь, но такое мнение ошибочно: сера защищает кожу слухового прохода от поврежденной и загрязненной. Однако порой серы скапливается слишком много, и получается серная пробка, из-за которой



человек плохо слышит внешние звуки, но хорошо — внутренние: в голове возникает постоянный шум. Из чего состоит эта пробка? Помимо серы в ней есть вырабатываемые железами жиры и белки, слущенный эпителий, чешуйки кератина, ферменты, иммуноглобулины, холестерин. Получается густое липкое вещество, обладающее защитной функцией. Многие стараются чистить слуховые проходы от серы ватными палочками, что не очень правильно. Двигаясь в узком пространстве, ватная палочка только сдвигает скопления серы к барабанной перепонке и утрамбовывает их, а это лишь способствует образованию пробки. Для удаления пробки ее нужно размягчить, а затем промыть с помощью специального шприца. Лучше всего это сделает врач.

#### **Как серу применяют в медицине?**

Сера входит в арсенал медиков с незапамятных времен: ее пламенем издавна окуривали больных для дезинфекции, ее включали в состав различных мазей для лечения кожных заболеваний. И ныне серные аппликации и другие виды компрессов наносят на кожу, чтобы лечить псориаз, экзему, перхоть, фолликулит (инфицированные волосные фолликулы), бородавки, разноцветный лишай. Исследования в Израиле, где серосодержащую грязь добывают из Мертвого моря, показали, что такая бальнеотерапия может помочь в лечении различных видов артрита, включая остеоартроз, ревматоидный артрит и псориатический артрит. Люди, которые принимали серные ванны и использовали другие подобные методы лечения,

чувствовали меньшую скованность по утрам, лучше ходили, у них уменьшались воспалительные процессы, отеки и боль в суставах, особенно в шее и спине. Грязи и соли Мертвого моря, растворенные в обычной ванне, также снижали симптомы артрита, но не так эффективно, как отдых на самом Мертвом море.

Одно из соединений серы — диметилсульфоксид — предложили как средство от боли и воспаления при опоясывающем лишае, но для точного понимания механизма действия требуются дополнительные исследования. Медики также полагают, что диметилсульфоксид хорош при лечении интерстициального цистита, хронического воспаления мочевого пузыря; врач вводит жидкий раствор препарата непосредственно в этот орган, а также в составе мазей — для увеличения переноса действующих веществ сквозь кожу.

**Зачем нужны серобактерии?** Серобактерии осуществляют круговорот серы в природе. Они разделяются на две группы: бесцветные хемосинтетики и пурпурные, способные к фотосинтезу. В естественных условиях серобактерии находятся в тех местах, где сероводород образуется постоянно и где есть свободное поступление кислорода. Например, в Черном море слой серобактерий располагается на глубине около 200 метров.

Окисление сероводорода и других восстановленных форм серы у таких бактерий может происходить в два этапа. Вначале они окисляют его до элементарной серы, которая отлагается либо снаружи, либо в протоплазме

клеток и используется в качестве запасного энергетического материала. Затем, если в среде не хватает сероводорода, постепенно окисляется и запасенная сера. В результате образуется серная кислота. Частично ее нейтрализуют клеточные бикарбонаты, и тогда наружу выходят сернокислые соли. Однако часть кислоты может выходить в чистом виде; она закисляет почву и делает ее непригодной для жизни растений. Бактерии способны превратить в поток кислоты целую реку, как, например, Рио-Тинто в Испании (фото внизу).

Есть еще и очень интересные металлокисляющие серобактерии: они превращают нерастворимые сульфиды в растворимые сульфаты. Благодаря этому удается легко отделять соединения ценных металлов — меди, никеля, кобальта и германия — от руды и затем превращать их в чистые металлы. Такая бактериальная металлургия должна гораздо меньше загрязнять окружающую среду: обычно при обжиге руды много серы улетает в трубу, а здесь обжига нет. Растворение сульфидов помогает также высвободить заключенные в руде крупинцы золота, что позволяет использовать бедные руды, работать с которыми обычными методами нерентабельно. Советские микробиологи добились, чтобы такие преобразующие сульфиды бактерии функционировали даже в условиях Крайнего Севера (см. «Химию и жизнь», 1971, № 5).

**Как добывают серу?** В природе сера встречается и россыпями, и в виде кристаллических пластов, иногда образуя изумительные по красоте группы полупрозрачных желтых кристаллов — друзы. Получать серу без подъема руды на поверхность позволяет так называемый геотехнологический способ — его предложил в конце XIX века американский химик Герман Фраш, прозванный «королем серы». Перегре-



тый пар по трубе подают в подземный слой, содержащий серу. Сера плавится (ее температура плавления немного ниже 120°C) и по трубе, расположенной внутри той, по которой закачивают водяной пар, поднимается вверх. Чтобы обеспечить подъем жидкой серы, через самую тонкую внутреннюю трубу нагнетают сжатый воздух. Другой метод — термический — получил особое распространение в начале XX века на Сицилии: серу выплавляют, или возгоняют, из дробленой горной породы в глиняных печах.

Метод окисления сероводорода до элементарной серы был впервые разработан в Великобритании, где значительные количества серы научились получать из сульфида кальция — отхода производства соды по методу Леблана. Очищая природный газ от сероводорода, также получают элементарную серу. Теперь, когда все заботятся о качестве воздуха, во многих странах растет производство технической серы как побочного продукта переработки и очистки нефти, природных и топочных

газов. Сегодня газовая и нефтяная сера составляет примерно 60%, а получают ее практически на всех нефте- и газоперерабатывающих заводах.

Так как современная техника нуждается в сере высокой чистоты, разработаны эффективные методы ее рафинирования. При этом используют, в частности, различия в химическом поведении серы и примесей. Так, мышьяк и селен удаляют, обработав серу смесью азотной и серной кислот.

Добывают серу и из вулканов. Например, на острове Итуруп сохранились развалины японского предприятия по извлечению серы из склонов вулканов. В восточной части острова Ява есть удивительное по красоте, но очень опасное место — вулкан Кавах Иджен. Вулкан находится на высоте около 2400 метров над уровнем моря, диаметр его кратера 175 метров, а глубина — 212 метров. В жерле расположено странное и пугающее озеро прекрасного яблочно-изумрудного цвета: оно заполнено раствором серной и соляной кислот объемом 40 млн. тонн, берега же усыпаны чистой серой. И озеро, и сам кратер используют не только для привлечения туристов, но и для сбора этого вещества. В одном из кратеров вулкана ночью видно синее пламя: это горит сернистый газ. Часть газа конденсируется, и образуются сталактиты из чистой серы, которые продают туристам как сувениры.

#### **Как применяли серу в древности?**

Алхимики полагали, что металлы, в том числе золото и серебро, состоят из серы и ртути, находящихся в различных соотношениях. Поэтому сера играла важную роль в их попытках найти «философский камень» и превратить недрагоценные металлы в драгоценные. Практическое значение серы резко возросло после того, как изобрели черный порох, в со-



став которого она обязательно входит. С давних времен известно и важнейшее соединение серы — серная кислота. Так, Василий Валентин в XV веке подробно описал получение серной кислоты прокаливанием железного купороса (старинное название серной кислоты — купоросное масло).

### Как готовят серу для применения?

Сера, независимо от ее вида, трудно совмещается с другими веществами и плохо растворяется в большинстве растворителей. Поэтому готовят ее препаративные формы: смачивающиеся водой либо смеси серы с углеводородными партнерами для совмещения с гидрофобными материалами. Наибольшее применение получили 80%-ные и 90%-ные смачивающиеся порошки. Их получают измельчением серы в среде диспергатора и смачивателя с последующей сушкой суспензии распылением в потоке инертного газа. Такую серу легко наносить распылителем, что и делают в сельском и лесном хозяйстве для защиты растений от вредителей. Гидрофобные формы применяют для вулканизации — такой порошок лучше смешивается с углеводородами.

Готовят и более сложные препаративные формы, в которых сера взаимодействует с компонентами не только физически, но и химически. Примером может служить расплав серы в смеси высокомолекулярных полиизобутилена и полиэтилена с добавкой малорастворимого эмульгатора. При нанесении препарата тонким слоем образуется покрытие, сочетающее бактерицидные свойства серы и липкость углеводородного полимерного слоя — это развитие известных в фармацевтической и ветеринарной практике средств. Новые возможности применения серы открывает препаративание ее полиолефинами, в частности полиэтиленом. Такая форма улучшит эластичность резиновой кровли или может служить бактерицидной добавкой в составе пропитывающих растворов для защиты древесных материалов.

**Что такое вулканизация?** В 1844 году американский изобретатель Чарльз Гудьир запатентовал процесс, с помощью которого каучук превращается в гораздо более прочную резину. Суть его в том, что отдельные молекулы каучука сшивают сетку с помощью серных мостиков.

**Зачем сера в порохе?** Она цементирует крупинки пороха, а кроме того, возгораясь при меньшей температуре, нежели уголь, облегчает процесс горения.

**Как серу применяют в современной промышленности?** За год в мире добывают около 40 млн. тонн серы. Около

половины ее идет на производство серной кислоты, четверть — на производство сульфитов, примерно 10% требуется резиновой промышленности для вулканизации. Сера применяется при производстве красителей и пигментов, взрывчатых веществ (она до сих пор входит в состав пороха), искусственных волокон, люминофоров, спичек. В целом же внешне непритязательный, давно известный элемент — сера остается необходимым людям, без ее использования не обходится производство огромного количества материалов.

**Какой вред от серы?** Основной источник загрязнения серой — сжигание каменного угля и других видов топлива, содержащих серу. При этом около 96% серы попадает в атмосферу в виде сернистого газа  $SO_2$ . В атмосфере он постепенно окисляется до  $SO_3$ . Оба оксида взаимодействуют с парами воды, образуя растворы кислот, которые выпадают в виде кислотных дождей. В результате создаются неблагоприятные условия для развития растительности, особенно в северных регионах, где химическое загрязнение добавляется к суровому климату: гибнут леса, нарушается травяной покров, ухудшается состояние водоемов. Кислотные дожди разрушают изготовленные из мрамора и других материалов памятники, ускоряют коррозию металлов. Поэтому приходится принимать разнообразные меры, чтобы предотвратить попадание соединений серы из топлива в атмосферу. Это очистка газа и бензина, а также отказ от угля на тепловых станциях, ведь концентрация серы в угле очень высока — 1—1,5%. Не все тут идет гладко. Так, до кризиса 2008 года в странах ЕС от угольных ТЭЦ быстро избавлялись, а после резкого подорожания газа опять стали использовать дешевый уголь. Серьезное загрязнение серой наблюдают в местах плавки цветных металлов, например меди и никеля, поскольку эти металлы получают обжигом серосодержащих руд. Защитники природы не раз упрекали никелевые комбинаты в Мончегорске и Норильске в отравлении окрестных лесов и тундры.

**Как используют серные отходы?** Поскольку растет производство серы как побочного продукта при переработке и очистке нефти, природных и топочных газов, возникает задача ее использования. Одна из важных идей — строительство зданий и дорог с применением серобетона, в котором сера играет роль вяжущего вещества, то есть заменяет цемент. Прочность в этом случае достигается не за счет химической реакции, а просто при затвердевании расплава, стало быть, такие материалы можно использовать несколько раз. Сегодня во многих странах из серобетона де-



ЭЛЕМЕНТ №...

лают сваи, химически стойкие емкости, фундаменты и полы, а также дорожные покрытия. Так, Франция, Польша, Канада и США применяют серобетон в дорожном строительстве. Он долговечнее, крепче, а главное, дешевле обычного бетона и решает проблему утилизации многотоннажного отхода основного производства. Конструкции из серных бетонов можно армировать стеклопластиковыми деталями, стекловолокнами или стержнями растительного происхождения.

Изучение сероасфальтобетонов показывает: создав специализированные производства, можно рассчитывать на то, что ценные свойства серных строительных материалов проявят себя в полной мере — снизят затраты как на строительные работы, так и на эксплуатацию сооружений, а вложенные средства быстро окупятся.

Важная особенность серобетона — отсутствие в его составе калийсодержащих компонентов, которые всегда есть в цементном бетоне. Важно это потому, что калий-40 — основной источник естественного радиоактивного облучения. Здания, построенные из серобетона, излучают гораздо меньше, чем цементно-бетонные, и это важно при сооружении специальных объектов, где есть ограничения на уровень радиационного фона, например нейтринных обсерваторий.

**Как с помощью серы можно изменить климат?** Для борьбы с глобальным потеплением некоторые специалисты, например академик РАН Ю.А. Израэль, предлагают не сокращать выбросы парниковых газов, а создать в верхних слоях атмосферы экран для отражения света, что обойдется несравнимо дешевле. Оптимальна, по их мнению, сернокислотная аэрозоль. Не все в восторге от этого предложения, однако если иные средства не помогут, создание аэрозольного слоя может оказаться крайней мерой для стабилизации температуры планеты.



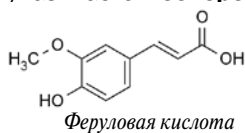
# Еще о фенолах и хинонах



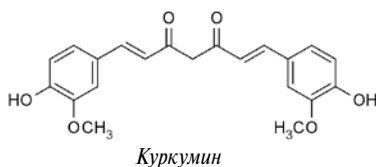
Гвоздика пахнет эвгенолом

**В** продуктах сухой перегонки древесины некоторых деревьев содержится монометилловый эфир пирокатехина — **гваякол** (2-метоксифенол), который применяют для синтеза ванилина и лекарственных средств. Этот термин пришел в европейские языки через испанский (*guayaco*); на острове Гаити гваяковым называют дерево, из древесины которого был получен гваякол. В английском языке гваякол пишется по шаблону испанского — «*guaiacol*», так что для англоязычных это слово трудное. Американский химик Айра Ремсен (1846—1927), в лаборатории которого был открыт сахарин, считал, что человек, пишущий с ошибкой название гваякола, не может считаться хорошим химиком-органиком, так как химик должен быть грамотным. В этом смысле нам повезло: гваякол по-русски пишется так же, как слышится.

Если в молекулу гваякола ввести (в положении 5) винильную группу, получится 5-винил-2-метоксифенол. Это вещество получило название **гесперетол**, потому что содержится (в виде глюкозида) в ярко-оранжевой коже цитрусового растения померанца (*Hesperidium*). В греческой мифологии Геспериды — дочери Геспера, охраняющие золотые яблоки (а померанец — искаженное нолатинское *rotum aurantium*, в переводе — золотое яблоко). Соответствующая гесперетолу кислота (карбоксил в боковой цепи) называется **гесперетиновой**.

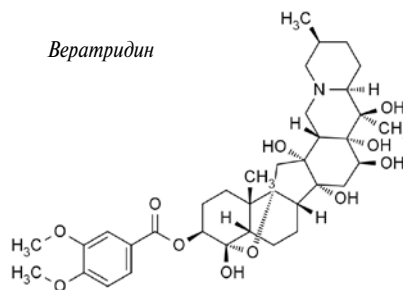


Ее изомер — **феруловая кислота**; она содержится во многих растениях, в том числе в феруле — многолетнем травянистом растении семейства зонтичные. Школьникам будет интересно узнать, что на латыни *ferula* — прут, розга: сухие стебли растений употреблялись в античной и средневековой школе для наказания учеников. Еще одна метоксильная группа превращает феруловую кислоту в **синаповую** (4-гидрокси-3,5-диметоксикоричную). Последняя содержится (в виде эфира) в горчичном масле, откуда и получила свое название (на латыни горчица — *sinapis*). Соответствующий спирт называется **синапиловым**.

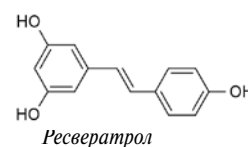


В куркуме присутствует **куркумин**, в молекуле которого две «гваякольные» группы соединены мостиком:  $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}-$ . Куркумином окрашивают в желтый цвет кондитерские изделия, масло, сыры (пищевая добавка E100). Название растения происходит от араб. *kurkum* — шафран (он же крокус). Но если настоящий шафран делают из высушенных рылец цветков крокуса, то куркума — порошок корня растений семейства имбирные, рода *Curcuma*. С точки зрения кулинаров, между ними огромная разница, да и желтые пигменты в шафране другие.

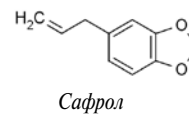
Диметилловый эфир пирокатехина (1,2-диметоксибензол) называется **вератролом**. Это вещество образуется при декарбосилировании вератровой кислоты (диметиллового эфира пирокатехиновой кислоты). **Вератровая кислота** содержится в свободном состоянии в семенах растений рода *Veratrum* (к ним относится, например, сабадилла) и образуется при расщеплении многих алкалоидов. В чемерице белой *Veratrum album* присутствует алкалоид **иервин**, название которого происходит от латинского названия растения *Eryvm*. В кукольнике — чемерице Лобеля (*Veratrum lobellianum*) — алкалоиды **вератрин** и **вератридин**. Ядовитые алкалоиды морозника — чемерицы черной — вызывают чихание и кашель. Латинское название растений *veratrum* (от *verus* — правда) происходит от поверья, что чихание после сказанных слов подтверждает их истинность. Забавно, что в это верили еще древние римляне!



В коже винограда и других фруктов, в какао, орехах, в красном вине содержится **ресвератрол** (3,5,4'-тригидроксистильбен), тот самый, которому приписывают всевозможные целебные свойства. Некоторые растения выделяют это вещество для защиты от паразитов. А назвали его, объединив слова «резорцин» и «вератрол».



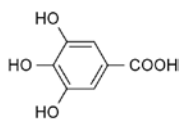
Многим знаком сильный гвоздичный запах аллильного производного гваякола — **эвгенола** (4-аллил-2-метоксифенола): он входит в состав пасты для временного пломбирования зубного канала; его используют также в парфюмерии. Эвгенол — основная составная часть гвоздичного масла, он содержится также в масле лавра. А назван он так, потому что выделен из эфирного масла из высушенных бутонов тропического гвоздичного дерева *Eugenia aromatica*; его содержание в этом масле достигает 95%. Растение же получило свое имя в честь австрийского генералиссимуса принца Евгения Савойского. **Изоэвгенол** отличается от эвгенола только положением двойной связи в боковой цепи (пропенил вместо аллила); при этом запах вещества изменяется от гвоздичного до мускатного.



Еще одно производное пирокатехина — **сафрол** (3,4-метилендиокси-1-аллилбензол) — главный компонент сассафрасового масла, которое получают перегонкой с водяным паром древесины, коры и плодов деревьев и кустарников семейства лавровые, рода *Sassafras*. Близкий по строению к сафролу 2,5-диметокси-3,4-метилендиокси-1-аллилбензол, главная составная часть эфирного масла плодов петрушки, называется **апиолом**, или «камфорой петрушки». На латыни *apium* — петрушка, а также сельдерей. Аромат цветущего сельдерея привлекает пчел, откуда его

латинское название, от лат. *apis* — пчела. А еще апиол — сильный спазмолитик. Если в молекулу апиола ввести четвертую гидроксильную группу, получится четырехатомный фенол, 1,2,3,4-тетрагидроксibenзол, который соответственно назвали **апиолом** (**апиолом**).

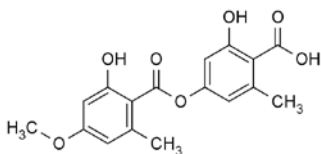
Из трехатомных фенолов самый известный — **пирогаллол** (1,2,3-тригидроксibenзол). Он образуется при пиролизе (декарбоксилации) **галловой кислоты**, которая в виде ее эфиров содержится в чернильных орешках — галлах. Для получения чернил к соку из галлов добавляли железный купорос или другие соли железа. На воздухе полученный раствор приобретал глубокий фиолетово-черный цвет. Реакция эта очень чувствительная: окраска появляется даже с исчезающе малым количеством железа. Еще в XVII веке британский физик и химик Роберт Бойль (1627—1691) установил, что «одна крупинка купороса, растворенная в таком количестве воды, которое в шесть тысяч раз превышает ее вес, способна дать с дубильным орешком пурпурную настойку». Добавление камеди — густого сока некоторых деревьев, например вишневого, — придавало чернилам красивый блеск. Чернила эти очень устойчивы; сохранились написанные ими средневековые рукописи.



Галловая кислота

Действием на галловую кислоту концентрированной серной кислотой получают **руфигалловую кислоту** (руфигаллол). Она красного цвета, откуда и название: лат. *rufus* — оранжевый.

При замене в орселлиновой (дигидроксиметилбензойной) кислоте одной гидроксильной группы на метоксильную получается **эверниновая кислота** (2-гидрокси-6-метил-4-метоксibenзойная), выделенная из так называемого дубового моха *Evernia prunastri* — лишайника, растущего на дубе и других деревьях. А сложный эфир орселлиновой кислоты (по гидроксилу) и эверниновой кислоты (по карбоксилу) называется **эверновой кислотой**.

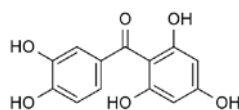


Эверновая кислота

Родственна орселлиновой 3,5-диметокси-4-гидроксibenзойная (**сиреневая**) кислота, которая получается при окислении сиреневого альдегида. И эта кислота, и сиреневый альдегид содер-

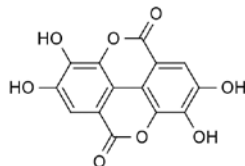
жатся в виде глюкозида в коре многих деревьев, например белой акации или сирени (род *Syringa*). Латинское же название сирени произошло от греч. *syrix* — свирель, рожок пастуха (цветы сирени напоминают трубочки, из которых была сделана свирель Пана).

Группа макромолекулярных фенольных соединений с множеством гидроксильных групп называется **танинами** (старое написание таннины). Эти вещества используют для дубления кожи и меха. Очищенный танин — пищевая добавка E181 (эмульгатор и стабилизатор). Одно из самых простых веществ этого класса — **маклурин**, порошок желтого цвета, название которого происходит от растения *Maclura*, а само оно носит имя американского геолога Уильяма Маклура



Маклурин

(1763—1840). Из древесины желтого дерева *Morus tinctoria* (красильное тутовое дерево) был выделен **морин**, откуда и морилка. (Можно сравнить эти термины с латинским *mortuus* — умерший, мертвый и старинным русским словом «мор», которое известно с XI века. Ведь морилка «убивает» древесину! Не исключено, что у этих слов общий индоевропейский корень.) Дубильным свойством обладает и основной галлат (соль галловой кислоты) висмута, который под названием дерматол (от греч. *derma* — кожа) применяют в медицине как вяжущее средство при воспалительных заболеваниях кожи и слизистых оболочек. Многие дубильные вещества относятся к классу **депсидов** — сложных эфиров фенолокислот; этот термин, как и полипептиды, а также множество других ввел Эмиль Фишер, произведя его от греч. *depsein* — дубить кожу. Дубящим и сильным антиокислительным действием обладает **эллаговая кислота** (она же



Эллаговая кислота

краситель ализариновый желтый). Ее название интересно тем, что получено перестановкой букв в слове галловая (написанном на английском *gallic acid*) с добавлением «е»: *ellagic acid*. Один из танинов назвали **кориагином**, он был выделен из наружной оболочки плодов древесных растений *Caesalpinia coriaria*, а при гидролизе образует эллаговую кислоту. Название одного из танинов, **энотеина**, происходит не от чая, а от

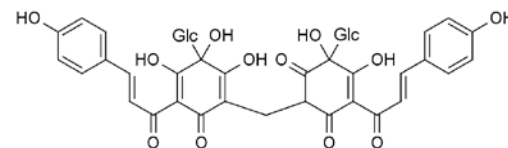


## ОТКУДА ТВОЕ ИМЯ?

растения энотеры красночашечной *Oenothera erythrosepala*, из которой он был получен. По-гречески *oinos* — вино, *therion* — дикий зверь. Считалось, что зверь, понюхавший растение, которое опрыскали вином, настоящим на корне энотеры, сразу же становится ручным (экспериментальное подтверждение неизвестно).

Симметричный 1,3,5-тригидроксibenзол — **флороглюцин** в виде глюкозидов (отсюда «глюцин») входит в состав пигментов, определяющих окраску цветов. Его глюкозиды содержатся также в коре и корнях некоторых растений, отсюда «флоро»: по-гречески *phloios* — кора. Именно в ней у многих плодовых деревьев содержится **флорицин** (он же флоризин). Вторая часть этих терминов происходит от греч. *rhiza* — корень и указывает на то, что это вещество есть и в корнях плодовых деревьев.

**Картамин**, как следует из его строения, не относится к аминам; это красящее вещество сафлора красильного (*Carthamus*). Из-за кислого характера картамин называют также **картаминовой кислотой**. Это вещество используется (применяют) для окраски хлопка, шелка и шерсти в красный цвет. В пищевой промышленности используется как красный пигмент.



Картамин

Многие фенолоспирты извлекают из природных веществ, откуда и их название. Так, непердельное производное фенола, **кониферилловый спирт** (3-метоксигидроксикоричный спирт), получил название от фенольного гликозида **кониферина**, выделенного из сока хвойных растений (*Coniferales*). Молекулы кониферилового и других фенолоспиртов входят в состав широко распространенного природного полимера лигнина. Кроме всего прочего, он — наверное, вам это не безразлично? — придает запах старым книгам.

И.А.Леенсон



Фото: А. Константинов

# Борьба со стрессом

Доктор биологических наук

**Д.А. Жуков**

**К**арлсон, который живет на крыше, — крайне неприятный тип, если посмотреть на него непредвзято. Есть даже мнение, что Астрид Линдгрен создала антигероя, описала, каким не должен быть мальчик. Действительно, Карлсон отвержен нездоровой системой питания, поэтому страдает излишним весом. Но это наименьший из его недостатков. Карлсон ленив, хвастлив, бестактен, лжив, вороват и труслив. Он крайне неряшлив, он часто бросает начатое дело. Более того, он плохой товарищ: после очередной шалости он улетает, оставляя Малыша одного объясняться с родителями. Карлсон инфантилен, социально совершенно незрел даже в сравнении с Малышом, которому не исполнилось еще семи лет: «паровую машину нельзя запускать без взрослых», «она дорогая», «это опасно» — все эти аргументы Карлсон игнорирует.

И тем не менее этот противный тип исключительно популярен в нашей стране. Причем его популярность не связана с симпатиями детей. Дети читают, слушают и смотрят то, что им предлагают взрослые. А взрослым очень нравится Карлсон.

Три повести регулярно переиздаются, написана песня на музыку английской поп-группы «Кристи», сняты мультфильмы, игровой фильм, со сцены нескольких театров — не детских — десятилетиями не сходят постановки о Малыше и Карлсоне.

Что же привлекает взрослых в этом персонаже? Надо думать, такое свойство психики, как беспечность и безмятежность. Способность отмахнуться от любой неприятности словами «пустяки, дело житейское» — именно это делает Карлсона привлекательным для взрослых людей, которые давно утратили такую способность. И дело не только в возрастных изменениях психики, в умении предвидеть отдаленные последствия своих поступков — зоны коры больших полушарий, ответственные за это, развиваются в полной мере только к двадцати одному году. Утрата безмятежности — это и прямое следствие стрессорных ситуаций, постоянно сопровождающих нас в повседневной жизни. Хронический стресс становится причиной развития депрессии и многих ее соматических масок.

Однако не случайно уныние относится к числу смертных грехов. Заметим, что все прочие психические расстройства отцы церкви, составлявшие список смертных грехов, в него не включили. И они были правы, потому что с депрессией, то есть

унынием, печалью, тоской, ипохондрией, сплинном, — с этим синдромом человек может и должен бороться! Человек не может самостоятельно противостоять, скажем, навязчивым мыслям и действиям. Он не может самостоятельно скомпенсировать расщепление психики. Но любому по силам воспрепятствовать наступлению депрессивного расстройства, которое чаще всего развивается вследствие постоянно сниженного настроения.

Мы не рассматриваем случаи реактивной депрессии, которая возникает в результате некоего события, имеющего большое значение для человека. Если депрессия вызвана потерей работы, то главная терапия будет в поиске новой работы. Но чаще всего депрессия подкрадывается незаметно. Хроническое состояние стресса поддерживают множество мелких неприятных событий, каждое из которых, взятое в отдельности, даже событием назвать стыдно. Однако, навалившись на человека в огромном количестве, они формируют состояние хронического стресса, плохое настроение, а затем и депрессивное состояние.

*На фото сверху: комната отдыха, помогающая бороться с зимней депрессией: яркая подсветка и много растений.*  
Стокгольм



Рассматривая зависимость депрессии от плохого настроения, уместно провести аналогию с зависимостью алкоголизма от пьянства. Алкоголизм — это болезнь, требующая вмешательства врачей. Но возникает алкоголизм на фоне бытового пьянства, прекратить которое человек способен даже не волевым усилием, а простым рассуждением. Так же и депрессию нельзя вылечить самостоятельно. А вот постоянное плохое настроение, почва, на которой депрессия развивается, — может и должно быть скорректировано самим человеком.

Очень важно, что настроение можно поправить, не прибегая к рационализации ситуации, самовнушению и прочим психологическим методикам. В этой статье мы перечислим несколько биологических, даже скорее физиологических методов борьбы с надвигающейся депрессией.

## Кровопускание и физкультура

К сожалению, первый метод нельзя рекомендовать к частому применению, но эффективность его доказана. Всякий донор испытывает душевный подъем после сдачи крови. Конечно, тут играют роль и чувство выполненного долга, самодовольство альтруиста, однако имеется и физиологический механизм психического оживления. Кровопотеря — один из сильнейших сигналов, запускающих стрессорную реакцию. А острый стресс всегда имеет эндорфин/энкефалиновый компонент. Иными словами, при стрессе увеличивается выработка эндогенных опиатов — эндорфинов, попадающих в общий кровоток из гипофиза, и энкефалинов, вырабатываемых в головном мозге. Подобно своим растительным аналогам, эндогенные опиаты вызывают эйфорию — беспричинно хорошее настроение и уменьшают боль, то есть являются анальгетиками. Не случайно кровопускание широко применялось для лечения самых разных болезней вплоть до начала XX века, хотя, согласно современным представлениям, медицинских показаний для этой операции очень мало. (В первую очередь — это резкий подъем кровяного давления. Вспомним, как доктор Ливси спас Билли Бонса, когда того хватил удар от черной метки.) Но кровопусканием лечили почти все болезни, и чаще хронические, никак не связанные с полнокровием. Дело в эйфории и ослаблении болей — оба эффекта возникают после кровопотери. Больной испытывает душевный подъем в результате выброса эндогенных опиатов и полагает, что его состояние улучшилось из-за целительного действия кровопускания. Вот почему этот медицинский прием был весьма популярен многие тысячи лет.

Надо отметить, что периодическая сдача крови здоровыми донорами — до четырех раз в год — отнюдь не вредит их здоровью, а только его улучшает, ускоряя производство новых форменных элементов (клеток крови), стимулируя тем самым и кислородпереносящую, и иммунную функции крови.

С эндогенными опиатами связан и другой, на этот раз бескровный способ подъема настроения. Это мышечная нагрузка. Конечно, она должна быть изрядной по длительности, чтобы эндогенные опиаты успели выработаться в достаточном количестве. В последние годы появились данные (напр., «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2015, 112, 42, 13105—13108, doi: 10.1073/pnas.1514996112) о том, что при длительном беге активируется не только система эндогенных опиатов, но и эндогенных каннабиноидов — то есть в нашем мозге синтезируются аналоги не только растительных опиатов, но и алкалоидов конопли. Желательно, чтобы работа, произведенная мышцами, была близка к максимуму привычной нагрузки. У каждого человека свой образ жизни, и что для одного личный рекорд, для другого — легкая предварительная разминка.

Эндогенные опиаты, выделяемые при мышечной работе, могут вызывать такую же зависимость, как и растительные. Во время массовых марафонов регулярно происходят смертельные случаи. Люди, привыкшие бегать марафонские дистанции, не могут отказаться от этого способа поддержания хорошего настроения даже тогда, когда их сердце и сосуды уже претерпели возрастные изменения, несовместимые с такими нагрузками.

Заставить себя двигаться, если такая привычка утрачена, — это требует волевых усилий, а следовательно, данный способ нельзя назвать чисто физиологическим. Но третий метод избавления от хандры значительно доступнее ленивому человеку — это груминг.

## «То ею в голове ищуся»

Груминг — чистка поверхности тела (по-английски to groom — холить кого-то, ухаживать, например за лошастью). Отметим, что использовать иноязычные слова, когда есть точное русское соответствие, — дурной тон. Но в данном случае лучше все-таки говорить о груминге, а не о поведении чистки, потому что главное его значение — не в удалении паразитов, отмерших участков эпителия и загрязнений кожи, а психологическое — улучшается настроение.

Еще Козьма Прутков отмечал, что одно из занятий, которое трудно бросить, единожды начав, — это чесать где чешется. Груминг занимает обширное место в поведенческом репертуаре всех позвоночных животных. Чем более социально

животное, тем чаще встречается груминг, прежде всего взаимный. Положительные эмоции, возникающие в присутствии другой особи, укрепляют социальные связи. Неоднократно отмечено, что обезьяны, которые много времени проводят, перебирая друг у друга шерсть, специально наносят себе на тело грязь или паразитов, чтобы товарка (чаще этим занимаются самки) погруммила еще. Сейчас мы не будем рассматривать социальную роль груминга, отметим главное для нашей темы: он улучшает настроение.

Особенно эффективен груминг головы. В экспериментах на крысах было показано, что именно при почесывании головы максимально увеличивается секреция и все тех же эндогенных опиатов, и окситоцина, о котором столько написано в последнее время. Каждая женщина знает, что расчесывать волосы не только полезно для них, но и приятно. Озадаченный мужчина чешет в затылке — это тоже груминг, направленный на восстановление душевного равновесия. А два-три века назад этому занятию уделяли еще больше времени. О нем не забыл сам Державин — перечисляя мирские удовольствия в оде «Фелица», поместил его между охотой и чтением развлекательной литературы:

*Иль, сидя дома, я прокажу,  
Играя в дураки с женой;  
То с ней на голубятню лажу,  
То в жмурки резвимся порой;  
То в свайку с нею веселюсь,  
То ею в голове ищуся...*

Психотропное действие груминга обусловлено не только гормональными механизмами. Не вполне понятным образом почесывание активирует многие отделы центральной нервной системы (ЦНС), в том числе и те, которые формируют положительные эмоции. В экспериментах на неврологических больных было показано, что ритмическое раздражение кожи бедра изменяет электрическую активность не только в сенсорной области коры головного мозга, но и во множестве других корковых и подкорковых структур. Напомним, что, согласно схеме Пенфилда (рис. 1), представительство бедра в сенсорной коре ничтожно. Самая большая область сенсорных отделов коры занята обработкой сигналов от языка,

губ и кистей рук. Это вполне объяснимо количеством информации, поступающей от кожи соответствующих отделов. Логично, что однократное точечное раздражение поверхности бедра отражается в активации крошечного участка коры больших полушарий. А вот легкое ритмическое раздражение того же участка кожи бедра меняет активность едва ли не всего мозга.

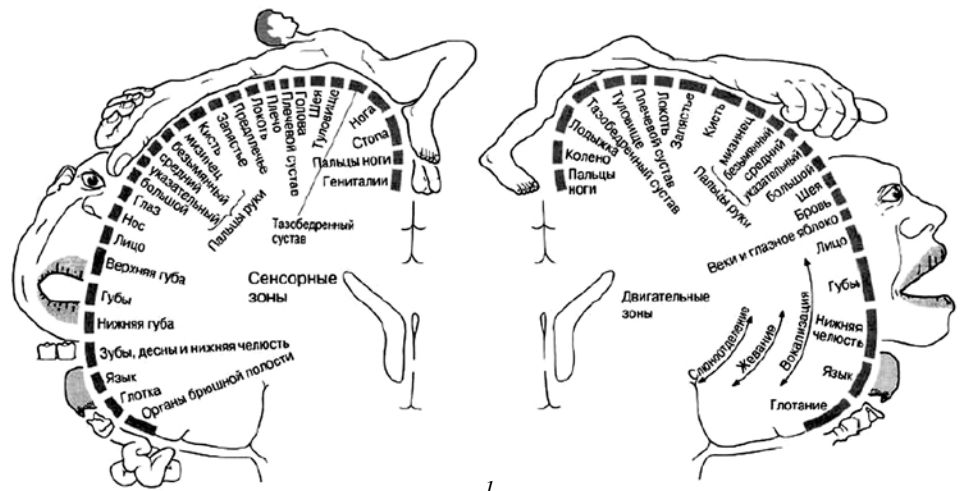
К грумингу можно отнести и разнообразные водные процедуры. Сравните бодрость после купания с простым облегчением человека, вставшего в жаркий день под струю воздуха из кондиционера. Поэтому при возможности стоит не ограничиваться мытьем головы, но поплескаться в ванной и постоять под душем. Отметим, что, как и у прочих животных, у человека взаимный груминг очень эффективен для улучшения настроения и душевного комфорта. Но если нет партнера, что ж — можно и самому потереться мочалкой.

Четвертый способ — лишение сна. Механизмы его темны и загадочны, но иногда это помогает. Способ довольно опасен не только тем, что ночные прогулки по городу могут привести к неприятным встречам, но и искаженным сознанием. Эти искажения усиливаются по мере увеличения срока форсированной бессонницы, что, безусловно, не полезно. Так или иначе, депрессия отступает, поэтому депривацию сна применяют в психиатрических стационарах.

При плохом настроении хочется лечь, завернуться в одеяло и закрыть глаза. Если хандра не отступает и через два-три дня такого лежания, нужно немедленно прекратить это и, если не прибегать к искусственной бессоннице, то испробовать пятый способ — фототерапию.

## Смотрит солнышко в окно

Яркий свет — вот чего не хватает многим хмурым людям. О пагубном влиянии на психику низкой освещенности свидетельствует, например, статистика самоубийств которую ведет Всемирная организация здравоохранения. Успешные попытки самоубийства совершаются, как правило, на фоне депрессивного эпизода. Поэтому количество самоубийств отражает степень депрессивности настроения населения. Чаще всего количество самоубийств связывают с низким уровнем жизни, то есть с экономическими проблемами в стране. Конечно, это важный, но не единственный фактор, который определяет склонность населения к тяжелым депрессиям, ведущим к самоубийствам. Чтобы минимизировать действие этого фактора, сравним только страны — члены Евросоюза с большим стажем. Реже всего самоубийства происходят в Греции, Португалии и Италии — южных странах с



очень большим количеством солнечных дней в году. А в Норвегии и Финляндии самоубийства происходят в восемь раз чаще, чем в Греции! Швеция — европейский лидер по количеству самоубийств среди женщин. В скандинавских странах уровень жизни значительно выше, чем в Греции и Португалии. Однако, несмотря на высокий ВВП, социальные гарантии, лучшую систему образования и здравоохранения, большое количество женщин во властных структурах и прочие характеристики, определяющие понятие «уровень жизни», депрессиям подвержена значительно большая часть населения в странах с коротким и хмурым летом, чем в странах солнечных.

Фототерапия — один из методов лечения депрессии, используемый в клинике. Напротив больного ставят яркую лампу, прикрытую белым матовым стеклом, и он сидит (читая, рисуя, слушая радио, медитируя) около получаса. В результате самочувствие депрессивных больных часто улучшается. Яркий свет поднимает настроение и у здоровых людей, следовательно, и он может быть профилактикой депрессивных расстройств. Поэтому не экономьте осенью и зимой на осветительных приборах.

Тридцатиминутная засветка белой флуоресцентной лампой, которая давала 10 000 люкс на расстоянии одного метра ежедневно сразу после пробуждения, на протяжении двух недель улучшила настроение у 15 пациентов, уменьшила расстройство сна и, что важно, снизила интенсивность пищевого поведения в ночное время («Psychiatry Research», 2015, 229, 1—2, 577—579. doi: 10.1016/j.psychres.2015.07.079). Обратим внимание на этот способ борьбы с ночными походами к холодильнику!

Аналогичная процедура помогает мужчинам, страдающим нарушениями половой функции. Механизм этого эффекта понятен. Высокая освещенность тормозит секрецию мелатонина, а это увеличивает секрецию гонадолиберина — центрального гормона половой системы. Восстановление же потенции, в свою очередь, очень сильно улучшает на-

1  
*Схема представления в сенсорной и моторной коре тела человека, созданная канадским нейрохирургом Уайлдером Грейвсом Пенфилдом (так называемый гомункулус Пенфилда). Чем больше информации получает мозг от определенного участка кожи, тем больше поверхность области сенсорной коры, в которую проецируется данный участок. Чем сложнее движения, выполняемые группами мышц, тем больший участок занимает управляющая ими область моторной коры*

строение мужчины. Таким образом, яркий утренний свет укрепляет наше здоровье, действуя со всех сторон.

Отметим, что гонадолиберин улучшает настроение не только вторично, повышая либидо, — он сам по себе является эндогенным антидепрессантом. Это было показано как в результате наблюдения за менопаузальными женщинами, так и в экспериментах на крысах, у которых микроинъекции гонадолиберина в ЦНС уменьшали признаки депрессивного поведения, не меняя при этом репродуктивного статуса.

А почему сеансы фототерапии проводят именно утром? Потому что в вечерние часы фототерапия депрессии неэффективна. Подвергаясь действию света ранним утром, сразу после пробуждения, мы активируем естественные ритмы нашего организма. Ведь эти ритмы основаны на солнечном ритме, на чередовании восходов и закатов. И если разница между ночью и днем незаметна глазу, то мы можем помочь нашему организму, отдергивая утром все шторы и зажигая все лампы.

Но для правильной ритмики важны не только подъемы, но и спады. Поэтому четко выделенные периоды темноты также необходимы для здоровья. Врачи полагают, что многие расстройства у детей возникают из-за того, что они, во всяком случае, городские дети, не знают, что такое полная темнота. Действительно, чтобы оказаться в полной темноте, надо не только закрыть окна плотными гардинами, но и выключить все бытовые приборы с их многочисленными индикаторами. Поэтому советы врачей выключать телевизоры и компьютеры не непосредственно перед сном, а за полтора-два часа до укладывания в постель основаны не толь-

ко на возбуждающем психику действии этих устройств, но и на вредном влиянии света от экранов.

Яркий свет в вечерние часы противопоказан не только детям, но и взрослым. По аналогии с фототерапией в утренние часы, для лечения депрессии пробавали использовать фототерапию в часы вечерние. Но такой метод оказался неэффективным, самочувствие больных даже ухудшалось. Это связано с ритмом жизнедеятельности современного горожанина, который вечером активно занимается домашними делами, включая сидение перед телевизором. Однако наш мозг, точнее, гипоталамус, получающий информацию непосредственно от сетчатки глаза, неодинаково чувствителен к разным частям спектра света. Максимальная реакция гипоталамуса отмечается при засветке сетчатки световыми волнами длиной около 450 нм, которые мы называем «голубым» светом. Падение на сетчатку этого светового диапазона можно уменьшить, если надеть очки со стеклами янтарного цвета. Оказалось, что самочувствие больных депрессией улучшалось после того, как они на протяжении двух недель проводили в таких очках два часа перед отходом ко сну. Таким образом, стимулировать наши внутренние ритмы можно (а иногда и нужно), не только добавляя света утром, но и уменьшая его количество вечером.

Практические советы по этой теме просты. С утра пораньше пусть все вокруг вас сияет и блестит; вечером же, наоборот, погасим лишние лампы и, может быть, наденем желто-коричневые очки. Такие очки сейчас легко купить, а разработаны они были для летчиков, летающих в стратосфере. Стекла с максимумом поглощения 450 нм — ведь вокруг пилота постоянно яркое голубое небо — оказались самыми комфортными.

Нельзя не сказать несколько слов о таком распространенном способе самолечения хандры, как об алкоголе. Самое важное, что нужно знать, — алкоголь, обладая стресс-протективными свойствами, не является антидепрессантом! Да, испытав некое потрясение, полезно вечером выпить (но никак не до приезда инспектора ДПС на место аварии!). Алко-

голь предотвращает формирование расстройств психики, вызванных стрессом. Однако «лечение» стойко пониженного настроения алкоголем не только бесполезно, но и ведет к алкоголизму.

## Дразнить собак и пеленать кошек

Итак, мы перечислили пять физиологических способов борьбы с депрессией: кровоупускание, мышечная нагрузка, груминг, депривация сна, фототерапия. Напоследок рассмотрим два типа антидепрессивного поведения. Первый — поведение рискованное. Необязательно оно должно быть таким экстремальным, как у персонажа Шарон Стоун в начале «Основного инстинкта-2». Можно на качелях покачаться, с горки скатиться — все равно эндогенные опиаты выделяются в нужном количестве. Этот тип поведения примечателен тем, что встречается и у прочих животных, не у одного человека. Вороны, любят скатываться с церковных куполов, дразнить кошек и собак, например дергать их за хвосты, — на YouTube полно-полно таких роликов. Дразнить кошек любят и сороки.

Значительно интереснее другой тип поведения — смещенная активность (СА). СА встречается в поведенческом репертуаре практически всех животных. Она возникает тогда, когда у животного нет готовой программы реагирования на изменения окружающей среды, другими словами, это поведенческий компонент стрессорной реакции. Груминг — одна из обычных форм СА. В любой непонятной ситуации сядь и почешись — это универсальное правило. Чаще всего СА в стрессорной ситуации возникает бессознательно: человек принимается за уборку квартиры, когда у него крупные неприятности на работе. Но СА можно проявлять и вполне осознанно. Если мы сталкиваемся с чем-то, с чем справиться не можем, недостаточно просто смириться. Надо перенести центр наших интересов в другую сферу.

Формы СА могут быть самые разные: хобби, домашние питомцы, диеты, религиозные взгляды, сам образ жизни — например, так называемые выживальщики готовятся к выживанию после глобальной катастрофы. О СА как о защитном механизме мы писали не так давно (см. «Химия и жизнь», 2014, № 8). Поэтому сейчас упомянем один из вариантов защиты от хронического стресса, возникающего из-за относительного неуспеха в профессии. Как известно, генералов единицы, а множество их однокашников так и остались полковниками, а то и капитанами. Но каждый из «капитанов» наверняка лучше всех в какой-то узкой области своей профессии. Осознание этого, смещение профессиональной гордости в эту узкую область спасают нашу психику



ЗДОРОВЬЕ

от давления, вызванного малоуспешной профессиональной карьерой. Вот что об этом рассказывает Джеймс Хэрриот в одной из своих книг. При лечении травм у кошек ветеринар должен запеленать царапающееся и кусающееся животное. Хэрриот пишет:

«Когда кошка свирепо обороняется, иного способа справиться с ней нет, и, хотя не мне это говорить, пеленать их я научился не без изящества. Цель заключается в том, чтобы превратить пациента в тугую аккуратный сверток, оставив открытой ту часть его организма, которой предстоит заняться — например, поврежденную лапу, или хвост, или (как в данном случае) голову. Мне кажется, миссис Бонд безоговорочно в меня уверовала именно в ту минуту, когда увидела, как я быстро и ловко закатал котенка в простыню, так что через считанные секунды он превратился в плотный матерчатый кокон, из которого торчала только черно-белая мордочка. Теперь Джордж был в полной моей власти и не мог оказать мне никакого сопротивления.

Я, как уже не раз намекалось, немножко горжусь этим своим талантом, и даже сейчас кто-нибудь из моих коллег нет-нет, да и скажет: «Пусть старик Хэрриот особенно звезд с неба не хватает, но уж кошек он пеленает мастерски!»»

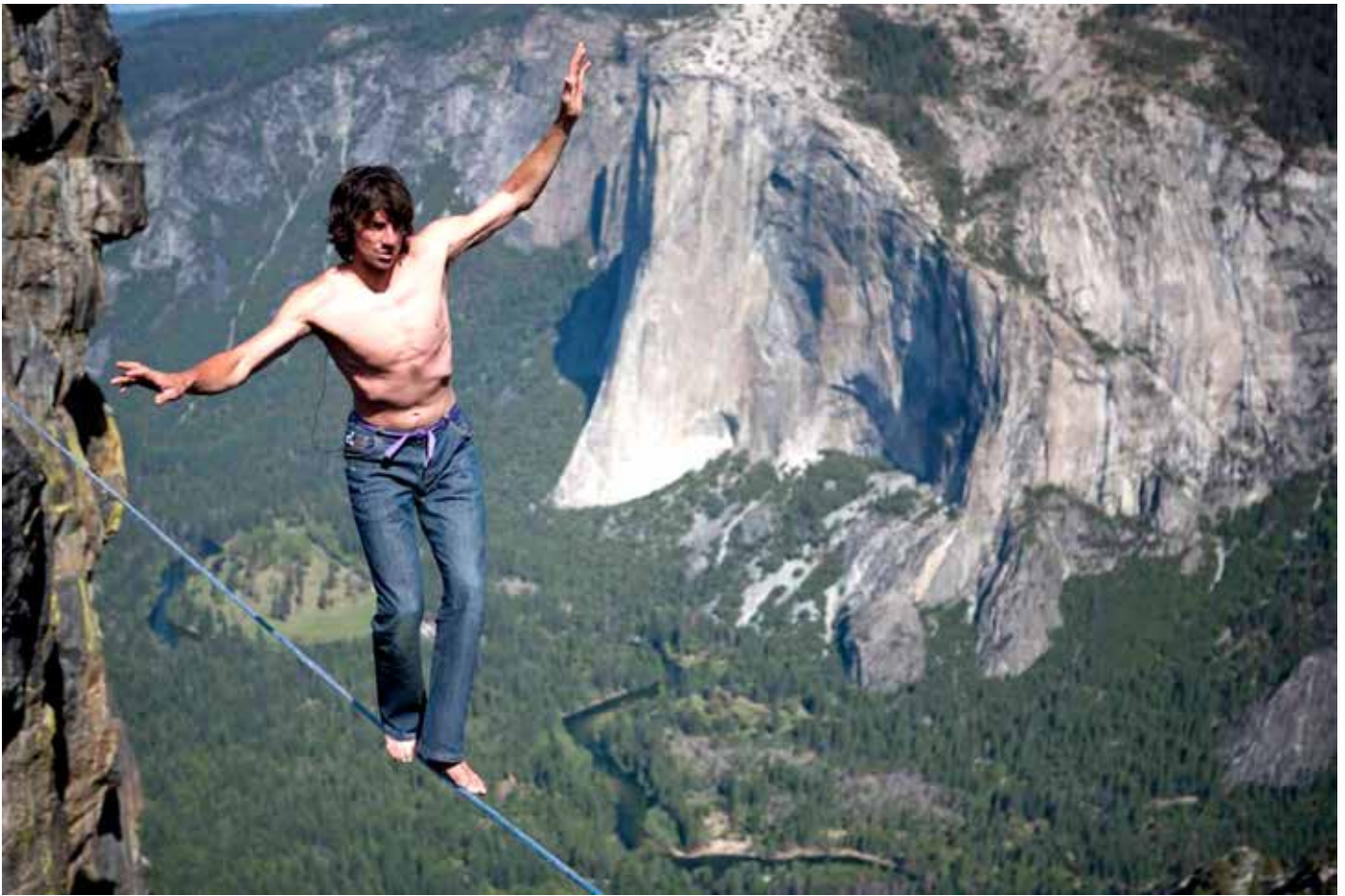
Каждый профессионал, не достигший «генеральского» положения, легко может указать на узкую область, в которой он является непревзойденным специалистом. И законная гордость этим своим профессионализмом поможет ему пережить страдания по поводу относительно невысокого места в служебной иерархии.

Способность весело, беззаботно смеяться так высоко ценится взрослыми людьми, что они готовы заплатить за нее огромную цену, как, например, в сказке Джеймса Крюса «Тим Талер, или Проданный смех» (рис. 2). Но, даже не имея способностей персонажа Павла Кадочникова, каждый человек может, применяя простые биологические способы, если не вернуть себе детскую жизнерадостность, то значительно улучшить свое настроение и самочувствие.



2  
Чтобы вернуть себе способность радоваться жизни, сатанинские способности не нужны





# Слепая воля

Кандидат биологических наук

**А.Ю.Аккизов,**

старший научный сотрудник отдела физиологии  
и патологии высокогорья

Центра медико-экологических исследований  
(филиал Института медико-биологических проблем РАН).

*Иногда мне кажется, что внутри человека присутствует необъяснимая сила, толкающая его совершать сумасшедшие поступки. <...> Меня не перестают изумлять вполне разумные и рассудительные люди, начинающие действовать иррационально.*

Лоуренс Гонсалес,  
журналист, специалист в области психологии выживания в  
экстремальных условиях

Даже профессионалы ошибаются. Когда это происходит — жди беды, особенно если ошибки случаются при штурме горной вершины. Возможно, понимание особенностей принятия решений в условиях высокогорья снизит смертность среди горовосходителей.

## Человеку свойственно ошибаться

Когда-то автор «Дон Кихота» изрек: «Наша жизнь подобна шахматной игре». Кому как не храброму Мигелю Сервантесу, искалеченному войной и измученному пленом, было извест-

но, что в этой шахматной партии иные решения имеют очень высокую цену.

Условия, в которых цена ошибки предельно высока, называют экстремальными. К ним по праву можно отнести и условия высокогорья, ведь это, по сути своей, пограничная территория: человек здесь может не только легко перейти из одного высотного пояса в другой, но и пересечь незримую границу земного бытия. Так, на «крыше мира» — горе Эверест — только в 2012 году погибло 235 высококлассных альпинистов. Это были не новички, а опытные, тщательно отобранные и хорошо натренированные спортсмены. Причем 85% из них — при спуске с уже покоренной вершины.

Можно предположить, что причина печальной статистики кроется в технической сложности маршрута. Однако нет прямой и легко просматриваемой связи между сложностью маршрута и смертностью на нем. Например, Эльбрус в техническом отношении — «легкая гора», но ежегодно забирает 20—30 жизней альпинистов и горных спасателей. При этом нет однозначного ответа на вопрос: «Почему человека тянет к покорению горных вершин?» Приходится принять как данность, что это очень по-человечески: найти вершину и стараться покорить ее, невзирая на опасность.

## Опасность на маршруте

А в чем же эта опасность состоит? Вот как пишет об этом Лоуренс Гонсалес, журналист, специалист по психологии выживания, в книге «Остаться в живых. Психология поведения в экстремальных ситуациях»: «Большинство альпинистов доходят до вершины усталыми, обезвоженными, иногда замерз-

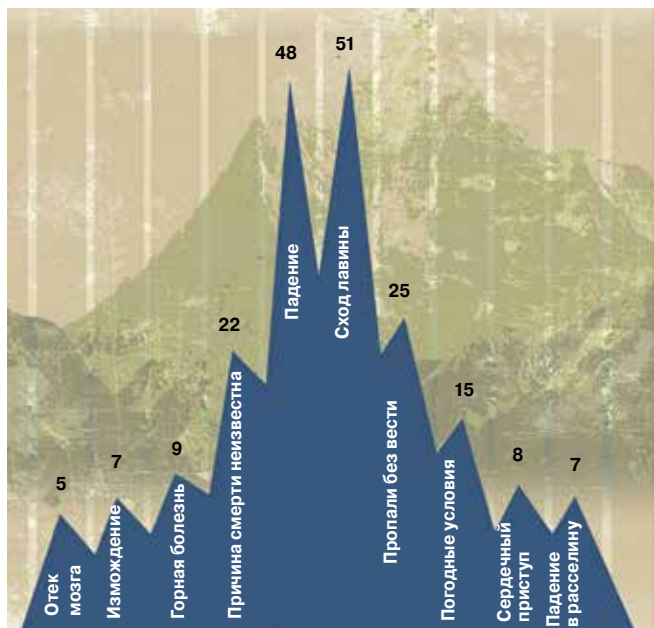
*Фото сверху: хождение по свободному канату — яркий пример экстремальных условий, когда говорят: «Жизнь висит на волоске»*



Райнхольд Месснер на вершине Эвереста

шими; у них развивается кислородное голодание, нарастает усталость, падает содержание глюкозы в крови. Даже одного из вышеперечисленных факторов было бы достаточно, чтобы сильно повлиять на физическое и моральное состояние. Все они в совокупности приводят к тому, что альпинисты могут стать неловкими и невнимательными. Шансы появления несчастных случаев резко увеличиваются. Любая такая смерть случается от сочетания ряда факторов: истощение, обезвоживание, переохлаждение, голод, травмы, — но в конечном счете причиной всех смертельных исходов в природных условиях является состояние смятения».

Конечно, возникает вопрос: неужели, опираясь на эти сведения, нельзя было как-то предупредить развитие, например, горной болезни, отека легких или отека мозга? К сожалению, вероятность возникновения таких состояний



Основными причинами гибели альпинистов, покоривших вершину, но не вернувшихся в лагерь, были явные ошибки, приведшие к падениям или попаданию под лавину (данные 2012 года)



на высоте до сих пор очень сложно прогнозировать и предупреждать. Еще сложнее предсказать изменения поведения человека на высоте.

«Они знали, что идут на смертельный риск!» — нередко можно услышать от обывателя, когда речь заходит о погибших в горах людях. Однако следует хорошо понимать, что большинство альпинистов идут прежде всего к вершине. А риск — лишь необходимое зло, которое стараются уменьшить, подготавливая себя к восхождению как к решению задачи: «покорить вершину и вернуться живым».

## Мысль, следовательно, существую

Альпинист видит признаки надвигающейся непогоды, опыт подсказывает, что надо отказаться от дальнейшего восхождения. Но все это сознательно игнорируется, и человек добровольно идет на гибель. К сожалению, это один из самых распространенных сценариев несчастных случаев в горах. То, что внизу представляется разумным, не кажется таковым на высоте. И наоборот. Высоко в горах мозг иначе воспринимает и обрабатывает информацию, по-другому интерпретируя ранее накопленный опыт. Почему так происходит?

Попробуем построить модель на основании знаний, полученных нейрофизиологами. Головной мозг — это орган, работа которого направлена на приспособление организма к окружающему миру, главный орган адаптации. В его работе можно выделить две важные системы: информационную и мотивационную. Первая реагирует на ожидаемые события (покорение вершины), а вторая — на неожиданные события (угроза жизни). Экстремальные факторы, раздражая мотивационную сферу, приводят к активным или пассивным защитным реакциям (гнев или страх). Однако в экстремальных условиях эти явления могут компенсироваться адекватным раздражением информационной сферы. Крайняя форма раздражения мотивационной сферы — паника, смятение, а информационной — преодоление препятствия любой ценой. Оба случая сопряжены с опасностью для жизни.

Когда человек осознает желание покорить вершину как очень важное, он начинает воспринимать конкурирующую потребность жить в безопасности как внутреннюю помеху. В конечном счете альпинистом движет потребность жить, покорив вершину. Но это так ровно до тех пор, пока человек не начнет действовать. Он поднимается, и вершина для него сначала служит лишь препятствием к потребности спокойно жить. А там, где на пути к потребности возникает препятствие, решающую роль играет воля — качество, которое вырабатывают в ходе тренировок и восхождений. И вот в какой-то критический момент именно воля проявляет себя как самостоятельная и самодостаточная потребность преодолевать препятствие несмотря ни на что! Покорение вершины становится самоцелью.

Критическим фактором при этом может неожиданно выступить такой слабый раздражитель, как высокогорная гипоксия. Дело в том, что именно нейроны головного мозга — основные потребители поступающего с дыханием



кислорода и кислородное голодание крайне пагубно сказывается на них. Столкнувшись с перспективой собственной гибели, мозг активизирует мотивационную систему, сообщая об угрозе жизни из-за кислородного голодания. А плохо подготовленный альпинист, следуя «слепой воле», на сигнал мотивационной системы о гипоксии отвечает чрезмерной реакцией информационной системы в виде решения покорить вершину любой ценой.

Все становится с ног на голову. Если сначала вершина была преградой к дальнейшей жизни, то теперь желание сохранить эту самую жизнь оказывается преградой к вершине. И профессионал превращается в новичка. Он поступает так, как не повел бы себя в обычных условиях. Совершает ошибки, которых не должен был совершать.

## Воспитание воли

Поскольку причина ошибок кроется не в физической, а в психологической уязвимости, впечатляющих результатов человек достигает после тщательной подготовки, учитывающей особенности функционирования головного мозга. Альпинист способен работать даже в условиях некомпенсируемой адаптации — выше 7000 м, в так называемой «зоне смерти», где кислорода критически мало, — не совершая смертельных ошибок. В истории альпинизма есть случаи таких удачных восхождений на восьмитысячники и даже на Эверест без использования кислородного оборудования. Впервые это сделали в 1978 году прирожденные альпинисты Райнхольд Месснер и Петер Хабелер, поднявшись на «крышу мира».

Всего через два года уроженец Южного Тироля Райнхольд Месснер совершил, казалось бы, невозможное: одиночное «бескислородное» восхождение на Эверест по неклассическому маршруту (через перевал Северное седло и Северо-Восточный гребень с выходом на вершину по кулуару Нортон) в разгар сезона ураганных ветров — муссонов. Вот как Месснер в книге «Хрустальный горизонт» описывает свои ощущения в момент восхождения: «Опускаюсь на снег, от усталости тяжелый, как камень. Отдохнуть хоть самую малость, забыть обо всем. Но здесь не отдыхают. Я выработан и опустошен до предела <...> Еще полчаса — и мне конец <...> От усталости не только отяжелело тело, но и мозг отказывается перерабатывать воспринимаемое <...> Пора уходить. Никакого ощущения величия происходящего. Для этого я слишком утомлен». Этот подвиг не остался без внимания общественности. Ныне Райнхольд Месснер — весьма уважаемый человек, который разместил экспозиции Музея гор в нескольких замках Северной Италии. Он занимается изучением культуры горных народов по всему миру и помогает им сохранить свою самобытность.

Райнхольд Месснер своим примером показал, что возможности человеческого организма очень велики, а сотни альпинистов подтвердили это. Вот сухие цифры: с 1992 по 2006 год без кислородной маски на вершину Эвереста поднялось 144 альпиниста! Для сравнения: с кислородом — 2972 человека.



*Эльбрус — высочайшая вершина Европы. Двуглавый красавец занимает пятое место в списке двадцати шести горных вершин, которые наиболее опасны для российских альпинистов*

В 2008 году альпинист Ули Штек по прозвищу Швейцарская Машина совершил восхождение на вершину горы Эйгер, которая при высоте всего каких-то 3970 м входит в пятерку самых опасных вершин мира. Уникальность этого восхождения в сочетании всех мыслимых экстремальных факторов. Судите сами. Оно было предпринято 1) зимой, 2) в одиночку, 3) без страховки, 4) по наиболее сложному маршруту — обледенелой, лавиноопасной, местами отвесной Северной стене. Это было восхождение в «альпийском стиле», «с ходу» — без остановок от основания горы и до вершины. И пожалуй, самое поразительное — время восхождения: 2 часа 47 минут! К слову, «великолепная двойка», упоминавшиеся выше Месснер — Хабелер, в 1974 году прошла этот же маршрут за 10 часов. И рекорд продержался до 2004 года.

Как выяснилось, мировой рекорд Штека оказался закономерным результатом программы тренировок, разработанной группой экспертов швейцарского Федерального института спорта в Магглингене. Особенности таких программ — это тайна за семью печатями. Как сказал сам Ули Штек: «В жизни есть свои секреты. Я никому не рассказываю о своих психологических методах и остальных деталях [тренировок]». Остается только верить тому, что специальная диета, комплекс аэробных упражнений, а также психотренинг и обеспечили ту феноменальную физическую выносливость и непоколебимое спокойствие, которые продемонстрировала Швейцарская Машина.

Альпинизм — это всегда риск. Однако важно чувствовать грань, за которой он перестает быть оправданным. Профессионалов, совершивших, казалось бы, невозможное и выживших, отличает именно эта черта. Поэтому каждому, кто хочет вернуться из экстремального путешествия, наряду с физической тренировкой необходима серьезная психофизиологическая подготовка.

Научно-технический прогресс неизбежно будет сталкивать человека с необходимостью принимать решения в условиях дефицита разнообразных ресурсов. Возможно, и в условиях недостатка кислорода. И наука о работе мозга открывает в этом направлении весьма многообещающие перспективы.



**Форма и электричество**

*Электроток сильно снижает температуру размягчения стекла.*

«Applied Physics Letters», 3 ноября 2015 года; doi: 10.1063/1.4934945

Как-то на конференции профессор Симансу Джейн из университета Лехай услышал, что Риши Радж, его коллега из Колорадского университета, с помощью электричества существенно снижает температуру, необходимую для размягчения керамических порошков, то есть экономит немало энергии при их прессовании. Во время кофе-брейка оба материаловеда разговорились и придумали совместный проект по изучению влияния электротока на свойства стекла. Серия опытов показала, что, действительно, стекло в этом смысле ничем не отличается от керамики — под действием тока оно размягчалось при гораздо меньшем нагреве, чем обычно. Наблюдали и необъяснимое явление: порой образец начинал светиться, а затем испускал дым и разрушался, хотя, казалось бы, основа стекла — диоксид кремния — гореть не может.

Эффект легко найдет применение: повышая пластичность с помощью тока, можно сэкономить немало энергии, которая расходовалась на размягчение стекла перед формированием изделия. Кроме того, ток можно подводить к определенному месту, которое и надо деформировать. Это можно использовать, в частности, для формирования стеклянных микроштампов или получения наноструктур.

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

**Сварка взрывом**

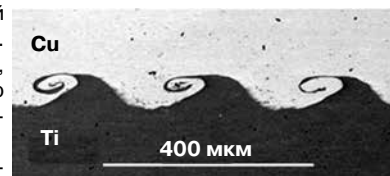
*Электровзрыв алюминиевой фольги соединит металл намертво.*

Агентство «NewsWise», 29 октября 2015 года

Металлические детали хорошо соединять сваркой. Однако сварной шов — как правило, то самое место, где прочность металла меньше. Кроме того, отнюдь не все металлы можно сварить между собой. Например, нелегко приварить алюминиевый кузов к стальной раме. А многим этого хотелось бы, ведь, скажем, такой автомобиль был бы и легче, и меньше подвержен коррозии.

Обычно для сваривания несвариваемого применяют точечную сварку, расплавляя металл в нескольких точках: при этом не образуется протяженного шва, ослабляющего всю конструкцию. Но материаловеда ищут все новые способы.

Один из них — сварка взрывом. Вот как она выглядит в интерпретации Гленна Дайена из Огайского университета. Свариваемые детали обертываются алюминиевой фольгой и пропускают через нее мощный импульс электротока, генерируемого суперконденсатором. Ток мгновенно нагревает фольгу, и та испаряется, фактически взрывается. Сила взрыва такова, что куски металла устремляются навстречу друг другу с огромной скоростью и соединяются намертво своеобразными вихрями материи (см. фото). На такой взрыв расходуется немного энергии, поскольку нет нужды расплавлять большие количества металла; не портится от нагрева и структура материала в районе шва. Сам же шов получается прочнее, чем материал по соседству. Таким способом сталь можно сварить не только со сталью, но и с титаном или алюминием.



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

**Датчик на пчелу**

*О здоровье роя скоро можно будет судить по жужжанию пчел.*

Агентство «NewsWise», 29 октября 2015 года

Обычно пасечник по нескольку раз в месяц залезает в улей к пчелам, чтобы проверить их состояние: вылечить от болезней, надставить рамки для сот или удалить зародившихся нектати маток, которые могут увести из улья часть семьи. Естественно, пчелы вмешательству в их жизнь не рады, они волнуются, могут покусать окружающих и снизить заготовку меда. Есть, правда, так называемое колонное пчеловодство, когда улей делают не в форме ящика, а глубокого дупла: туда пчеловод заглядывает от силы два раза в год, никаких рамок не надставляет. Но и ему полезно знать, когда пчелы заполняют сотами весь объем колоды: после этого они могут улететь прочь.

Чтобы дать пасечникам инструмент контроля пчелиной семьи, инженеры из ноттингемского Трентского университета во главе с Мартином Бенксиком решили использовать акустические датчики. Они разместили в экспериментальных ульях Англии и Франции по два датчика — один в центре сот, а второй на 7 см ниже — и стали следить за звуками, которые издавали пчелы, с июля по ноябрь в Англии и с апреля по октябрь во Франции. Пчелы на датчики внимания не обращали, наполняли соты медом, пыльцой и исправно жужжали. С наступлением холодов жужжание предсказуемо снизилось. Исследователям удалось зафиксировать в жужжании и суточные ритмы. Сейчас они анализируют данные из Франции, где подопытные пчелы несколько раз роились, с тем чтобы выявить индикаторы этого события. Бенксик, чей отец более полувека содержал пчел, надеется, что датчики позволят пасечникам следить за своими подопечными, совершенно не тревожа их.



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

**Уловитель для CO<sub>2</sub>**

*Создан материал, способный выловить углекислый газ из влажного воздуха.*

Агентство «AlphaGalileo», 15 октября 2015 года

Есть разные технологии улавливания углекислого газа без помощи живых организмов. Например, если пропустить газы, выбрасываемые трубами электростанции, через раствор хлорида кальция, выпадет карбонат кальция, который потом можно разложить, вернув кальций в оборот, а углекислый газ отправить на переработку. А можно попытаться собрать углекислый газ сорбентом, чтобы потом опять-таки его выделить, отправить на переработку, а сорбент вернуть в дело. До недавнего времени хорошего сорбента не было: как правило, молекулы углекислого газа прилипают к тем же активным местам, что и молекулы воды, а влаги в воздухе содержится несравнимо больше, чем CO<sub>2</sub>.

Международная группа исследователей сумела создать сорбент, в котором влага и углекислый газ садятся на разные активные места. Его назвали SGU-29 в честь корейского университета Соган, где материал обрел окончательную форму. Основой же послужил кристаллический силикат меди. «Сорбент — самая трудная часть работы. Теперь она позади, а впереди — технологии переработки углекислого газа. Лет через пять мы закончим работу», — говорит участник исследования профессор Осаму Тerasаки из Стокгольмского университета.

Впрочем, углекислый газ надо извлекать не только из выбросов завода или электростанции. В воздухе жилых и офисных помещений избыток углекислого газа тоже нежелателен. Интересно было бы узнать, может ли новый сорбент пригодиться и тут.

# Общение микробов

Доктор биологических наук

**Е.О.Пучков,**

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К.Скрябина РАН

*Светлой памяти  
моего друга Миши Ершова.*

**П**режде всего следует уточнить, о каких микробах пойдет речь. Дело в том, что микробами или микроорганизмами с давних времен называли все живые существа, видимые только под микроскопом (рис. 1). Постепенно список обнаруженных обитателей микромира расширялся, параллельно шли их изучение и таксономическая классификация. К настоящему времени термин «микробы» объединяет самые разные организмы: бактерии, археи, микроскопические грибы (и их дрожжевая форма, то есть одноклеточная, в отличие, например, от гифальной — нитчатой), простейшие, микроводоросли. Некоторые авторы относят к микробам и микроскопических животных, например коловраток, а также вирусы. Различия между членами этого весьма формального объединения так велики, что каждого из них изучает своя наука: альгология — микроводоросли, протозоология — простейших, зоология — микроскопических животных, вирусология — вирусы, микология — грибы. Бактерии, археи и одноклеточная форма микроскопических грибов — объекты микробиологии. Вот о химической коммуникации у микроорганизмов этих трех групп и пойдет речь.

С легкой руки авторов первого научного обзора в этой области (Kaiser D., Losick R. «How and why bacteria talk to each other» — «Как и почему бактерии разговаривают друг с другом», «Cell», 1993, 73, 5, 873—885) коммуникативные химические взаимодействия микроорганизмов исследователи даже в специализированных научных публикациях стали называть «разговорами» или «общением». См., например: Winzer, Hardie, Williams, «Current Opinion in Microbiology», 2002, 5, 2, 216—222, «Bacterial cell-to-cell communication: sorry, can't talk now — gone to lunch!» (Общение между бактериальными

клетками: извини, сейчас говорить не могу, ушел на обед!); McNab, Lamont, «Journal of Medical Microbiology», 2003, 52, 7, 541—545, «Microbial dinner-party conversations: the role of LuxS in interspecies communication» (Разговоры микробов на вечеринке: роль LuxS в коммуникации между видами); Hogan, «Eukaryotic Cell», 2006, 5, 4, 613—619, «Talking to themselves: autoregulation and quorum sensing in fungi» (Разговаривая сами с собой: авторегуляция и quorum sensing у грибов).

## Многоклеточная жизнь одноклеточных

В естественной среде обитания жизнь микробных клеток протекает в сообществах, которые могут отличаться по плотности популяций: от планктонных форм и небольших конгломератов в водных средах до колоний, биопленок и матов на твердых поверхностях. Еще одна особенность микробных сообществ, как и всего мира микробов, — большое генетическое и метаболическое разнообразие составляющих их видов.

Существует универсальный закон природы, который наиболее кратко сформулировал индейский народ хайда, проживающий на территории Канады и США: «Все зависит от всего остального». Поэтому естественно ожидать, что в моно- и полимикробных объединениях возникнут межклеточные взаимодействия: физические контакты, химическое взаимовлияние. Однако в силу того же закона химические взаимоотношения микроорганизмов настолько многообразны и так переплетены, что изучение отдельных реакций — непростая задача.

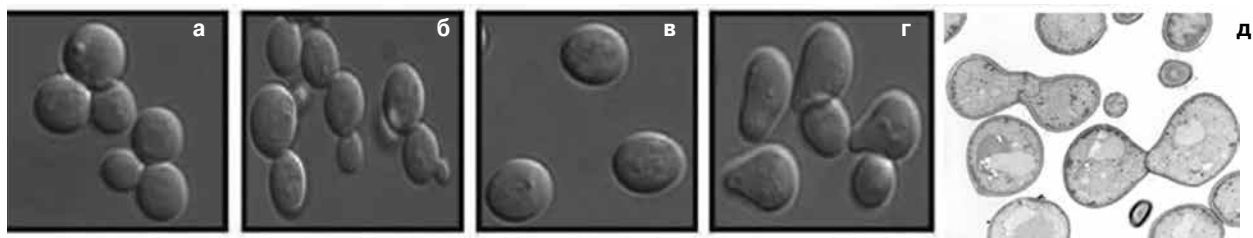
Тем не менее удалось установить, что часть химических взаимодействий имеет определенную специфичность. Так, их можно разделить на антагонистические и коммуникативные. Антагонистические — это, например, секреция антибиотических веществ, подавляющих размножение конкурентных видов. При коммуникативных взаимодействиях секретлируемые вещества вызывают модуляцию метаболизма участников, после чего меняются их свойства и/или поведение.

Первыми привлекли внимание исследователей антагонистические отношения между микроорганизмами. Еще Луи Пастер отметил, что это явление, возможно, удастся использовать для борьбы с болезнетворными бактериями. Действительно, были обнаружены и получены для медицинских целей продуцируемые бактериями и грибами антибиотики. Установлено, что некоторые бактерии синтезируют бактериоцины — (поли)пептиды, обладающие антибактериальной активностью с узким спектром действия. Известны так называемые полипептидные киллер-токсины — их выделяют дрожжевые формы некоторых грибов. Несмотря на грозное название, эти вещества специфически поражают только чувствительные клетки того же вида или близкого рода грибов. Противогрибковой активностью обладают также и некоторые секретлируемые дрожжевыми грибами гликолипиды.

О существовании коммуникативных межклеточных взаимодействий в мире микробов стало известно сравнительно недавно...



1  
«Охота на микробов. Год 2000». Открытка начала XX века



2  
Микрофотографии пекарских (винных) дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в световом (а—г) и в электронном (д) микроскопе. В популяции имеются диплоидные и гаплоидные клетки. Диплоидные делятся почкованием (а, б). Гаплоидные клетки (в) бывают двух типов а и с. Спариваются только клетки разных типов, а перед этим приобретают характерную форму — становятся похожими на матрешек (такие клетки называются шму; фото г). Спаривание происходит при слиянии шму (д). Слившиеся клетки образуют зиготу, которая может развиваться как диплоидная клетка или пройти мейоз и дать начало гаплоидным клеткам



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

...И было это так

В 1956 году в журнале «Nature» была опубликована небольшая заметка, в которой сообщалось о взаимовлиянии без непосредственного контакта перед спариванием (англ. mating) двух клеточных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* противоположного типа спаривания (рис. 2; подробно о том, как дрожжи делают это, мы поговорим дальше). Было высказано предположение, что реакцию спаривания регулируют некие «гормоны», секретируемые клетками. Вскоре это заключение получило экспериментальное подтверждение, а индукторы спаривания изолировали в чистом виде. Так были заложены основы обширного научного направления — исследований межклеточной коммуникации при спаривании у разных видов дрожжей. Молекулы, запускающие эти и другие межклеточные реакции, стали называть феромонами, по аналогии с сигнальными веществами многоклеточных животных.

Первые указания на то, что бактериальные клетки специфически воздействуют друг на друга химическими факторами, были получены в 1960-х годах. Стало известно, что стрептококки и бациллы выделяют в среду, в которой их культивируют, соединения пептидной природы, обеспечивающие переход клеток в состояние компетентности для генетической трансформации (такие клетки готовы поглощать ДНК из среды, чтобы приобрести новые, возможно, полезные гены). Позднее некоторые из них были выделены и химически охарактеризованы.

Уникальное явление среди бактерий — жизненный цикл семейства *Mycobacteriaceae*, в котором доминирует «социальное» поведение. На стадии вегетативного развития клетки миксококков питаются другими бактериями, перемещаясь и атакуя их большими группами. При голодании на плотной

среде клетки начинают координированно двигаться в одном направлении и образуют скопления — так называемые плодовые тела (рис. 3). В плодовых телах часть клеток дифференцируется в сферические споры, устойчивые к нагреванию и высушиванию. В 1962 году была разработана методика, которая позволила смешивать мутантов с различными дефектами формирования плодовых тел и клетки дикого типа. С помощью этой методики удалось установить, что для формирования плодового тела необходимы специальные вещества, секретируемые клетками, а затем идентифицировать пять таких веществ.

В начале 1970-х у люминесцирующих бактерий *Photobacterium* (ныне *Vibrio*) *fischeri* и *Benickea* (*Vibrio*) *harveyi* (рис. 4) была обнаружена активация биосинтеза люциферазы по мере увеличения концентрации клеток в среде. Исследователи предположили, что бактерии выделяют в среду специфические вещества — аутоиндукторы. Вскоре эти вещества были выделены и определена их структура, а само явление назвали

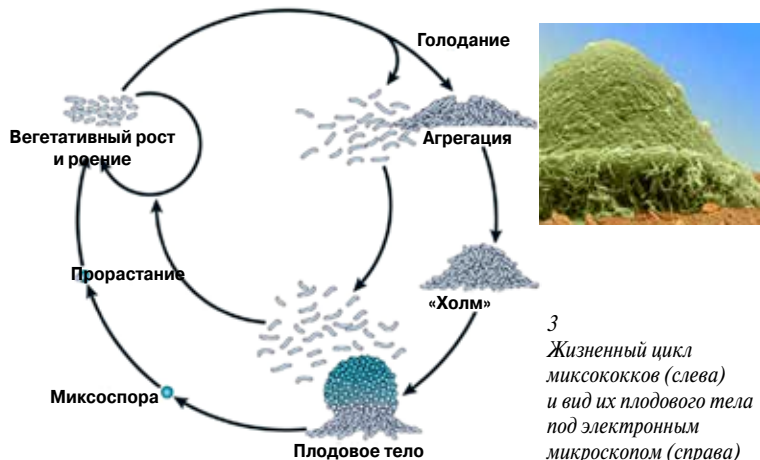


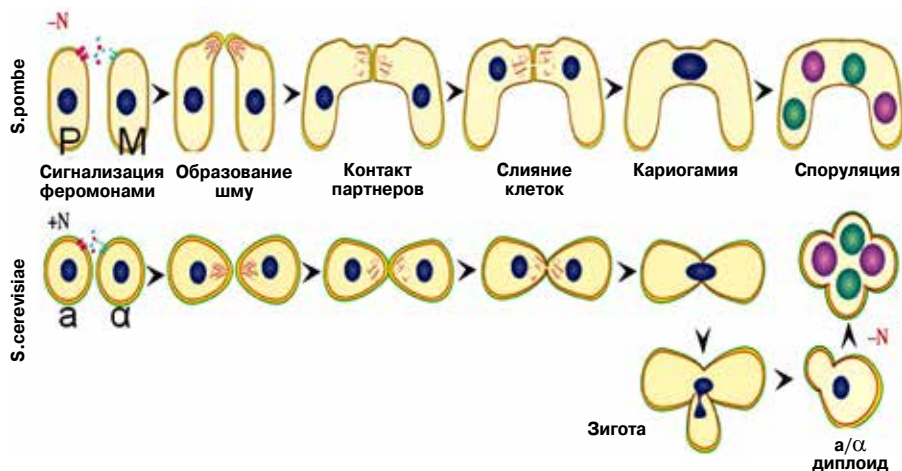
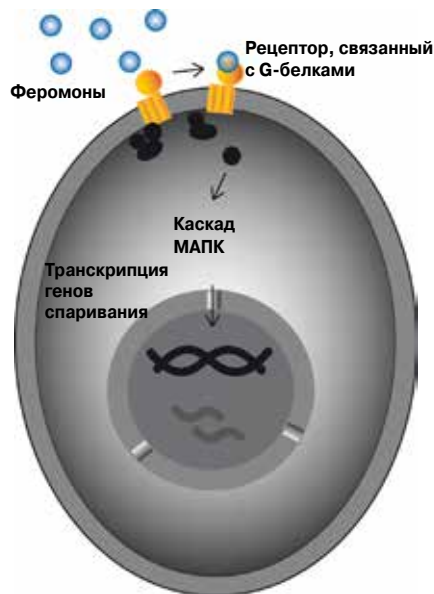
4  
Люминесцирующие бактерии *Photobacterium* (*Vibrio*) *fischeri* и *Benickea* (*Vibrio*) *harveyi* — симбионты гавайского короткохвостого кальмара *Euprymna scolopes* (слева). В чистой культуре (справа) они заметно люминесцируют только при достижении определенной концентрации клеток

*quorum sensing*, что можно перевести как «чувство кворума». (Далее это выражение будет использоваться без перевода, как термин, подобно латинским *in vitro*, *in situ* и т. п.) Когда концентрация клеток достигает определенного уровня («кворума»), концентрация аутоиндукторов становится достаточной, чтобы запустить синтез люциферазы и соответственно свечение во всей популяции.

В уже упомянутом обзоре Кайзера и Лозика аутоиндукция у люминесцирующих вибрионов рассматривалась наряду с другими проявлениями «коллективного» поведения у бактерий *Mycobacterium xanthus*, *Bacillus subtilis*, *Streptomyces* spp., а также у слизевика *Dictyostelium discoideum*. При этом авторы проводили аналогию с межклеточными сигнальными реакциями у многоклеточных организмов, обеспечивающими регуляцию дифференциации, поведения и морфогенеза.

С тех пор интерес к проблеме межклеточной коммуникации у микроорганизмов, в особенности к *quorum sensing*, стремительно растет. Исследования развиваются как вширь — увеличивается список микроорганизмов, у которых выявлены коммуникативные отношения, так и вглубь — изучаются их молекулярные механизмы.





6  
Схема спаривания гаплоидных клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и *Schizosaccharomyces pombe*. (По: «Open Biology», 2013, 3, 130008. doi: 10.1098/rsob.130008)

5  
Схема сигнализации при спаривании у аскомицетных дрожжей

Однако результаты практически всех работ по изучению коммуникативных отношений у микробов получены *in vitro*, на изолированных культурах. Поэтому со временем возникли два вопроса: в какой мере эти реакции проявляются в природных условиях и какие из них следует считать сигнальными?

## Сигнализация или не сигнализация

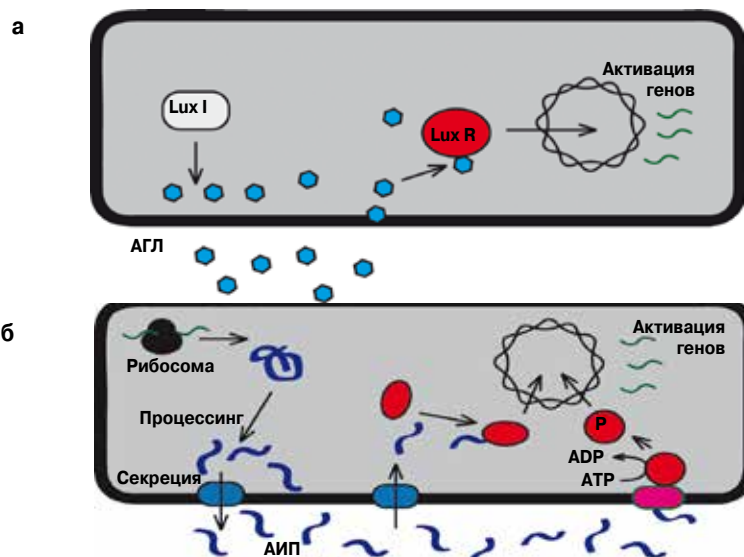
В отношении сигнализации и сигнальных молекул у микроорганизмов сформировалось две позиции, которые условно назовем «либеральной» и «радикальной». Сторонники «либеральных» взглядов считают, что к сигнальным можно отнести любые природные соединения, в том числе микробного происхождения, способные в низких концентрациях вызывать модуляцию транскрипции. В частности, известно, что некоторые антибиотики в низких концентрациях могут модулировать метаболизм микроорганизмов, не подавляя

их размножения; в рамках «либеральной» концепции такие антибиотики — сигнальные молекулы. Взаимодействие бактерий и клеток хозяина-эукариота с участием тех или иных химических факторов также рассматривается как сигнализация между царствами — есть указание на наличие подобных взаимодействий у бактерий с млекопитающими и растениями.

«Радикальная» позиция строится на принципах биологической (эволюционной) целесообразности. Прежде всего ее сторонники предлагают разделить секретлируемые коммуникативные вещества на три типа: сигнальные (англ. signal), стимуляторы (cue) и «принудители», или «химические манипуляторы» (coercion). Важным отличием сигнальных молекул считается то, что они возникли в ходе совместной эволюции передающих и принимающих клеток. Сигнальные молекулы переносят информацию, которая вызывает изменения в клетках-реципиентах, благоприятные для развития обоих партнеров. Кроме того, у них выделяются следующие отличительные признаки: 1) ответ, который они вызывают, отличается от физиологических сдвигов, необходимых для

у бактерий существует два наиболее распространенных типа сигнальных молекул *quorum sensing*. У грам-отрицательных видов (а) их чаще называют автоиндукторами, и они представляют собой различные N-ацилпроизводные гомосеринлактона (АГЛ), которые синтезируются синтазой LuxI-типа. АГЛ способны проникать через цитоплазматические мембраны, поэтому синтезированные внутри клеток молекулы выходят в среду, накапливаются и возвращаются по градиенту концентрации в клетки. Там они связываются с цитоплазматическими белками LuxR-типа — регуляторами транскрипции *quorum sensing* генов, обеспечивающих синтез автоиндукторов и молекулярных компонентов для физиологического ответа.

Второй тип сигнальных молекул выявлен у грамположительных бактерий (б) — короткие посттрансляционно модифицированные пептиды (автоиндукторные пептиды, АИП). Их выводят из клеток специальные транспортные системы, локализованные в цитоплазматических мембранах. Сигнал



они передают двумя путями. Первый — через гистидинкиназу на мембране. Связывание АИП с рецепторным компонентом фермента сопровождается его автофосфорилированием, после чего фосфатная

группа передается непосредственно или через посредников (в зависимости от вида бактерий) фактору транскрипции, который и модулирует соответствующие гены *quorum sensing*. Второй путь обеспечивается

метаболизирования или детоксикации данных молекул; 2) их распознают специфические рецепторы клеток-реципиентов; 3) они синтезируются на определенных стадиях развития, при определенных физиологических условиях, и их накопление вызывает согласованный отклик во всех клетках популяции в виде изменения метаболизма после достижения пороговой концентрации.

Есть два типа коммуникативных реакций — индукция спаривания у аскомицетных дрожжей и *quorum sensing* у бактерий, которые считают сигнальными сторонники обеих позиций, поэтому их иногда называют «каноническими».



## Спаривание у дрожжей

Это явление лучше всего изучено у аскомицетных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и *Schizosaccharomyces pombe* прежде всего потому, что оба вида давно и успешно служат моделями клеток высших эукариот. Спаривание у дрожжей сопровождается мейозом: клетки из диплоидных превращаются в гаплоидные, а при слиянии их восстанавливается диплоидность. Очевидно, в этом и состоит биологическая целесообразность полового процесса у дрожжей — он обеспечивает комбинационную изменчивость вида. Хотя дрожжи *S. cerevisiae* и *S. pombe* сравнительно давно разошлись в ходе эволюции и заметно различаются по всем основным биологическим свойствам, принципиальная схема механизмов, обеспечивающих спаривание, у них имеет много общего (рис. 5 и 6).

Гаплоидные клетки противоположного типа спаривания (MATa и MATα у *S. cerevisiae*, P и M у *S. pombe*) секретируют сигнальные пептидные молекулы — феромоны (факторы a и α у *S. cerevisiae*, P и M у *S. pombe*), которые взаимодействуют с рецепторами на поверхности партнеров. Это активирует связанные с рецепторами G-белки, которые, в свою очередь, способствуют активации фермента митоген-активируемой протеинкиназы (МАПК). С этого момента начинается внутриклеточная передача сигнала: протеинкиназа фосфорилирует белки-мессенджеры — присоединяет к ним фосфатные группы. Они становятся факторами транскрипции, то есть белками, которые регулируют активность других генов, в данном случае многочисленных генов спаривания. В результате

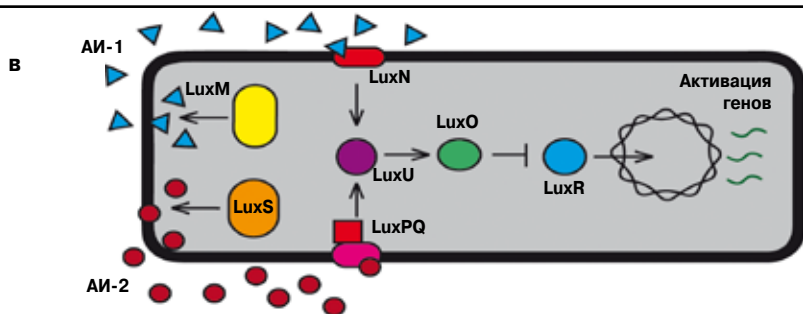
клеточный цикл останавливается, индуцируется образование шму, клетки-партнеры сливаются, затем сливаются их ядра, формируется диплоидная зигота. После этого у *S. cerevisiae* образуются либо диплоидные клетки в результате митоза, либо (в условиях голодания по азоту) гаплоидные споры за счет мейоза. У *S. pombe* мейотическое деление зиготы приводит к образованию гаплоидных спор.

Молекулярные детали этого сложнейшего механизма уже сравнительно хорошо изучены. Познакомьтесь с ними, а также с нерешенными вопросами можно в научном обзоре, ссылка на который дана в подписи к рис. 6.

## Quorum sensing

Межклеточная сигнализация по механизму *quorum sensing* к настоящему времени описана у многих видов бактерий и некоторых дрожжевых форм грибов. Есть данные, указывающие на то, что она существует у архей.

Биологическая целесообразность *quorum sensing* в большинстве случаев предположительно заключается в следующем. Учитывая энергетические затраты, микроорганизмам имеет смысл включать некоторые направления метаболизма только тогда, когда результат может быть достигнут при условии коллективных однонаправленных действий группы клеток. Установлено, что к таким физиологическим реакциям относятся генетическая трансформация у стрептококков, энтерококков и бацилл, биолюминесценция у люминесцирующих вибрионов, спорогенез у бацилл, образование биопленок



системой транспорта пептидов, через которую АИП могут возвращаться в клетки, связываться с факторами транскрипции и модулировать активность *quorum sensing* генов, ответственных за образование АИП и осуществление физиологического отклика. Однако, как любят выражаться специалисты в этой области, химический лексикон межклеточного общения у микроорганизмов не ограничивается только этими двумя «словами» (типами молекул). Известны и другие вещества, которые используют микроорганизмы для внутривидовой межклеточной сигнализации.

Особую роль в изучении *quorum sensing* сыграли обнаружение и характеристика трех систем *quorum sensing* у морских люминесцирующих грамотрицательных бактерий *Vibrio harveyi* (в). Здесь все оказалось необычно. Во-первых, удивителен сам факт существования в клетках одного вида сразу трех систем *quorum sensing*, которые могут функционировать одновременно и контролировать работу генов, ответственных не только за биолюминесценцию, но и за другие процессы: секрецию III типа, синтез металлопротеаз и сидерофоров. Во-вторых, молекуляр-

ная организация одной из систем представляет собой своего рода комбинацию систем грамположительных и грамотрицательных бактерий. Автоиндуктор в ней — АГЛ (*N*-(3-гидроксибутаноил) гомосеринлактон) синтезируемый ферментом LuxM, а его первичный сенсор — рецептор с киназной активностью LuxN. Его называют автоиндуктором первого типа, АИ-1. В-третьих, автоиндуктор другой системы (CAI-1), 3-гидрокситридекан-4-он, а также компоненты его синтеза и рецепции (не показан на рисунке) обнаружались у патогенного для человека *Vibrio cholerae* и некоторых морских бактерий. Но главный герой в этой истории — система с автоиндуктором второго типа (АИ-2), S-2-метил-2,3,3,4-тетрагидрокситетрагидрофуранборатом. Это продукт синтеза с участием фермента LuxS, а рецептором для него служит LuxPQ, бинарный компонент с киназной активностью. Ген LuxS и АИ-2 не видоспецифичны — они найдены у многих бактерий, и есть гипотеза, что они используются для межвидового общения.



и биосинтез антибиотиков у бактерий, образование плодовых тел и спорогенез у миксококков, экспрессия факторов вирулентности у бактерий и дрожжевых форм грибов. Всем этим не стоит заниматься в одиночку: результат окупит затраты энергии только в том случае, если много клеток будут делать то же самое. Свечение небольшого количества вибрионов в тканях кальмара слишком слабо, чтобы его заметили, концентрация антибиотика в среде слишком низкая, чтобы подавить размножение конкурента, если антибиотик выделяет мало клеток, и т. п.

Для принятия решения — запускать или не запускать такие энергоемкие процессы — клетки зондируют окружающую среду, синтезируя и выпуская туда сигнальные молекулы. В разных системах их называют автоиндукторами либо феромонами. Когда их концентрация достигает определенного уровня — что возможно либо при увеличении концентрации клеток, либо при наличии некоего диффузионного барьера (например, когда бактерии заключены в эндосомах клеток хозяина), либо и того и другого, — вся популяция клеток воспринимает это как сигнал для специфических изменений экспрессии генов.

Молекулярные механизмы *quorum sensing* изучены достаточно подробно (см. врез на предыдущей странице). Для дальнейшего рассказа нам важен в первую очередь так называемый автоиндуктор второго типа — АИ-2. Все дело в том, что ген *luxS*, кодирующий фермент LuxS, который отвечает за синтез АИ-2, и само это вещество были обнаружены у многих бактерий разных таксономических групп, как грамположительных, так и грамотрицательных. Это породило предположение о том, что автоиндуктор АИ-2 — универсальная молекула межвидовой сигнализации, в терминах «межклеточного общения» — своего рода интернациональное слово, существующее во всех языках. Так родилась...

## Гипотеза «своих» и «чужих»

Согласно этой гипотезе, у бактерий может быть два варианта межклеточной сигнализации в формате *quorum sensing*. Первую осуществляют высокоспецифичные системы, использующие в качестве сигнальных молекул АГЛ и АИП, — это внутривидовая сигнализация, которая позволяет клеткам контролировать концентрацию «своих». Второй вариант, основанный на производстве и детекции АИ-2, служит для межвидовой сигнализации — с его помощью клетки оценивают наличие и концентрацию «чужих» в своем окружении. Гипотеза послужила стимулом к поиску и изучению межвидовых взаимоотношений микробов в различных сообществах. Описаны многочисленные примеры, скажем осторожно, взаимовлияния через различных химических посредников между бактериями разных видов, а также между бактериями, грибами, растениями и млекопитающими.

Следует отметить, что эта гипотеза не раз подвергалась критическому рассмотрению, особенно в той части, которая касается межвидовой сигнализации с участием АИ-2. По мнению сторонников «радикального» представления, имеющихся экспериментальных данных недостаточно, чтобы

считать АИ-2 сигнальной молекулой. Фермент LuxS, синтезирующий АИ-2, действительно найден у разных бактерий, но проблема в том, что он участвует в метаболическом цикле активированного метила. Поэтому в экспериментах по изучению роли этого фермента в межвидовом взаимодействии трудно отличить сигнальную реакцию, связанную с модуляцией транскрипции, от прямого влияния на метаболизм. Открытым в большинстве случаев остается и вопрос о том, в какой мере взаимодействие клеток разных видов с участием АИ-2 выгодно обоим и может ли оно быть результатом их совместной эволюции. Учитывая эти и некоторые другие аргументы, молекулы, ответственные за кооперативное межвидовое взаимодействие бактерий, пока предлагается относить к категории стимуляторов (*cue*), а не сигнальных.

Дебаты относительно роли системы LuxS/АИ-2 в межклеточной коммуникации бактерий и точного термина, который следует к ней применять, весьма важны. Исследований химической природы «социального» поведения микроорганизмов все больше, и необходим критический взгляд на них. И конечно же нужно договориться о терминах, чтобы не называть принципиально разные явления одним и тем же словом.

## Заключение

Изучение межклеточной коммуникации в мире микроорганизмов — быстро развивающаяся многоплановая междисциплинарная область. Мы лишь коротко представили основные черты ее наиболее крупных направлений. Есть и другие направления, пролегающие рядом с «магистральными путями», что, однако, не умаляет ни их достоинств, ни значимости. Это исследования так называемых бактериальных цитокинов, или, в другой терминологии, факторов, ускоряющих оживление (*англ.* *resuscitation-promoting factors*), низкомолекулярных ауторегуляторных факторов, а также регуляции аммиаком развития клеток дрожжей в колониях.

Особую значимость исследованиям сигнальных межклеточных отношений у микроорганизмов придает то, что они создали новый базис для решения многих фундаментальных и прикладных проблем. Наметилась тенденция смены одной из основных парадигм микробиологии, согласно которой жизнеспособность каждой микробной клетки обеспечивается исключительно ее индивидуальными свойствами. Все очевиднее существенная, а в ряде случаев определяющая роль в жизни микробов кооперативного, «социального» поведения. Есть указания на то, что феномен «некультурируемости» в лаборатории многих микроорганизмов из природных образцов может быть связан с межвидовой сигнализацией. Изучается также эволюционное значение *quorum sensing*: возможно, это был один из первых шагов в появлении многоклеточных. Предлагается использовать *quorum sensing* у бактерий в качестве модели для изучения эволюционных аспектов социального поведения в биологии. Большие надежды связывают с разработкой новых антимикробных средств на основе ингибиторов систем *quorum sensing*, ответственных за факторы вирулентности у патогенных для человека и животных бактерий. Это направление особенно актуально из-за стремительно возрастающего числа устойчивых к антибиотикам патогенов. В биотехнологии уже нашли применение основанные на компонентах *quorum sensing* системы для производства биохимических препаратов, создания искусственных тканей и биосенсоров, ферментации с использованием смешанных микробных культур. А специалисты, работающие в этой области, единодушно признают, что главные практические результаты изучения межклеточного общения микробов еще впереди.



# Кино по кругу

Алексей Дуров

## НАНОФАНТАСТИКА

Что бы сегодня посмотреть? Так много хороших фильмов. Настроение было на что-нибудь старое, классическое, но ведь и такого хватает. Перебирал, сомневался. Возле кинотеатра вариантов осталось два: «Огни большого города» и «На гребне волны», и то, и то хотелось. Однако больше одного сеанса за раз — вредно. И по фильму в день тоже нежелательно, но разве удержишься.

Положился на судьбу — подбросил монетку. Выпало «На гребне волны». Перерешить, что ли? Нет, лучше насладиться бессмертным творением Чарли Чаплина завтра. Не надо будет мучительно выбирать — уже хорошо.

И вот наконец-то расположился в кресле перед монитором, поставил стакан с попкорном слева, а стакан с колой справа и опустил на голову шлем мемоблокатора. И включил кино.

Началось: один герой стрелял по мишеням под дождем, другой катался по волнам на доске. Вспомнить, кто это такие и что будет дальше, не удалось, хотя старался добросовестно. Смотрел как первый раз в жизни.

Подняв шлем, не сразу встал с кресла — дождался, пока вернется память о прошлых сеансах. Все-таки не зря заплатил немаленькую сумму за свежее восприятие, смотреть «На гребне волны», зная, что будет дальше, вообще нет смысла. Особенно сцену, где агент ФБР прыгает с самолета без парашюта, чтобы догнать в воздухе главаря банды. Каждый раз дыхание перехватывает! Хотя все же неодинаково воспринимается, но тем интереснее сравнивать впечатления!

Выйдя из кинотеатра, с удовольствием сравнивал. Фильм всегда нравился, жалко бывало, что закончился, но запоминался то стрельбой и погонями, то серфингом и парашютными прыжками, то шуточками. В прошлый раз главаря банды хотелось придушить, в этот, наоборот, посочувствовал ему... Или в прошлый? А, да, сочувствовал и в этот, и в прошлый, а придушить хотел в позапрошлый... Или в этот?

Привлекла внимание уличная растяжка с рекламой какого-то кандидата. Странно, ведь выборы закончились. Или скоро следующие? Но ведь рано еще! А деревья почему-то в зеленых листьях, а не с голыми ветками в сосульках и снегу. И листья должны быть не зеленые на деревьях, а желтые, прилипшие к мокрому асфальту!

Так, надо успокоиться, взять себя в руки и идти домой. Но почему так легко одет поздней осенью? И зачем домой, если собирался в кино?!

— Вот, забирайте, — полицейский кивнул в сторону атлетически сложенного красавца блондина, который скрючился и дрожал на скамейке для посетителей. — Посреди улицы подобрали, так же сидел и тряся. Видать, только что из кинотеатра — того, где память стирают. То есть блокируют.

Врач и санитар взяли человека под руки и повели к машине. Он не сопротивлялся, только бормотал сдавленно: «Где я? Когда я?»

От укола притих, расслабился. Но в себя не пришел, плохо дело.

— И охота им своими мозгами рисковать, — удивлялся санитар по дороге в клинику.

Шофер согласился:

— Ладно бы ради секса память стирали, чтобы каждый раз как первый, а то кино! Даже книжки! Вот уж было бы ради чего!



Художник П. Перевезенцев

Врач возразил:

— Те, кто временно блокирует память ради секса, быстро разочаровываются. А в случаях кино, чтения или музыки возникает настоящая психологическая зависимость. Почти как от наркотиков.

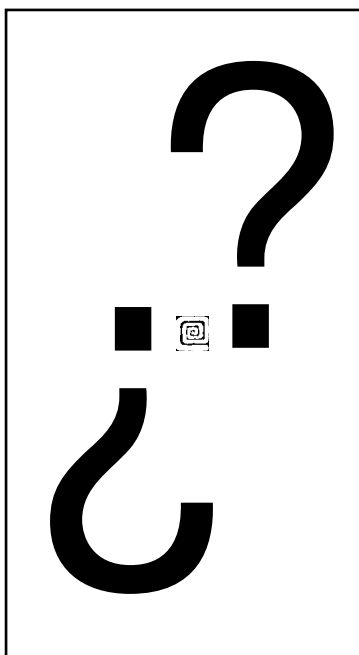
— Давно пора запретить мемоблокаторы, — заявил санитар. — Не надо, — протянул шофер. — Пускай будет — меньше придурков останется. Естественный, так сказать, отбор.

Врач поморщился от шоферского цинизма, но тоже сказал: — Не надо. Если запретят, то неизбежно возникнет подпольная блокировка памяти. Совсем завалят нас работой. Подобных пациентов будут тысячи, а не единицы, как сейчас.

Санитар задумчиво заметил:

— А ведь соблазн еще какой. Даже я... Мне не кино или книжку, мне бы песню одну послушать, чтобы как в первый раз, чтобы снова тот холодок пошел. Не рискну, потому как насмотрелся, а то бы, честное слово, не удержался. Так просто не удержишься



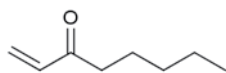


## ВОПРОСЫ—ОТВЕТЫ



### Почему у крови металлический привкус? И чем она пахнет?

Действительно, если вы до крови прикусите язык, то почувствуете металлический привкус во рту. Отчасти в этом повинен сам гемоглобин, точнее, присутствующее в нем железо. Но в большей степени — вещества, которые образуются при взаимодействии ионов железа из гемоглобина ( $Fe^{2+}$ ) и молекул жира. В результате образуется спектр веществ, самое главное из которых — 1-октен-3-он, или винилпентилкетон:

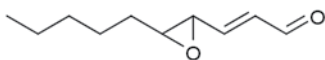


Винилпентилкетон

Этот же кетон образуется при контакте крови с кожей и дает «металлический запах». Но ведь у металлов нет запаха? Верно. Однако стоит нам потереть монетку в пальцах, как мы явственно его почувствуем. Это результат взаимодействия металла с жирами кожи,

в результате которого и образуется винилпентилкетон.

Сама кровь также обладает легким «металлическим» запахом. Именно его улавливают хищники и безошибочно находят раненую жертву. Своим запахом кровь обязана веществу транс-4,5-эпокси-2-деценаль, которое по структуре очень похоже на окт-1-ен-3-он:



Транс-4,5-эпокси-2-деценаль

В прошлом году шведские и немецкие исследователи провели эксперимент с хищниками, содержащимися в неволе, — дикими азиатскими, австралийскими и африканскими собаками и сибирскими тиграми. Им предложили четыре бревна. Одно из них было пропитано настоящей кровью, второе — транс-4,5-эпокси-2-деценалем, третье — жидкостью с фруктовым запахом (изопентилацетатом), а четвертое — раствором почти без запаха (диэтилфталатом). А затем исследователи наблюдали за реакцией животных. Оказалось, что животных в равной степени интересовали первые два бревна, то есть они не различали натуральную кровь и индивидуальное вещество, ответственное за ее запах. Так что тайна запаха и привкуса крови раскрыта.



### Как сделать ферромагнитную жидкость дома?

Прошло 52 года с тех пор, как сотрудник NASA Стив Папелл изобрел ферромагнитную жидкость. Он решал вполне определенную задачу: как в условиях невесомости заставить жидкость в топливном баке ракеты подходить к отверстию, из которого насос перекачивал топливо в камеру сгорания. Тогда-то Папелл и придумал нетривиальное решение — добавлять в топливо какую-нибудь магнитную субстанцию, чтобы с помощью внешнего магнита управлять перемещением топлива в баке. Так на свет

появилась ферромагнитная жидкость.

В качестве магнитного вещества Папелл использовал магнетит ( $Fe_3O_4$ ), который по специальной технологии размельчал (перетирали в смеси с олеиновой кислотой) в течение многих дней. Получалась устойчивая коллоидная суспензия, в которой стабильно существовали крошечные частички магнетита размером 0,1—0,2 микрона. Олеиновая кислота в этой системе играла роль модификатора поверхности, который не давал частицам магнетита слипаться. Патент С.Папелла US 3215572 A (Low viscosity magnetic fluid obtained by the colloidal suspension of magnetic particles) открыт, и его можно посмотреть в Интернете. Классический состав ферромагнитной жидкости — 5% (по объему) магнитных частиц, 10% модификатора поверхности (олеиновая, лимонная или полиакриловая кислоты и др.). Остальное — органический растворитель, включая жидкие масла.

Интерес к магнитным жидкостям оживился в последние годы, и сегодня они нашли уже множество применений. Если нанести такую жидкость на неодимовый магнит, то магнит будет скользить по поверхности с минимальным сопротивлением, то есть трение резко уменьшится. На основе ферромагнитной жидкости в США делают радиопоглощающие покрытия на самолеты. А создатели знаменитого Ferrari используют магнитореологическую жидкость в подвеске автомобиля: манипулируя магнитом, водитель может сделать подвеску в любой момент более жесткой или более мягкой. И это лишь несколько примеров.

Магнитная жидкость — удивительный материал. Стоит поместить ее в магнитное поле, как разрозненные магнитные частицы объединяются и выстраиваются вдоль силовых линий поля, превращаясь во вполне твердое вещество. Сегодня фокусы с магнитной жидкостью, которая при соприкосновении с магнитом превращается в безупречных с точки зрения симметрии ежиков или кактусы, показывают на многих развлекательных шоу. Конечно, ферромагнитную жидкость можно купить, но ведь гораздо интереснее сделать самому.

Мы писали о том, как получить самозатвердевающую магнитную жидкость, которая позволит рассмотреть структуры, образованные магнитными частицами, под микроскопом («Химия и жизнь», 2015, №11). А вот еще один рецепт самодельной ферромагнитной

жидкости. Возьмите 50 мл тонера для лазерного принтера. Этот порошок не менее чем на 40% состоит из магнетита, размер частиц которого — 10 нанометров и меньше. В тонере также обязательно присутствует модификатор поверхности, чтобы наночастицы не слипались. К 50 мл тонера добавьте 30 мл растительного масла (две столовые ложки) и тщательно перемешайте, не жалея на этот процесс времени. Получится черная однородная жидкость, похожая на сметану. А теперь налейте ее в плоскую стеклянную емкость с бортиками, чтобы толщина слоя была не меньше сантиметра. Поднесите магнит под донышко емкости, и в этом месте в жидкости сразу же возникнет жесткий ежик. С помощью магнита его можно перемещать. Если же вы поднесете магнит к поверхности жидкости или сбоку, то жидкость буквально выскочит навстречу магниту, так что будьте осторожны. Чтобы избежать этой неприятности, можно поместить магнитную жидкость в небольшую стеклянную коническую колбу, заполнив ее наполовину или чуть меньше. Наклоните колбу, чтобы образовался слой жидкости вдоль ее стенки, и поднесите магнит к стеклу.

Успех зависит от силы магнита (неодимовый магнит небольшого размера можно купить в магазинах) и качества тонера. В последнем случае надо быть уверенным, что он содержит магнитный порошок.



## Почему на Западе фианит называют цирконом?

Нет, не называют, это ошибочное утверждение. Хотя как раз в России можно частенько услышать название «циркон» или «цирконий» применительно к фианиту. И то, и другое неверно. Цирконий — химический элемент, а не камень. А фианит и циркон — два разных камня! Циркон — природный минерал, силикат циркония ( $ZrSiO_4$ ). Он, как правило, содержит до 4% гафния, поэтому используют его как

источник циркония и гафния. Если же попадают чистые красивые кристаллы, то они отправляются к ювелирам. Здесь у них другие названия. Желтые кристаллы циркона называют жаргоном, красные — гиацинтом.

Фианит — это искусственный камень, оксид циркония ( $ZrO_2$ ) с кубической кристаллической решеткой (cubic zirconia, CZ). В таком виде оксид циркония в природе почти не встречается, поскольку его кубическая модификация нестабильна. Однако российским ученым удалось эту нестабильность преодолеть. В Физическом институте Академии наук в Москве (ФИАНе) в лаборатории В.В.Осико больше 50 лет назад синтезировали кубические кристаллы оксида циркония, получившие название «фианит» (по месту рождения). Кристаллы удалось стабилизировать добавками оксида марганца, кальция и иттрия.

О своем успехе советские физики сообщили в научной публикации 1973 года. Спустя четыре года фианит уже производили для ювелирного рынка, а к 1980 году ежегодный объем мирового производства фианитов составил 10 тонн. Очень быстрый даже по нынешним меркам прогресс. Кстати, для производства фианитов до сих пор используют советскую технологию.

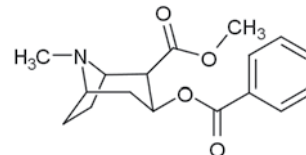
За рубежом фианит действительно не называют фианитом. Здесь у него другие имена — джевалит, цирконит и cubic zirconia (CZ), или кубический диоксид циркония. Вот эта «zirconia» и вносит путаницу. Переводчики не обращают внимания на две последние буквы в слове и переводят как циркон или цирконий. Ни то, ни другое к фианиту не имеет отношения. Называли бы «zirconit», и не было бы никакой путаницы.



## На долларах всегда присутствует кокаин?

Если вы носите доллары в кармане, то вместе с ними почти наверняка — и кокаин, пусть крохи. На долларовых купюрах может содержаться от 0,006 мкг (в несколько тысяч раз меньше

одной песчинки) до 1240 мкг этого наркотика. Кстати, одна песчинка весит около 23 мкг.



Кокаин

О том, что следы кокаина присутствуют на купюрах, знали давно. Ведь доллары проходят через руки наркоторговцев, и через трубочку, скатанную из банкноты, вдыхают эту отраву. А затем купюры попадают в счетные машины в банках, в банкоматы. Здесь их перетряхивают столь интенсивно, что наркотик распыляется и оседает на других купюрах в крошечных количествах.

Самое обстоятельное исследование на эту тему выполнили в 2009 году в лаборатории профессора Юэган Цзо в Массачусетском университете. Для анализа ученые использовали хромато-масс-спектрометр и долларовые купюры из 30 городов пяти стран — США, Канады, Бразилии, Китая и Японии.

Доллары из США и Канады были самыми грязными — на 85—90% купюр присутствовали следы наркотиков. И чем крупнее город, откуда взяли деньги, тем грязнее они были, так что в лидерах оказался Вашингтон. Доллары, доставленные в лабораторию из Китая и Японии, оказались куда чище: только 12—20% дензнаков дали «положительный» результат. Подобного исследования в России не проводили, а интересно было бы посмотреть на его результаты.

Следы кокаина на денежных знаках очень незначительны, поэтому они не причиняют вреда здоровью и, что важно для спортсменов (допинг-контроль!), на скажутся на анализах. Однако помыть руки после того, как пересчитывал деньги, всегда полезно.

На вопросы отвечала **Л.Викторова**



## ВОПРОСЫ — ОТВЕТЫ

# Трудный путь моногамии

Кандидат  
биологических наук

**Н.Л.Резник**

*Пять бы жен мне — наверное,  
Разобрался бы с вами я!  
Но дела мои — скверные,  
Потому — моногамия.*

Владимир Высоцкий

## Невозможность создать гарем

Моногамия, оказывается, бывает разная: социальная, при которой пара длительное время находится вместе, и генетическая, когда один самец за сезон спаривается с единственной самкой. Истинная моногамия, социальная и генетическая одновременно, встречается у животных существенно реже, чем полигамные отношения, но до недавнего времени ученые не представляли, насколько реже. Истина открылась, когда зоологи стали определять родительство с помощью молекулярных маркеров.

Вот, например, птицы. Согласно наблюдениям, около 90% видов образуют постоянные пары. Однако генетические исследования показали, что истинная моногамия свойственна менее четверти социально моногамных видов («Molecular Ecology», 2002, 11, 2195–2212, doi: 10.1046/j.1365-294X.2002.01613.x). У остальных птиц самцы нет-нет да и оплодотворяют чужую подругу. Более 11% птенцов у социально моногамных пар имеют постороннего отца. Первенство принадлежит камышовой овсянке *Emberiza schoeniclus*, у которой в 86% выводков есть хотя бы один внебрачный птенец.

У млекопитающих истинная моногамия свойственна лишь 5% видов, а у других классов позвоночных встречается еще реже. Причины понятны: полигамия позволяет получить более многочисленное и генетически разнообразное потомство. Тем не менее моногамия существует, и ученых интересуют факторы, благоприятствующие ее возникновению. Естественно предположить, что она могла развиваться в условиях, когда для выживания потомства необходима забота обоих родителей.

Эта гипотеза получила подтверждение на птицах. Французский исследователь Андре Моллер из Университета Пьера и Марии Кюри проанализировал научные публикации, в которых описаны последствия удаления самца на ранних стадиях развития потомства, его участие в выкармливании птенцов и наличие «внебрачных связей». Ученому удалось собрать данные о 31 виде птиц («Behavioral Ecology», 2000, 11, 161–168). Оказалось, что чем активнее самец заботится о птенцах, тем сильнее его отсутствие сказывается на их выживании. В некоторых случаях лишенный отца выводок погибает полностью. Как правило, тем видам, самцы которых жизненно необходимы семейству, свойственна моногамия. И напротив, если забота о потомстве ложится в основном на мать, самцы позволяют себе «внебрачные» связи.

У некоторых видов млекопитающих попечение о потомстве также играет важную роль в поддержании моногамии, однако чаще она развивается в отсутствие отцовской заботы. Петр

Комерс из Упсальского университета и Питер Бразертон из Кембриджа полагают, что моногамия возникает, когда самцы не могут монополизировать более одной самки, возможно, из-за того, что самки ведут одиночный образ жизни, каждая занимает свой небольшой участок и соседку на нем не потерпит («Proceedings of the Royal Society of London B», 1997, 264, 1261–1270). Ученые проанализировали литературные данные о многих десятках видов из отрядов насекомоядных, прыгунчиковых, приматов, зайцеобразных, грызунов, хищников и парнокопытных. Оказалось, что у хищников, парнокопытных, прыгунчиковых и зайцеобразных моногамия не сопровождается отцовской заботой о потомстве, а у приматов и грызунов возможны варианты: у некоторых видов, образующих моногамные пары, она есть, у других — нет. Таким образом, моногамия и заботливость отцов не связаны друг с другом. Поскольку речь идет о млекопитающих, попечение матери само собой разумеется.

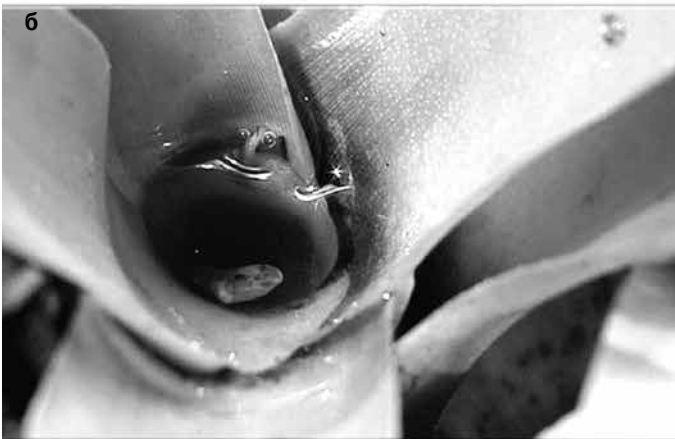
Особое внимание исследователи уделили приматам. Они отметили, что самцы макак и павианов заботятся о малышах, хотя не образуют моногамных пар. Гиббоны и сенегальские галаго образуют моногамные пары, но отцовская забота у них не замечена. Самцы полосатых лангуров *Presbytis melalopus* пекутся о своих лангурчиках, а постоянные пары образуют в зависимости от условий: в одних популяциях самки живут кучно и моногамии не наблюдается, в других самки одиночные и пары моногамные. Филогенетические исследования также не подтвердили связи возникновения моногамии и отцовской заботы о потомстве.

Комерс и Бразертон не исключают, что некоторые виды образуют постоянные пары потому, что детеныши не выживут без поддержки обоих родителей, однако эти случаи представляют собой скорее исключения из общего правила. Моногамия, во всяком случае у млекопитающих, чаще возникает без связи с заботой о потомстве, там, где самцы не могут контролировать гарем и потому монополизируют одну самку.

## Голодный пруд

Недавно у исследователей появилась возможность проверить гипотезу о связи моногамии и заботы о потомстве на новом классе животных. Несколько лет назад специалисты университета Восточной Каролины (США) и Университета Рикардо Пальмы (Перу) под руководством Кайла Саммерса обнаружили настоящую, социальную и генетическую моногамию у амфибий — тропических ядовитых лягушек *Ranitomeya imitator* («The American Naturalist», 2010, 175, 436–446, doi: 10.1086/650727). Ученые убеждены, что эти лягушки стали моногамными, поскольку их головастики требуют попечения обоих родителей. А попали они в такую зависимость из-за экологической ниши, которую избрали.

Древолаз-имитатор *R. imitator*, крошечное существо около 1,5 см в длину, принадлежит к семейству Dendrobatidae. Дендробатиды живут в тропических дождевых лесах. Стремясь защитить свое потомство от хищников, они избегают крупных



1  
Родительское поведение *Ranitomeya imitator*.  
Самец освободил головастика из яйца, позволил ему заползти на спину (а) и выгурил в свободную лужицу (б). К бассейну пришла самка (в) и отложила в воду трофическое яйцо (г). Все происходит под наблюдением самца

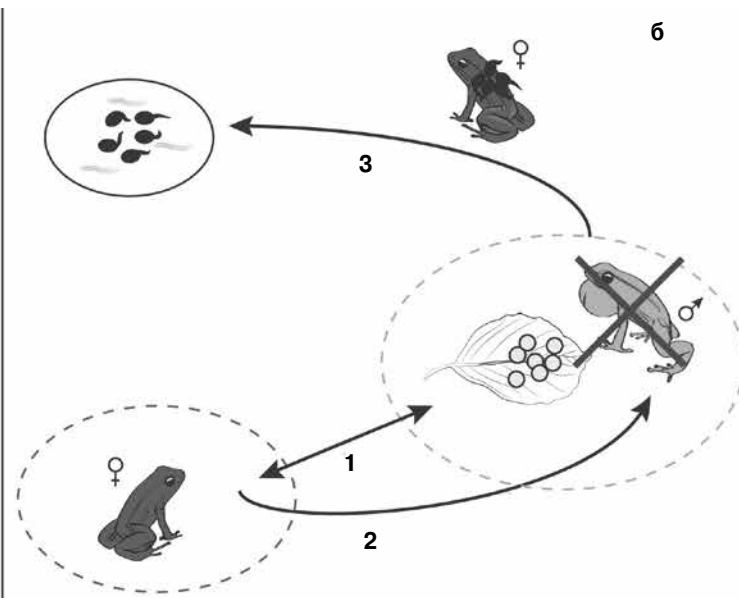
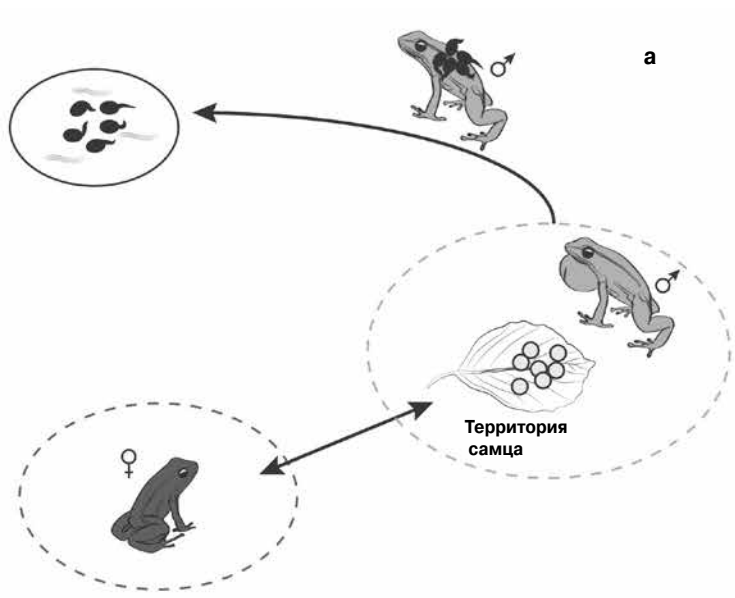
водоемов и откладывают икру на влажные листья. Самка после этого удаляется, а самец присматривает за кладкой, в нужное время помогает головастикам освободиться из яиц, позволяет залезть к себе на спину и на закорках переносит в маленькие водоемчики, лужи или крошечные бассейны с дождевой водой, которые образуются в пазухах листьев. Чем меньше лужица, тем меньше вероятность, что икрой или головастиками поживится хищник, но и еды в таком водоеме меньше. Голодные головастики иногда поедают друг друга. Чтобы избежать каннибализма, древолаз-имитатор помещает своих головастиков в одноместные водоемчики в листовых пазухах, в которых воды всего 25 мл. Вода дождевая, так что еды нет совсем, и головастиков приходится кормить. Тут к процессу подключается самка, которая раз в 6—10 дней откладывает в водоем 1—2 неоплодотворенных трофических яйца. Ими головастик и питается.

Главный в родительской паре самец. Он охраняет территорию, на которой находятся места для спаривания и водоемы, где зреет потомство, наблюдает за кладкой, помогает вылупиться головастикам и переносит их в воду. (Икринки не всегда откладывают над водой, если оставить их без присмотра, вылупившиеся головастики могут и не попасть в водоем.) А главное, самец призывает к водоему самку, а затем прикосновениями и кваканьем стимулирует откладывание трофического яйца. Эта стимуляция напоминает ритуал ухаживания. При виде обоих родителей головастики начинают извиваться, возможно выпрашивая корм (рис. 1).

Только древолазы-имитаторы используют для развития головастиков такие крошечные водоемы, что самки вынуждены кормить потомство. И моногамию пока обнаружили только у этих амфибий. Поэтому исследователи предположили, что именно размер водоема стимулировал развитие заботы о потомстве со стороны обоих родителей. Для проверки этой гипотезы они наблюдали за развитием головастиков в естественных условиях, а также выяснили, что будет, если удалить самцов («Behavioral Ecology», 2014, 25, 262—270, doi:10.1093/beheco/art116).

Наблюдения проводили в Перу. Каждого участника эксперимента сфотографировали со спины и поместили, так что по меткам и узору на спинке лягушек можно было различать на расстоянии. Исследователи проследили за двенадцатью парами и с помощью генетических маркеров убедились, что пары действительно моногамны. Полигамным оказался лишь один самец, это очень низкий процент. Исследователи расставили в лесу пластиковые водоемчики с растительностью, куда наливали по 25 мл дождевой воды. Лягушки регулярно приносили туда головастиков и сами там прятались. Питательные яйца самка откладывает чуть ниже уровня воды на стенку водоема, они хорошо видны. Чтобы извлечь головастика для обследования, достаточно было слить воду через мелкое сито.

Прежде всего исследователи еще раз убедились в том, что без трофических яиц головастикам не прожить. Если удалять яйца из бассейна, головастики развиваются медленно и прак-



тически не растут. Напротив, чем больше будущая лягушка ест, тем быстрее прибавляет в весе. Значит, без самок никак.

Чтобы головастики нормально развивались, кладку непременно нужно перенести. У древолазов-имитаторов переноска происходит дважды: при вылуплении и в трехнедельном возрасте. Ученые проверили, что будет, если удалить самца (отловить и держать в неволе до конца эксперимента) на разных стадиях развития потомства. Оказалось, что головастики без отцовского присмотра вылупляются позже. Один раз исследователи наблюдали, как самец раздирал кладку задними ногами. Видимо, так он стимулировал освобождение головастика. Ученые также выяснили, что в случае необходимости самки могут присматривать за кладкой: в одном случае из трех мать перетащила головастика в бассейн.

Если без отцовского попечения оставались уже вылупившиеся головастики, они замедляли рост, половина из них умерла до превращения в лягушку, некоторые не пережили метаморфоз. Исследователи подсчитали, что без участия самца погибает 85% потомства.

Скорее всего, смерть наступает от голода. Самки откладывают трофические яйца, когда их побуждают к этому самцы. Без них головастики продолжали кормить лишь пять из одиннадцати вдов, причем не так активно. Большинство самок откладывали трофические яйца в первую неделю после удаления самцов, но затем перестали это делать. Не исключено, конечно, что вдовам приходится брать на себя некоторые мужские функции, такие, как защита территории и наблюдение за лужицей, поэтому у них меньше времени на питание и они реже формируют яйца. Но исследователи не наблюдали, чтобы поведение самок коренным образом изменилось. Дело, очевидно, в отсутствии стимуляции.

Так и живут *R. imitator*, всецело поглощенные заботой о яйцах и головастиках. Самка не имеет потомства от нескольких самцов, потому что просто не в состоянии его прокормить. Она не может откладывать более трех—пяти трофических яиц в неделю. Головастики обычно съедают одно—два яйца раз в шесть—десять дней, чем они старше, тем больше им нужно. Поэтому самке не выкормить более двух—четырех головастика одновременно, а в кладке обычно бывает от одного до трех яиц. Самцу тоже не до эскапад. Он охраняет территорию, наблюдает за кладками, переносит головастика, организует их кормление и, занимаясь всем этим, обеспечивает своей подруге возможность нормально питаться — ей ведь надо трофические яйца откладывать. Поскольку родители все

## Родительское поведение *Allobates femoralis*

Отложив яйца, самка покидает территорию самца, а он следит за кладкой и переносит головастика в водоем (а). Если самца нет, его роль выполняет самка (б). Для этого ей приходится вернуться к оставленной кладке

время рядом, следующую кладку они тоже делают вместе. Лягушки размножаются в течение всего сезона дождей, пока пазухи листьев заполнены водой и на попечении пары часто находятся несколько головастика разного возраста, а тут еще и яйца на подходе. В общем, у самца нет времени и сил завести себе вторую подругу, да и места тоже нет, потому что несколько самок на одном участке не уживаются. В результате процент полигамии у них крайне низок, и никаких других отношений, кроме моногамных, возникнуть не могло.

## Компенсация отсутствия

Моногамия у лягушек, как и у птиц, развилась потому, что о потомстве должны заботиться оба партнера. А как возникла такая забота? Не сразу, конечно. По мнению специалистов Венского университета под руководством доктора Вальтера Хёдла, она развилась из компенсаторного родительского поведения, при котором за потомством ухаживает один родитель, но в случае его отсутствия эти функции берет на себя второй. Эта гипотеза возникла в результате пятилетних наблюдений за лягушками семейства дендробатид, только за другим видом, ярким древолазом *Allobates femoralis* («Behavioral Ecology», 2015, 26, 1219—1225, doi:10.1093/beheco/aru069).

Яркий древолаз живет на земле в тропических дождевых лесах. Во время сезона размножения самцы забираются повыше, на бревно или корень, и квакают оттуда, заявляя свои территориальные претензии и привлекая самок. На призыв откликаются соседки, находящиеся в радиусе примерно 20 м. Ухаживание и спаривание происходят на территории самца, самка откладывает на лиственной опад кладку из примерно 20 яиц, после чего немедленно удаляется. При благоприятных условиях самка продлевает это каждые восемь дней. Таким образом, пока головастики три недели развиваются в икринках, она успевает сделать еще три кладки, обычно все они от разных самцов. За яйцами присматривают самцы, на их попечении одновременно находятся до пяти кладок от разных самок. Спустя 15—20 дней самец переносит головастика в

воду. Некоторые исследователи наблюдали самок с головастиками на спине и потому решили, что у ярких древолазов за потомством ухаживают оба родителя. Однако сотрудники Вальтера Хёдла подсчитали, что самки переносят лишь около 8% головастиков, как правило, в тех случаях, когда самцы куда-то запропастились. Исследователи предположили, что у *A. femoralis* за потомством ухаживает лишь один родитель и те редкие случаи, когда головастики перетаскивает самка, вызваны потерей носильца.

Свои предположения ученые проверили в лаборатории Венского университета, куда привезли пойманных во Французской Гвиане ярких древолазов и разместили во влажных террариумах с искусственными водоемчиками в стеклянных мисочках. Лягушек держали парами, они успешно размножались, и головастики переносили самцы. Когда же самцов удаляли из террариума, все матери сами перетаскивали головастики, причем сделали это вовремя (рис. 2).

Отсутствие самца легко заметить в террариуме. Но как самки узнают о пропаже в естественных условиях, будучи в 20 метрах от его участка? Исследователи полагают, что лягушка самца слышит: он ведь там по-прежнему квакает. А если он вдруг замолк или его сменил другой самец, надо идти и перетаскивать головастики. Конечно, для этого самка должна помнить, где она три недели назад оставила кладку. Следовательно, пространственная память у них хорошая, что подтверждают наблюдения в естественных условиях. Поскольку самки откладывают яйца каждые восемь дней, они должны помнить расположение четырех кладок и контролировать четырех самцов одновременно. Группа Кайла Саммерса, наблюдавшая в природных условиях за древолазами-имитаторами, также отмечает, что самки иногда переносят головастики: по-видимому, и они отлично помнят, где находятся их дети.



## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ЛЮБВИ

Гибкое поведение самки — важное эволюционное приспособление, позволяющее сохранить потомство при утрате партнера, хотя такое поведение и соблазняет самца уклониться от родительских обязанностей. Но ведь и самка, когда она удаляется, отложив кладку, тем самым перекладывает всю ответственность на спину самца. В общем, каждый пол предпочитает свалить основные заботы на другого родителя и поменьше усердствовать самому, но потерять потомство жалко обоим. И особь, если она в состоянии, конечно, старается компенсировать потерю партнера, чтобы усилия, потраченные на размножение, не пропали даром. В этой борьбе полов рождается взаимодействие партнеров: от фиксированной роли каждого родителя к гибкому поведению, от заботы одного к временному, а затем и постоянному участию второго. От относительной свободы — к жестким узам моногамии. Впрочем, в свете последних данных не так они и строги, эти узы.



# Полезные ССЫЛКИ

Museum  
of Endangered  
Sounds



<http://savethesounds.info>

Прекрасная идея — музей звуков, находящихся под угрозой вымирания. Помните ли вы, с каким звуком коннектился модем в эпоху нашего первого знакомства с Интернетом? А как щелкал пленочный аппарат и стучала механическая пишущая машинка? А звуковое сопровождение старых пиксельных игрушек? Коллекция пока не слишком обширна, и автор спрашивает у посетителей сайта, звуки каких вымирающих устройств и программ ему следовало бы добавить



## PubPeer — The online journal club

PubPeer Blog Recent Featured Journals

<https://pubpeer.com>

Сайт для тех, кто удивляется, как та или иная статья могла появиться в рецензируемом журнале, или просто хочет что-то сказать авторам и миру по поводу этой публикации. Свободная глобальная система post hoc/post publication review, говоря по-русски — возможность высказать любые претензии (в том числе анонимно) к уже опубликованной статье, без ограничений по сроку давности. Форма высказываний — свободная (разумеется, требования политкорректности должны соблюдаться), можно давать ссылки на внешние ресурсы, где размещена ваша критика. Все комментарии заносятся в открытую базу данных, о них автоматически оповещаются авторы и редакция журнала. Работает поиск, позволяющий быстро проверить, поступали ли уже комментарии к интересующей вас статье.

# О роли личности в стаде

**В** устах человека слово «стадо» (а также «овца») имеет негативный оттенок. Между тем в этом понятии нет

ничего дурного: животные собираются в стаи, косяки, рои и стада, чтобы защититься от хищников, встретить брачного партнера, отыскать источники пищи. А там, где есть стада, неизбежно должно быть и стадное поведение: согласованность действий, без которой группа животных может разделиться, а некоторые ее члены — потеряться и даже погибнуть.

Когда все действуют слаженно, как один, естественно предположить, что существует тот самый один, который начинает первым, а все остальные немедленно за ним повторяют. Такая форма инстинктивного поведения называется аллеломиметической, она требует постоянного внимания и довольно сложна. Люди, например, долго не выдерживают. Но синхронность действий можно объяснить и тем, что все члены сообщества одинаково реагируют на внешние факторы, например увидели слева хищника и дружно повернули направо.

Чтобы разобраться в механизмах группового поведения, недостаточно просто наблюдать, тут нужны количественные оценки. Подобных исследований пока немного, причем в них нередко участвуют физики — специалисты по изучению динамических систем. Начали они с движения, как самого заметного проявления стадного поведения.

Американские и британские исследователи под руководством профессора Принстонского университета Иэна Кузейна наблюдали за поведением американских лещей *Notemigonus crysoleucas* («PLOS Computational Biology», 2013, 9(2):e1002915). Эти небольшие рыбки в чистой стоячей воде образуют плотные стайки, в которых движутся хаотически, в одну сторону по прямой (поляризованное состояние) или вокруг центра группы (рис. 1). Ученых интересовало, что вынуждает лещей переходить от одного типа движения к другому. Чтобы перемещения рыбок было удобно записывать на видеокамеру, их помещали в плоский аквариум 210×210×5 см и затем



отслеживали траекторию и скорость каждого леща. Оказалось, что движение стайки отчасти зависит от скорости. Когда рыбы плавают медленно, они движутся хаотически, а ускоряясь, группа переходит в упорядоченное состояние. Второй фактор — численность. Исследователи работали с группами из 30, 70, 150 и 300 рыбок. Небольшие группы чаще образуют поляризованные стайки, а 150—300 особей предпочитают круговое движение. Причем дело не в плотности: если поместить 30 рыбок в маленький аквариум, в котором их плотность будет такой же, как у группы из 300 рыб в большом объеме, они все равно предпочтут линейное движение. Однако в любой группе лещи время от времени переходят от кругового движения к поляризованному и наоборот. Эти изменения начинаются с того, что одна или несколько рыб, соприкоснувшись со стенкой аквариума, а часто и без видимых причин, внезапно изменяют скорость и направление движения, и прочие особи следуют их примеру. Заметим, кстати, что такие упорядоченные стайки по-английски называются «school», то есть школа. Подходящее название, если учесть, что каждый школьник-безобразник, оправдываясь, ссылается на поведение своих товарищей.

Годом позже специалисты римского университета Сапиенца наблюдали за стаями скворцов, которая уворачивалась от атак сапсана, постоянно меняя направление движения («Nature Physics», 2014, 10, 615—698, doi:10.1038/nphys3035). Ученые снимали переме-

щения птиц тремя видеокамерами и потом восстановили движение каждого скворца в трехмерной системе координат. Данные, полученные на птичках, совпали с результатами наблюдений за рыбками. Скворцы поворачивали не одновременно, а один за другим, причем птицы, которые первыми меняли направление, в стае находились рядом. Можно сказать, что они принимали решение повернуть, а затем оно передавалось от скворца к скворцу. Интересно, что информация, проходя через множество птиц, практически не затухает, благодаря чему стая, которая во время разворота напоминает гигантскую «галочку», сохраняет целостность. Высокая скорость передачи информации обеспечивает сплоченность группы, иными словами, каждый ее член должен, чтобы не отбиться от своих, во все глаза наблюдать за соседом и повторять его действия. Исследователи предположили, что найденные ими закономерности справедливы для всех движущихся групп животных. Но если так, почему люди иногда презрительно называют толпу себе подобных стадом баранов и никогда — стаями скворцов?

И вот мы наконец переходим к баранам, точнее, к овцам. Они не глупы, скорее загадочны. Вот они мирно пасутся, медленно разбредаясь по полю, и вдруг без всяких видимых причин кидаются друг к другу и сбиваются в кучу. Почему?

Разгадывать эту загадку взялись специалисты нескольких исследова-

1 Движение рыбок в стае: беспорядочное (слева), поляризованное (в центре) и круговое





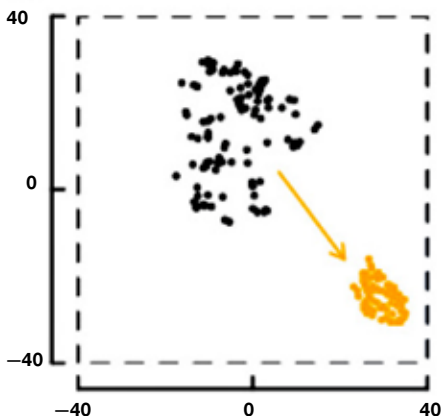
Стадо меринсовых овец. Они мирно пасутся, но всегда начеку

тельских центров Франции и Франческо Джинелли, итальянский физик, который в настоящее время работает в Абердинском университете. Ученые провели количественные исследования коллективного поведения большой группы меринсовых овец *Ovis aries* («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2015, 112, 12729—12734, doi:10.1073/pnas.1503749112). Они выпустили сотню животных в загон 80 на 80 м и записывали все происходящее на видеокамеру, помещенную на верхушке семиметровой башни рядом с загоном. Наблюдения показали, что ни разу овцы не разбрелись по всему выпасу, максимальная площадь, которую они занимали, составляла немногим больше трети загона. Поэтому никакое переуплотнение не могло повлиять на перемещения овец, так же как рельеф пастбища (оно было ровным) или хищники. Этим условия эксперимента принципиально отличаются от условий наблюдения за лещами, которые были ограничены стенками аквариума, и скворцами, вынужденными спасаться

2

Рассеянная группа овец (черные точки) собирается в компактную (светлые точки).

Цифры обозначают расстояние в метрах относительно начала координат, которое исследователи поместили в центр поля



от сапсана. Овцы же находились в однородной безопасной среде с достаточным количеством корма, и все их перемещения зависели исключительно от решений, которые принимали отдельные особи, руководствуясь собственными соображениями.

Отсутствие внешних стимулов не сказалось на обычном поведении овец, они медленно, широким фронтом разбрелись по лужайке, пока какая-нибудь овца, пасущаясь с краю, внезапно не разворачивалась и не мчалась к своим, увлекая за собой все больше и больше животных. Овцы сбивались в плотную группу, необязательно включавшую все стадо; она довольно быстро перемещалась, а затем все овцы почти синхронно останавливались и снова принимались пастись. Все происходило без видимых причин и слышимых сигналов тревоги. Никто не блеял. Этот цикл «расширения/сжатия» повторялся примерно каждые четверть часа, причем овцы собираются в кучу гораздо быстрее, чем разбредаются. Обычно сбор занимает около двух минут, хотя однажды группа сбежалась всего за 24 секунды (рис. 2). Бегущие овцы развивают скорость до полутора метров в секунду. Кстати, порогом скорости, разделяющим ходьбу и бег, ученые положили 0, 41 м/с.

Получается, что «пульсацией» стада ведают исключительно внутренние стимулы. Исследователи продлили сеансы наблюдения до трех с половиной часов и определили параметры движения каждой овцы и целого стада. Группа может собраться в любой точке загона, излюбленных мест сбора у овец нет. Овцы в ней распределены равномерно, примерно по особи на квадратный метр. В пасущемся стаде такого порядка нет, животные рассыпаны по лужайке в живописном беспорядке, на одну овцу приходится от 1,3 до 23 квадратных метров.

Проведенные измерения позволили исследователям создать модель, описывающую коллективное поведение



## ДНЕВНИК НАБЛЮДЕНИЙ

овец как результат индивидуальных взаимодействий. На основании этой модели и натурных наблюдений ученые заключили, что овцы на пастбище решают одновременно две насущные, но взаимоисключающие задачи: им необходимо вволю поесть и при этом чувствовать себя в безопасности. Для удовлетворения первой потребности они должны рассредоточиться, удалиться от соседей-конкурентов, чтобы обеспечить максимальную площадку для индивидуального выпаса, для второй — держаться поближе друг к другу, поскольку овца в стаде лучше защищена от хищника, чем одиночка.

Овцы сумели соблюсти баланс интересов, чередуя медленную чинную фазу пастыбы и быстрый сбор в группу. Такая динамика известна полевым биологам, но количественно описана впервые. По мере того как овца отходит от других особей, в ней нарастают страх и чувство опасности. Когда расстояние увеличивается до некоего предела, она устремляется к центру группы. Глядя на нее, бегут и другие, их количество волнообразно увеличивается, но, когда овцы соберутся в группу определенной плотности, они дружно останавливаются. Таким образом, стадо овец представляет собой самоорганизующуюся систему, управляемую аллеломиметическим поведением. Общий сбор может объявить любая овца, обнаружившая себя в опасном отдалении от товарок. Каково это расстояние, пока неизвестно, площадь, которую занимало стадо в фазе безмятежности, колебалась от 75 до 2329 м<sup>2</sup>.

Аллеломиметическое поведение — не глупость, а чрезвычайно полезное качество для животных, которые должны опасаться хищников. Сам Франческо Джинелли полагает, что полученные результаты помогут понять поведение других групп животных, находящихся в стрессовой ситуации, в том числе и человека. И когда исследователи все поймут и проведут параллели, люди уже не будут с таким пренебрежением говорить об овцах.

## Помпони́й Квадрат

# О течении КОТОВ

**М**ысль об особой физической природе вещества, из которого сделаны кошки, наверняка приходила в голову многим котохозяевам. Достаточно понаблюдать, как любимая зверушка маниакально пытается влезть в любой встреченный на пути объем — обувную коробку, дорожную сумку, ведро для мытья полов или стильную стеклянную вазу. И самое удивительное, что ей это удается, даже если ее собственный объем значительно больше. Конечно, пушистые длинношерстные коты имеют немалый резерв для сжимания (в этом можно убедиться во время купания питомца — мокрый кот радикально теряет в объеме). Но все равно наблюдение сие поразительно, поэтому котовладельцев не слишком удивляет мысль, гуляющая в соцсетях: «Кот — это жидкость». Доказательства: жидкость принимает форму любого сосуда, в котором она находится; кот принимает форму любого сосуда, в котором он находится, следовательно, кот — это жидкость.

Оказывается, эта мысль завладела умами не только простых наблюдателей за кошачьей пластикой, но и ученых. Марк-Антуан Фарден, французский физик из университета в Лионе, прислал статью под названием «On the rheology of cats» — «О реологии кошек» в специализированный научный журнал «Rheology Bulletin» (2014, 83, 2, 16).

Реология — наука о течении веществ. Как напоминает автор статьи, ее девизом могло бы стать гераклитовское «Все течет!». Состояния вещества спокон веку различают по поведению их заметных количеств: в твердом состоянии тело сохраняет объем и форму, в жидком — сохраняет объем, но принимает форму сосуда, в газообразном — заполняет весь доступный объем. Недавно в рамках такой классификации уже было обнаружено наблюдение «15 доказательств того, что кошки — это жидкости» (<http://www.boredpanda.com/cats-are-liquids/>), а Фарден поставил перед собой задачу по-



а



б



в



г

казать методами современной реологии, что это утверждение верно.

Главная идея реологии — понимание, что состояние вещества зависит от времени. Те явления, которые мы описываем словами «сохраняет», «принимает» и «заполняет» (форму и объем), описываются строго математически. Поэтому в статье много формул, разобраться в которых не так-то просто.

Основная переменная — это время: время наблюдения  $T$  и время релаксации  $\tau$ , за которое с объектом происходит что-то интересное для нас; в нашем случае время, за которое объект принимает форму сосуда, иными словами, успокаивается. Из соотношения времени релаксации  $\tau$  и времени наблюдения  $T$  выводится «число Деборы»  $De$ :  $De = \tau/T$ . Важно, что оно безразмерное: оба времени можно измерять в секундах, можно в часах, но их отношение будет одинаковым. Число это названо в честь древнееврейской пророчицы и воительницы XI века до нашей эры. В ее песне в честь победы над врагами есть слова: «и горы растекались пред лицом Господа» (в синодальном переводе «горы таяли от лица Господа»). То есть с точки зрения огромных времен, доступных Создателю, горы — всего лишь жидкость.

Обычно  $T$  — это просто длительность наблюдения. Соответственно для газа

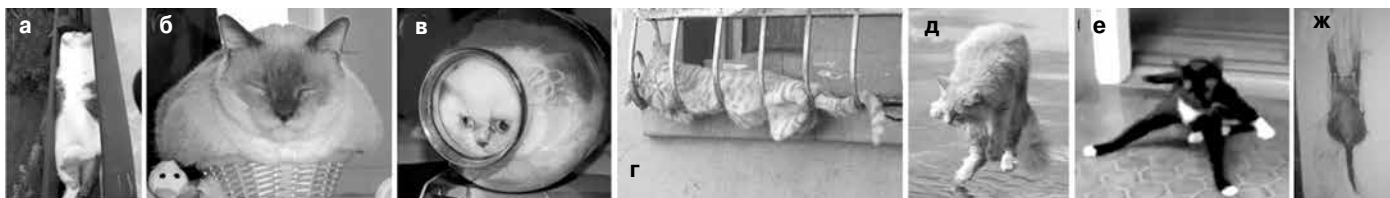
1

На коротких промежутках времени кошка ведет себя как твердое тело, на более значительных — как жидкость. Или даже газ

$\tau$  — это время заполнения газом пустого сосуда, и для привычных нам времен  $De \ll 1$ , то есть «за время наблюдения газ успевает заполнить сосуд и окончательно успокоиться». Аналогично для жидкости  $\tau$  — это время успокоения жидкости, залитой в сосуд, и  $De \ll 1$  снова означает «за время наблюдения жидкость успевает принять форму сосуда и окончательно успокоиться». Зато твердые тела вообще не меняют форму, если на них не давить, соответственно, для доступных нам времен наблюдения  $De \gg 1$ . Оказывается, что если рассматривать газ или жидкость на очень малых временах  $T$ , так, что  $De \gg 1$ , — их можно и нужно рассматривать как твердое тело: «за время наблюдения объект не успевает сколько-нибудь изменить форму, значит,

2

На реологические характеристики кошки могут оказывать влияние различные факторы: а — воздействие капиллярных сил; б — большой контактный угол с супергидрофобной поверхностью; в — помещение котенка в банку демонстрирует предельное напряжение; г — распространение кошки по крайней неровной поверхности; д — низкая аффинность кошки к воде; е — растекание кошки по гладкому полу; ж — адгезия кошки к вертикальной стене



его следует считать твердым». Напомним, что любой поток любого вещества — это последовательность деформаций.

При разных значениях числа Деборы одна и та же кошка может предстать и твердым телом, и жидкостью. На рис. 1а видно, что для  $De \gg 1$  кошка предстает твердым телом, зато на рис. 1б  $De \ll 1$ , и кошка выглядит как жидкость. Примерно зная время наблюдения  $T$ , мы можем оценить время релаксации  $\tau$  от 1 с до 1 мин для кошек среднего возраста. Для кошек постарше время релаксации может быть короче, тогда как совсем юные экземпляры могут не успокаиваться и по несколько часов. Пожилые кошки могут вообще занимать весь отведенный объем подобно газу (рис. 1б—г). Но доказательство того, что пожилые кошки превращаются в газ, выходит за рамки данной статьи.

Итак, число Деборы — это безразмерное выражение одной из главных для реологии идей — вязкоупругости. Чем больше число Деборы, тем более твердым/упругим будет наш объект; чем меньше — тем более жидким/текучим. Реология рассматривает только два состояния: твердое, которое деформируется, и жидкое/газообразное, которое течет.

Для сложных текучих веществ характерное время  $\tau$  может определяться множеством факторов, в том числе химией и биологией объекта. Автор рассматривает с точки зрения реологии протекание кошек по трубам, их растяжение в продольном и поперечном направлении, возможное влияние на это котооталкивающих и котопритягивающих материалов поверхностей. Как ни странно, земное тяготение усиливает зацепление кошек за котопритягивающие поверхности.

Обсуждается также вопрос о возникновении неустойчивости течения кошек при высоких скоростях. В линейной модели связь проста: если число Деборы много меньше единицы — объект текуч. Однако нелинейная теория предсказывает, что при скорости течения (или деформации) выше некоторого значения поток неизбежно становится нестабильным и хаотичным.

Этот процесс описывает число Рейнольдса:

$$Re = \tau/t,$$

где  $t$  — время деформации нашего объекта, примерно «время, за которое расстояние между двумя близкими частицами в потоке изменится в два раза». Пока скорость потока мала и  $Re \ll 1$ , поток течет плавно и ровно (ламинарно). При больших скоростях и  $Re \gg 1$  поток непрерывно бурлит и перемешивается, то есть становится турбулентным.

Остается вопрос: склонны ли кошки к нестабильности потока при росте  $Re$ ? Проблема в том, что, даже если мы знаем характерное время  $\tau$ , посчитать время

деформации  $t$  не так просто, поскольку кошка — активный объект. Как и другие биологические объекты — колонии бактерий, косяки рыб, стада овец, толпы школьников и т. п., — они склонны к спонтанному закручиванию; это явление можно наблюдать каждый раз, когда кошка пытается поймать собственный хвост.

В процессе подготовки статьи ни одно животное не пострадало.

**Н.Маркина, А.Антрианов**

## Комментарий специалиста

УЧЕНЫЕ ДОСУГИ

В школе учат, что есть три состояния вещества — твердое, жидкое и газообразное. Казалось бы, это очевидно. Однако на самом деле природа устроена сложнее. Все хозяйки знают, что «в хорошей сметане ложка стоит». Но сметана вроде бы жидкость, а в жидкости ложка стоять не должна. А краски? Художники наносят краску на холст и размазывают ее по поверхности, что возможно, поскольку краска жидкая и в процессе приготовления ингредиенты легко перемешиваются, как полагается жидкостям. Но почему же она не стекает с поверхности, как вода? А если вы красите забор, как герой Марка Твена, то стекает, но только до определенного предела. Так жидкость ли краска?

И уж совсем очевидный случай: что может быть более твердым телом, чем металл? Но вспомним, какие потрясающей тонкости и красоты рельефы и скульптуры изготавливали мастера из различных металлов, причем не литьем, а штамповкой и гравировкой. А как путем протяжки через фильеры и волочения из толстой проволоки получают тончайшие нити с микронным диаметром. Все это результат пластических (то есть необратимых) деформаций, которые, по существу, и есть течение — течение твердых материалов.

Сто лет назад американский исследователь Юджин Бингэм (E.S. Bingham) опубликовал статью, в которой было четко сформулировано понятие о вязкопластичности: нет жидкого или твердого *состояния*, а есть жидкоподобное или твердоподобное *поведение*. А как ведет себя вещество, зависит от многого. В случае вязкопластичных материалов — от величины нагрузки. А в других случаях, например вязкоупругих сред, — от времени наблюдения или длительности действия нагрузки.

Так что 1916 год — можно считать датой рождения новой науки, реологии (от греческих корней «рео» — течь и «логос» — смысл, закон), предмет которой как раз состоит в изучении свойств и поведения таких «промежуточных» сред, ведущих себя по-разному в зависимости от внешних факторов.

Был ли Бингэм первым? Конечно, нет. Как-то уже упомянутый Марк Твен сказал: «Хорошо было Адаму, если он говорил, то наверняка был первым». А после Адама — у всех и всегда были предшественники.

И библейская пророчица Дебора говорила о течении гор перед лицом Творца. И старые мастера создавали произведения искусства и оружие (дамасскую сталь) пластическими деформациями металлов, не зная реологии. И классики естествознания, например лорд Кельвин и Максвелл, упоминали о сочетании свойств жидкости и твердого тела. И одесский физикохимик Ф.Н.Шведов в 1890 году описал эффекты, связанные с вязкопластичностью.

Но, пожалуй, все же именно Бингэм создал парадигму, которая послужила толчком к созданию и развитию новой науки. Сегодня в мире существуют десятки лабораторий, специализирующихся именно в этой области, издаются не менее четырех общепризнанных международных журналов, публикующих статьи по реологии, выпускаются многотомные монографии. Реологический подход нашел практическое применение во многих областях техники: переработке полимерных материалов, добыче и переработке нефти, создании смазочных материалов и технологии продуктов пищевой, косметической и фармакологической отраслей промышленности.

В терминах реологии можно удачно описывать (в шутку и всерьез) многие явления: от движения оползней и ледников с гор до поведения кошек. И приводимая выше статья — удачный пример такого подхода.

Главный научный сотрудник РАН,  
доктор физико-математических наук

**А.Я.Малкин**

## Литература

А.Я.Малкин, А.Исаев. Реология: Концепции, Методы, Приложения. 2-е изд. СПб., «Профессия», 2010.



# Кластеризация: объединяй и властвуй

На юге темнеет рано. Нет еще и восьми, а небо уже усыпано звездами. Мы с подружкой потягиваем коктейли в летнем кафе.

За соседним столиком — мама с мальчиком лет пяти.

— Смотри, видишь Большую Медведицу? — говорит она. — Вон, четыре звездочки и хвостик из трех... а рядом с ней — Малая... а зигзаг видишь? Ну вон же, как буква М... Это Кассиопея.

— А кто это все придумал?

— Древние греки. Смотрели, какие звездочки рядом друг с другом, и объединяли их в созвездия.

Ну, насчет того, что рядом, — это она, конечно, махнула. Одна из самых ярких звезд Кассиопеи — Каф — находится всего лишь в 47 световых годах от нас, тогда как до Нави — центра буквы М — больше 600 световых лет. То есть по сравнению с Нави — это мы с Каф соседи. Но древние греки, как бедуины, пели о том, что видели. А видели они эти две звезды рядом.

Подруга щелкает пальцами у меня перед носом.

— Все-таки ты типичный интроверт, — говорит она. — Уже несколько минут сидишь и молчишь.

— Да, Оксаночка, интроверт, — отвечаю, — между прочим, многие великие ученые и писатели были интровертами. Рада, что у меня с ними есть хоть что-то общее.

Всё-то мы пытаемся классифицировать, объединить в группы: звезды — в созвездия, живых существ — в классы, роды, виды; а уж сколько разных групп и разбиений внутри одного вида *Homo sapiens*! Тут вам и нации, и касты, и семьи, и даже типы личности. В математике даже есть такое понятие, как кластерный анализ, — это многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы. Проще говоря, это объединение в группы (кластеры) по каким-то общим признакам. Методы кластеризации сейчас активно применяются в естественных науках, в том числе в биоинформатике — например, для обработки данных с микрочипов или анализа сетей взаимодействующих генов.

— Оксана, хочешь, я расскажу тебе про кластеризацию?

— Нет.

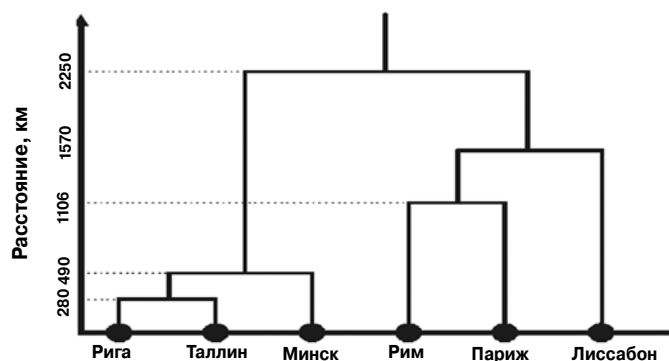
— Так вот. Сначала нужно определиться, по какому признаку, или признакам, мы разбиваем объекты на группы. Возьмем какой-нибудь абстрактный пятый «Б»: мы можем поделить детишек по успеваемости — отличники, хорошисты, отстающие, — или на мальчиков и девочек, или по цвету глаз, росту, и еще сотней способов — смотря что нам нужно. Сразу оговорюсь, что, даже когда признаки выбраны, далеко не всегда объекты можно поделить на группы однозначно. Поэтому методов кластеризации довольно много, и каждый хорош по-своему.

Иерархический подход предполагает, что мы можем поделить наши объекты на любое количество групп — от одного до числа рассматриваемых нами объектов, тогда в каждом кластере будет по одному объекту. Представь себе, что нам нужно сгруппировать несколько городов по географическому положению. Пусть это будут Рига, Лиссабон, Париж, Минск, Таллин и Рим. Сейчас мы с тобой наугуглим расстояния между

этими городами и построим дендрограмму, то есть графическое изображение сходства объектов.

Я достала из сумки планшет, открыла карту Европы, графический редактор и принялась чертить.

— Смотри, по вертикали у нас две группы по три города в каждом. Ближе всего друг к другу находятся Рига и Таллин, их мы объединим первыми. Если на этом остановиться, получится пять кластеров. Но мы пойдем дальше. Ригу и Таллин мы уже рассматриваем как единую систему, центр которой находится в Рижском заливе; к ней ближе всего Минск. Объединяем. Следующими идут Париж и Рим, к ним примыкает Лиссабон — вот мы и получаем две группы по три города в каждом. Можно на этом остановиться, потому что следующее объединение приведет к одному кластеру из всех шести городов.



— А если к этому списку добавить Пхеньян?

— Ну, будет три кластера. Или если наша задача — разбить города строго на две группы, то придется объединить все шесть предыдущих городов в одну, а Пхеньяну выделить отдельный кластер, уж слишком он далеко.

— Да он и сам не захочет с империалистами дело иметь, — засмеялась Оксанка.

— Это точно! Кстати, знаешь, кто самый главный кластеризатор в биологии? Карл Линней! Ведь именно он создал единую систему классификации животных и растений и построил для них дендрограмму — похожую на нашу, только несравнимо больше... Сообщество живых существ он поделил на царства, каждое царство — на классы, порядки или отряды, их — на роды, роды — на виды.

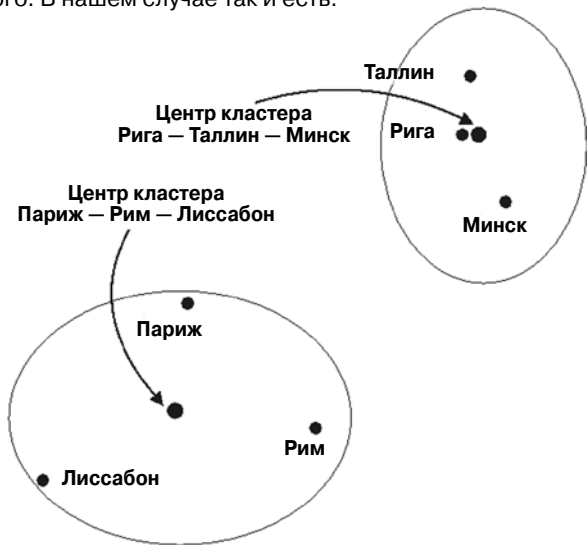
— А до Линнея животных от растений не умели отличать?

— Животных от растений умели, но в сложных случаях путались. Вот пион и роза — правда, похожи? А они ведь принадлежат разным порядкам. Причем даже великий Линней иногда ошибался в своих трудах, потому что признаком его кластеризации были лишь внешние свойства организма. А что ему оставалось делать, в восемнадцатом-то веке? Сейчас его систематика во многом дополнена и переработана. Так стоит ли винить эту женщину, — я кивнула на маму мальчика, — или древних греков за их поэтический, хотя и не очень точный подход к кластерному анализу? Так ли важно, что между звездами сот-

ни световых лет, если они складываются в фигуру прекрасной, но объятай гордыней царицы Кассиопеи? Ну да ладно, я тебе еще про остальные методы кластеризации не рассказала.

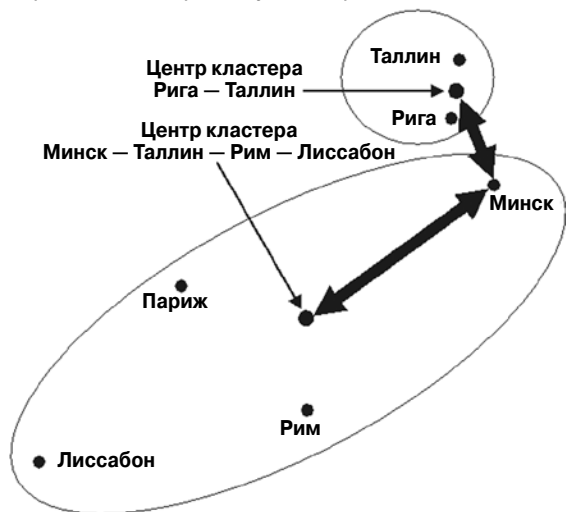
— Еще по «Лонг-Айленду», пожалуйста, — мрачно сказала Оксана официантке и тоскливо посмотрела на двух симпатичных мужчин у барной стойки.

— Так вот. Есть еще метод *k*-средних. Число кластеров *k* определяется заранее, и из всего множества случайным образом выбирается *k* объектов, которые на первом шаге станут центрами кластеров. Возьмем нашу задачу с городами. Пусть мы хотим разбить их на две группы, и начальными центрами будут Париж и Таллин. Смотрим, какие города ближе к Парижу, какие — к Таллину. И получаем тот же результат, что и в прошлый раз! Но это еще не все. Дальше мы считаем координаты центров каждого кластера и проверяем, действительно ли каждый город ближе всего к центру своего кластера, а не чужого. В нашем случае так и есть.



— А что бы было, если бы с самого начала за центры кластеров мы взяли близко расположенные города, допустим Таллин и Минск? Куда отнесся бы Лиссабон?

— Выбор центра кластера в самом начале — это еще не окончательное решение! На первом шаге — действительно, Рига примкнет к Таллину, а три остальных города — к Минску. Но когда мы рассчитаем центры, то увидим, что Минск ближе к центру кластера Рига — Таллин. Поэтому он переходит к ним и мы возвращаемся к предыдущей картинке.



Есть еще методы, основанные на распределениях, — гауссовом, например. Мы допускаем, что объекты подчиняются куполообразному распределению с пиком в центре кластера.



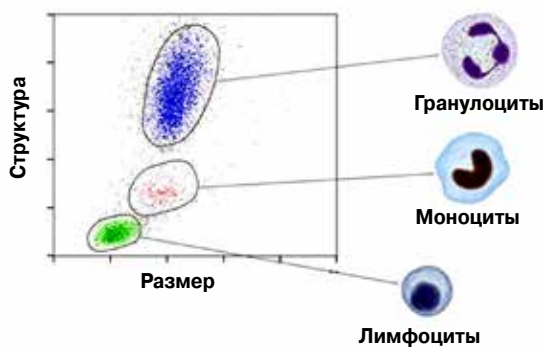
## МАТЕМАТОРЫ

Еще можно воспользоваться нечеткой логикой и не брать на себя ответственность за «непонятные» точки, просто решив, что они могут принадлежать обеим группам с определенными значениями функции принадлежности. Но самый точный и изящный, на мой вкус, метод основан на предположении, что внутри кластера плотность точек намного больше, чем вне его, — что в принципе очень даже логично. То есть если у точки много соседей из какой-то группы, то и она, скорее всего, принадлежит той же группе. Это поможет выделить протяженные кластеры. Давай, например, найдем какие-нибудь данные проточного цитометра...

Я снова достала планшет.

— Вот, смотри. Клетки крови плывут в потоке жидкости, на них светит лазер. По тому, как долго проплывающая клетка заслоняет луч, можно оценить ее размер. По тому, насколько сильно она этот луч отклоняет, определяем, насколько гладкая у нее поверхность. Дальше строим двумерный график, где по одной оси — размер клетки, по другой — ее структура. Получаем три кластера — от самых больших и гранулярных клеток, они так и называются — гранулоциты, до маленьких и гладких лимфоцитов. Вот здесь явно нужно кластеризовать, отталкиваясь от плотности точек. Потому что если бы мы использовали метод *k*-средних, то часть гранулоцитов пришлось бы отнести к кластеру моноцитов, так как они явно ближе к его центру.

Размер и структура клеток крови



Методов на самом деле много, и все это дико интересно. Я сейчас рассказала тебе очень упрощенно, потому что сложно конкурировать с теми парнями у барной стойки за твоё внимание. У одного только иерархического подхода куча разных вариаций. Так что придется тебе обратиться к литературе, если сама захочешь заняться кластеризацией.

— Это мне еще зачем?

— Ну, ты вот все время твердишь, что я интроверт, это ведь тоже отнесение объекта некоторой группе. Но критерии интроверсии настолько размыты, а каждый человек настолько индивидуален, что я бы вообще не стала делить людей на группы по отдельно взятым психологическим признакам...

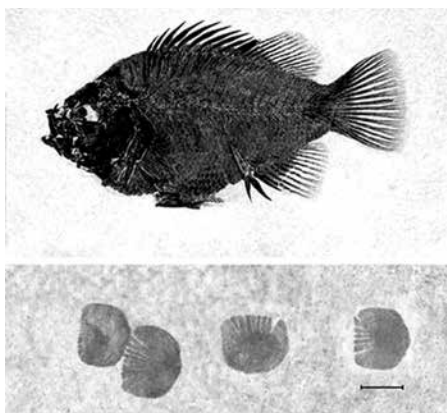
— Нет, ты не интроверт, — задумчиво сказала Оксана, допивая свой коктейль. — Ты просто зануда.

**С.Рубина**

# Динокурятина

Е. Котина

«Злосчастная тварь устроила замыкание и угробила установку ценой в двести тысяч долларов. Мы были окончательно разорены, а взамен нам достался хорошо зажатый динозавр. Нас только слегка опалило, зато он, бедняга, получил полную порцию электроэнергии. Мы сразу почувствовали это, такой аромат носился в воздухе. Я осторожно ткнул динозавра щипцами. Обугленная кожа от прикосновения сместилась, обнажив белую, как у цыпленка, сочную плоть. Я не удержался и попробовал. Это было потрясающе вкусно...»

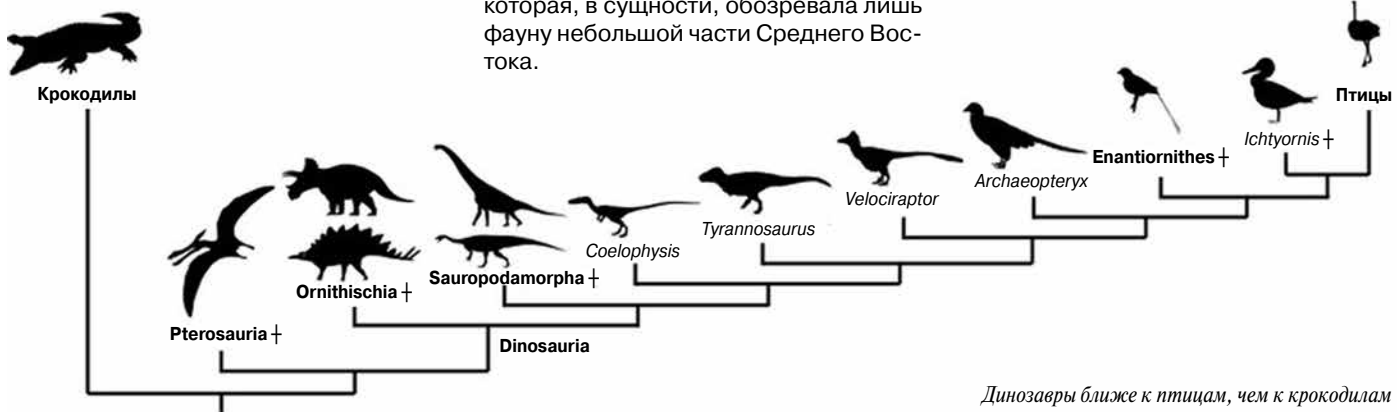


Эоценовая рыба *Cockerellites liops* из отряда окунеобразных, вероятно, кошерная

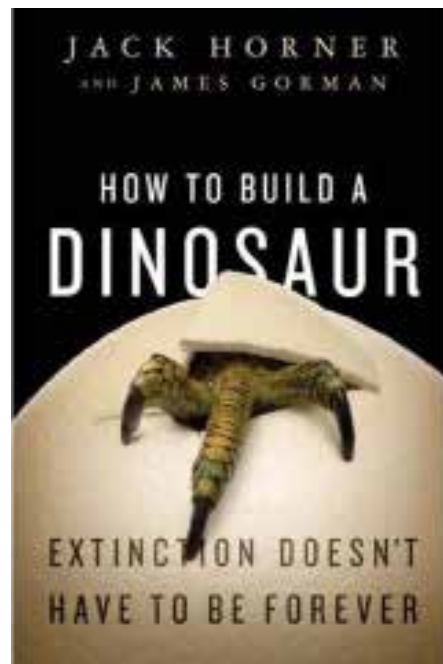
Рассказ Айзека Азимова «Памяти отца» («Химия и жизнь», 1983, № 10, перевод Р. Вадиевой) был написан в 1975 году. И полувек не прошло, а динозавры рядом с нами, вполне возможно, что и съедобные, уже не кажутся чем-то нереальным. Правда, теперь-то мы понимаем, что их добудут не физики — проекты машины времени что-то слабо развиваются, — а биологи.

Для начала стоит решить важнейший вопрос: кошерны ли динозавры? Конечно, авторам исследования, результаты которого опубликованы в журнале «Evolution: Education and Outreach», вряд ли так уж необходимо было узнать, «что можно есть еврейскому путешественнику во времени». Интереснее другое: благодаря методам палеонтологической реконструкции мы можем рассматривать вымерших животных почти так же детально, как если бы они уже гуляли по нашим лабораторным столам. Кроме того, авторы статьи напоминают, что лучший способ разбудить студента или школьника — неожиданная постановка вопроса.

Тора делит животных на тех, которых можно есть, и тех, которыми надлежит гнущаться, на основании морфологии и поведенческих особенностей. Кроме того, приводятся перечни разрешенных и запрещенных к поеданию животных. Эти перечни тщательно анализируют современные эксперты на предмет выявления дополнительных закономерностей: в XXI веке часто приходится определять кошерность животных, никоим образом не упомянутых в Торе, которая, в сущности, обозревала лишь фауну небольшой части Среднего Востока.



Динозавры ближе к птицам, чем к крокодилам



Обложка книги Джека Хорнера «Как создать динозавра». Конечно, из курицы, из кого же еще?

Естественно, трое палеонтологов не ограничились динозаврами, уделив внимание и другим группам. Например, можно есть «всякий скот, у которого раздвоены копыта и который жует жвачку», но не верблюда. Очевидно, дело в том, что у верблюда не настоящие копыта: он опирается на фаланги пальцев, а не на их концы, покрытые роговыми «футлярами». Стало быть, бизон кошерен, лама — нет. А как быть с многочисленными вымершими копытными? Парнокопытных от непарнокопытных отличить несложно. Забавно, кстати, что многие ископаемые родственники верблюда имеют шанс оказаться кошерными: они опирались на кончики пальцев. Сложнее узнать, жевал ли



А вот таким будет скелет курозабра

данный парнокопытный жвачку, то есть отрыгивал ли проглоченную траву, чтобы пережевать повторно и отправить в другую камеру желудка: если нет, то место ему рядом со свиньей. Строение зубов жвачных и нежвачных травоядных отличается не особенно сильно. Желудки с их камерами, естественно, не сохранились. Не исключено, что тут поможет изотопный анализ — соотношение изотопов углерода  $C_{12}$  и  $C_{13}$ . Оно зависит от диеты животного, наверняка на нем отражается и участие в пищеварении бактерий, характерных для жвачных. Но эта методика пока не разработана. А вот положение животного на филогенетическом древе может сказать многое: если оно принадлежало к группе, все невымершие члены которой жуют жвачку, можно достаточно уверенно утверждать, что оно тоже было жвачным.

Книга Левит разрешает есть «тех, у которых есть голени выше ног, чтобы скакать ими по земле». Эта загадочная фраза разъясняется примерами: речь идет о саранче и других представителях отряда прямокрылых, с некоторыми сомнениями по поводу сверчков. Дозволено также рыба, имеющая чешую (чешую определенного типа, добавим: дискуссии о кошерности осетра продолжаются до сих пор). И если жвачные животные появились лишь в позднем эоцене, то рыбы с подходящей чешуей известны с юрского периода, а древнейшие прямокрылые жили в каменноугольном периоде — возможно, даже 316 млн. лет назад. Диета еврейского путешественника в более отдаленные

времена будет вегетарианской — и весьма скудной, учитывая тот факт, что покрытосеменные растения еще не появились.

Динозавры, скорее всего, некошерны. Правда, их нельзя отнести к тем, кто пресмыкается по земле, как «ящерица с ее породю: в отличие от современных рептилий, однозначно некошерных, они ходили на довольно-таки прямых лапах. Их близкие родственники среди современных групп — как ни странно, птицы.

Кого считать птицами — вопрос непростой. Можно ответить: «Всех ныне живущих птиц и их предков вплоть до последнего общего предка» — но тогда птицами не окажутся ихтиорнис и археоптерикс, что как-то неправильно. Если же относить к птицам и непредковые вымершие виды, более близкие к современным птицам, нежели к другим группам, — велоцираптор еще туда-сюда, но положить в ящик «птицы» трицератопса рука не поднимается... Так или иначе, многие птицы кошерны, значит, могут быть кошерны и родственные им вымершие существа. Гнущаться следует хищных птиц, рыбоядных и падальщиков — но среди динозавров были и травоядные. Однако в список запрещенных попали страус и зуек, поэтому сведущие люди считают, что под подозрением все нелетающие птицы и (или) не имеющие на лапе пальца, который смотрит назад и гомологичен нашему большому пальцу. Такого пальца у динозавров нет. Увы.

Эти нюансы можно учесть, приступая к проектированию современного динозавра на базе курицы. Кроме шуток, изменений на генетическом уровне понадобится минимум. Клюв заменить мордой, в пасти вырастить зубки, крылья превратить обратно в лапы, а сзади придумать длинный хвост — и готов миниатюрный кузен велоцираптора. Что касается оперения, мелкие динозавры — а возможно, даже великие и ужасные тираннозавры! — были покрыты пухом и перьями, а не чешуей. Поэтому перья можно оставить, разве что расцветку выбрать посерьезнее: над беленькими и пестренькими динозаврами люди будут

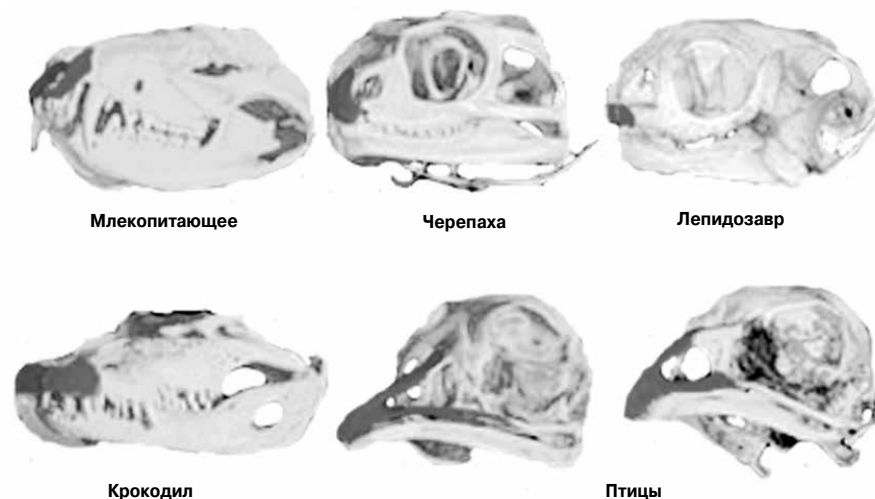
смеяться. Можно было бы взять страуса или гоацина, в морфологии этих птиц много архаичных черт. Но куры изучены намного лучше, и их легче содержать в лаборатории.

Проектированием курозабра всерьез увлекся известный палеонтолог и молекулярный биолог Джек Хорнер, тот самый, кто в 70-е годы прошлого века нашел гнезда динозавров и доказал, что по крайней мере некоторые из них забиты о потомстве. Он был научным консультантом фильма «Парк юрского периода» и даже, как говорят, прототипом доктора Алана Гранта. Идея проекта и возникла из обсуждения ранних вариантов сценария: «А почему бы не сконструировать динозавра на самом деле?» Мало оснований надеяться на то, что будет найдена неповрежденная ДНК динозавра: эти животные гораздо древнее неандертальца, органические молекулы не хранятся десятки миллионов лет. Но у нас есть ДНК птиц, и мы можем определить, какие изменения внести в нее, чтобы выключить признаки птицы и включить признаки зубастого пращура. Джек Хорнер даже написал об этом популярную книгу «Как сделать динозавра».

Ученые решили начать с хвоста. У современных птиц хвост — это копчиковая кость, или пигостиль: несколько сросшихся позвонков, создающих опору для рулевых перьев. Но так было не всегда, вспомним того же археоптерикса. Команда Хорнера суммировала имеющиеся сведения о механизмах формирования хвостов у позвоночных и, в частности, нашла 23 мутации, которые вызывают аналогичное укорочение хвоста у мышей. Это поможет составить список генов-кандидатов, мутации в которых подарили птицам короткие хвосты. И если сделать соответствующие замены в геноме цыпленка, наверное, вылупится хорошенький пушистый птенчик с длинным ящеричным хвостиком.

Пока это не проверили на практике, зато недавно другая группа ученых получила эмбрионы цыплят со змеиным рылом. Ведущие авторы работы — Бхард-Анджан Бхуллар (Йельский университет,





У эмбрионов кур в эксперименте не только не развился клюв — премаксиллы у них парные, короткие и округлые, — но и нёбная кость приобрела черты, характерные для рептилий. Внизу — премаксиллы у разных групп животных

университет Чикаго) и его научный руководитель Архат Абжанов (Гарвардский университет). Они подчеркивают, что их задача — ни в коем случае не создание динокуриц, а исследование важнейшего эволюционного события — возникновения клюва.

Успеху птиц как класса во многом способствовали именно клювы, в частности огромное разнообразие их форм (помните сказку Виталия Бианки «Чей нос

лучше?»). Было бы интересно узнать, что произошло с кем-то из маленьких динозавриков, отчего миниатюрные косточки в передней части челюсти (премаксиллы, или межчелюстные кости) образовали этот странный вырост, — иначе говоря, установить, какие молекулярные механизмы формируют скелет клюва.

Ученые сравнили активность генов в эмбрионах кур, эму, аллигаторов, ящериц и черепах. Оказалось, что птицы отличаются от рептилий рисунком активации двух сигнальных систем, отвечающих за развитие лицевого скелета на ранних этапах развития. Определенные

гены начинают работать в определенных участках будущей морды, и у птиц эти участки гораздо обширнее. А что, если нивелировать птицеспецифическую активность? Ученые сделали это, вырезав в яйцах окошки и поместив в нужные точки эмбрионов бусины из пористого материала, пропитанные специальными веществами — ингибиторами этих сигнальных систем.

Опыт удался. «Экспериментальные животные не имеют клюва, у них сформировались широкие округлые морды. Однако им по-прежнему не хватает зубов, а морды покрыты роговым чехлом», — говорит Бхуллар. Впрочем, эмбрионы цыплят с зубами, похожими на зубы архозавров или, если угодно, крокодилов, были получены еще в 2006 году («Current Biology», 2006, 16, 4, 371—377). Правда, у зубов нет эмали — птицы утратили гены, отвечающие за ее образование. Тут опять понадобятся трансгенные технологии. Короче говоря, еще немного усилий, и можно будет собрать куро-завра согласно пошаговой инструкции.

Критики скажут: что за дурацкая затея, кому нужен уродливый цыпленок, якобы похожий на динозавра? Но дело не только в динозавре (хотя спонсором проекта Джека Хорнера выступает сам Джордж Лукас и, наверное, его обрадует зубастый монстрик). Важное направление современной науки — эволюционная биология развития, она же «эво-дево», одна из задач которой — выведение хода эволюции из хода индивидуального развития. Статьи с названиями, потешающими журналистов и блогеров, могут содержать серьезные научные результаты. Делая динозавра из птицы, мы узнаём, как птица получилась из динозавра — и многое другое, что касается всех нас, позвоночных.

#### Литература

Roy E. Plotnick, Jessica M. Theodor, Thomas R. Holtz. Jurassic Pork: What Could a Jewish Time Traveler Eat? *Evolution: Education and Outreach*. 2015, 8, 17, doi:10.1186/s12052-015-0047-2, <http://www.evolution-outreach.com/content/8/1/17>.

Dana J Rashid, John R Horner et al. From dinosaurs to birds: a tail of evolution. *EvoDevo*. 2014, 5, 25, doi: 10.1186/2041-9139-5-25.

Bhart-Anjan S. Bhullar, Arhat Abzhanov et al. A molecular mechanism for the origin of a key evolutionary innovation, the bird beak and palate, revealed by an integrative approach to major transitions in vertebrate history. «*Evolution*», 2015, 69, 7, 1665—1677, doi: 10.1111/evo.12684/



# Московский Дом Книги

## СЕТЬ МАГАЗИНОВ



КНИГИ

**Ричард Форти**

Трилобиты. Свидетели эволюции  
Альпина нон-фикшн, 2013



**П**еред нами первая популярная книга на русском языке о трилобитах. Миллионы лет назад эти необычайные животные самых немислимых форм и размеров, хищные и смиренные, крошки и гиганты, царили в океанах и на суше... а потом исчезли.

**А.Д. Таганович,  
Э.И. Олецкий, И.Л. Котович;  
под ред. А.Д. Тагановича**  
Патологическая биохимия  
Бином, 2013



**В** монографии приведены современные сведения о молекулярных механизмах происхождения и развития широко распространенных патологических процессов и заболеваний. Рассматриваются вопросы катаболизма лекарственных препаратов с участием цитохромов P450 и использования накопленных знаний в области молекулярной биологии для генной терапии и диагностики.

**Роджер Пенроуз**

Циклы времени.  
Новый взгляд на эволюцию Вселенной  
Бином. Лаборатория знаний, 2013



**Р**оджер Пенроуз, крупнейший математик и физик-теоретик, популяризатор науки, коллега и соавтор легендарного Стивена Хокинга, продолжает развивать свои новые космологические идеи и дает неожиданный ответ на вопрос о том, что предшествовало Большому взрыву.

**Ж.А. Медведев,  
Р.А. Медведев**

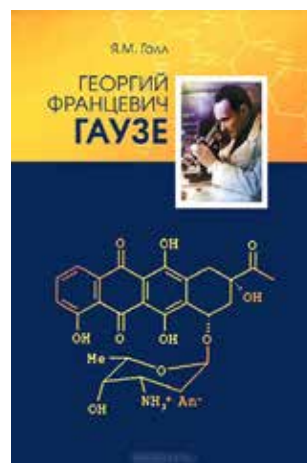
Взлет и падение Т.Д. Лысенко.  
Кто сумасшедший?  
Время, 2012



**К**нига «Взлет и падение Лысенко», озаглавленная в первой редакции 1962 года «Биологическая наука и культ личности», широко циркулировала в самиздате, многократно дополнялась в 1963—1966 гг. Самиздатский вариант оказал существенное влияние на восстановление в СССР классической генетики и традиционных научных исследований в биологии, способствуя ликвидации псевдонаучных теорий

**Я.М. Галл**

Георгий Францевич  
Гаузе (1910—1986)  
Нестор-История, 2013



**К**нига представляет собой первую научную биографию одного из самых выдающихся ученых XX века — Георгия Францевича Гаузе, автора фундаментальных исследований в области экологии, теории эволюции, стереоизомерии клетки. Он сформулировал закон Гаузе, или принцип конкурентного исключения, который стал теоретическим фундаментом современной экологии.

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

# С.В.Мейен: у истоков неклассической биологии

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

*17 декабря 2015 года исполняется 80 лет со дня рождения Сергея Викторовича Мейена (1935–1987) — выдающегося советского палеонтолога и геолога, талантливого и оригинального философа.*

*Отец С.В.Мейена был ихтиологом, увлекался философией и разработал свою собственную философскую систему. В октябре 1941 года он был арестован по доносу и в 1942 году умер в лагере.*

*В школьные годы С.В.Мейен занимался в кружке при Палеонтологическом институте АН СССР, где общался со многими выдающимися палеонтологами. Кроме того, он окончил музыкальную школу по классу виолончели. В 1953–1958 годах учился на геологическом факультете МГУ, где специализировался по палеонтологии. С 1958 года до конца жизни работал в Геологическом институте АН СССР. С.В.Мейен занимался многими научными проблемами, но в центре его внимания была палеоботаника.*



С.В.Мейен

## Эволюция растений

Исследуя распространение древних и современных растений по земному шару, С.В.Мейен сформулировал концепцию фитоспрединга. Согласно этой концепции, новые систематические группы растений возникали в тропиках и оттуда начинали свое путешествие по Земле. В экваториальных областях архаично устроенным растениям было трудно выжить: их вытесняли все более новые и более совершенные конкуренты. Поэтому архаичные формы перемещались во внеэкваториальные районы, куда валы миграции более совершенных видов еще не успели дойти. Этот вывод подтверждается палеоботаническим материалом. Независимо от С.В.Мейена аналогичные идеи высказал американский биолог Джеймс У. Валентайн.

Изучая разнообразие ископаемых голосеменных, С.В.Мейен создал четкую терминологию для описания их морфологических особенностей — в первую очередь особенностей строения органов размножения. Мейен предложил разделить эту группу на три ветви: гинкгообразные, саговникообразные, хвойные. Отличительным признаком, по которому можно судить о принадлежности современного или ископаемого растения к той или иной ветви, Мейен считал устройство семязачатков — структур, из которых образуются семена. У гинкгообразных семязачатки сплюснены (радиальная симметрия второго порядка), у саговникообразных — округлые в поперечном разрезе, а у хвойных к округлому «первичному» семени с двух боков приросли другие структуры, в результате чего семязачатки кажутся сплюсненными. Эти признаки жестко выдерживаются в соответствующих ветвях голосеменных.

В настоящее время семенные растения делят на пять групп: гинкгообразные, саговникообразные, хвойные, гнетумообразные, покрытосеменные. Все больше ботаников считают эти группы самостоятельными отделами, отказываясь от представлений о едином отделе голосеменных. В зоологии то

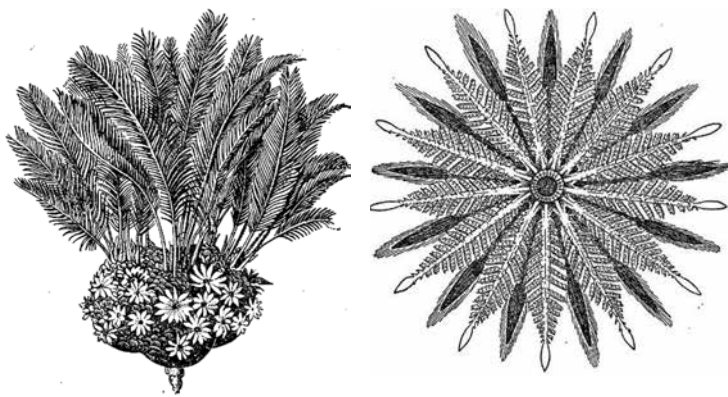
же самое происходит с пресмыкающимися, которых многие исследователи делят на несколько классов. Похоже на то, что голосеменные и пресмыкающиеся — не систематические группы, а определенный уровень эволюционного развития, достигнутый представителями нескольких групп.

У покрытосеменных семязачатки такие же, как и у саговникообразных (но от голосеменных их отличает многое другое), а у гнетумообразных единства нет: у гнетума и вельвичии они округлые, у эфедры — сплюсненные. Поэтому Мейен распределил гнетумообразных между гинкгообразными и саговникообразными. С этой точкой зрения согласны далеко не все ботаники.

## Происхождение цветка

Интересовался С.В.Мейен и проблемой происхождения покрытосеменных растений. Со школьных уроков ботаники мы помним, что голосеменные — более древняя группа, и резонно было предположить, что покрытосеменные произошли от какого-то представителя голосеменных. У большинства покрытосеменных в цветках есть и тычинки, и пестики, то есть цветок обоеполый. А в спороносных колосках почти всех голосеменных — либо только микроспорангии с пыльцой, либо только мегаспорангии (семязачатки). Единственное исключение — вымершие беннеттиты, имевшие обоеполые спороносные колоски. Но, увы, женских мегаспорофиллов (чешуй, на которых сидят семена) у беннеттитов нет: семена сидят прямо на веточках. Поэтому беннеттиты — плохие кандидаты на роль предков покрытосеменных: ведь пестик должен был образоваться из сросшихся краями мегаспорофиллов.

Ботаники считали, что при образовании покрытосеменных мужские и женские спороносные колоски срослись. По гипотезе Адольфа Энглера и Рихарда Веттштейна, это произошло уже после появления покрытосеменных, то есть первые по-



*Беннеттиты — полностью вымершая группа голосеменных, с прямыми или клубневидными стволами и перистыми листьями. Справа — обополая шишка («цветок») беннеттита на мужской стадии развития. (Из книги Н.А.Буша «Курс систематики высших растений»)*

крытосеменные имели однополые цветки. Согласно гипотезе Чарльза Бесси и Ханса Галлира, первые покрытосеменные уже имели крупные обополые цветки. В этом случае срастание мужских и женских споронных колосков должно было произойти до появления новой группы.

С.В.Мейен предложил интересную альтернативную идею. Он полагал, что срастания споронных колосков не было вообще, а в результате одной или небольшого числа мутаций семена стали развиваться на поверхности микроспорофиллов, то есть тычинок. Такие тычинки с разместившимися на их поверхности семенами перестали производить пыльцу и в ходе дальнейшей эволюции превратились в пестики. Если эта гипотеза верна, то беннеттиты можно вернуть в число кандидатов на роль предков покрытосеменных. Сам Мейен считал их кандидатуру весьма вероятной.

Однако исследование первичных структур ДНК голосеменных и покрытосеменных, проведенное уже после смерти Мейена, показало, что последний общий предок ныне живущих голосеменных не был предком покрытосеменных. Иными словами, линия, ведущая к покрытосеменным, отделилась от общего ствола раньше, чем разошлись линии, ведущие к разным группам современных голосеменных. А беннеттиты обособились от других голосеменных, по-видимому, недавно. Поэтому их кандидатура на роль предков покрытосеменных вновь стала сомнительной. На сегодня вопрос о возможных предках покрытосеменных остается открытым.

В 2000 году Майкл Фролих и Дэвид Паркер («Systematic Botany», 200,25, 2, 155—170, doi: 10.2307/2666635) попытались подвести генетическую основу под гипотезу Мейена о переносе семязачатков на микроспорофиллы.

Свои взгляды на родственные связи и эволюцию семенных растений С.В.Мейен изложил в книге «Основы палеоботаники» (М.: Недра, 1987). В этой книге Сергей Викторович привел богатый материал об ископаемых растениях, который и сегодня будет интересен любознательному читателю.

## От «коллекционирования марок» к диатропике

Помимо палеоботаники С.В. Мейен интересовался общей теорией систематики и теорией эволюции. В этих областях он придерживался весьма неортодоксальных взглядов.

Размышления над теоретическими проблемами систематики привели Мейена к мысли о необходимости специальной научной дисциплины, изучающей разнообразие в самых разных сферах: в неживой и живой природе, в языках, в искусстве и т. д. Эта дисциплина начала развиваться после смерти С.В.Мейена и получила название «диатропика» (термин ввел в 1990 году духовный ученик С.В.Мейена Ю.В.Чайковский).



Обычные научные дисциплины изучают объекты. А диатропика — ряды неодинаковых объектов, обладающих каким-то общим свойством. При этом она пытается вскрыть закономерности разнообразия объектов внутри рядов и черты сходства между разными рядами. Систематическую группу живых организмов С.В.Мейен рассматривал как ряд, члены которого — систематические группы низшего уровня.

Давайте рассмотрим конкретные примеры. Большинство представителей отряда грызунов — мелкие растительноядные животные. Их главная проблема — защита от хищников, и они защищаются разными способами. У дикобраза появляются иголки, белка поселяется на дереве, ондатра уходит в воду, мышь быстро размножается, крыса наращивает социальные навыки, необходимые для жизни в стае, и агрессивность, сурок и суслик прячутся в норе, а слепыш и цокор вообще переходят к жизни под землей. Но ведь сходные приспособления возникают и в других отрядах. У ежа появляются иголки, крот уходит под землю, выхухоль — в воду, кролик прячется в норе, древесный заяц, подобно белке, осваивает жизнь на дереве. У нас получается нечто вроде Периодической таблицы Д.И.Менделеева, в которой строки — это систематическое положение вида, а столбцы — приспособления к защите от хищников.

В 1974 году С.В.Мейен выдвинул идею использования в биологии периодических таблиц. Он отмечал, что периодичность в морфологии живых существ может быть связана не только с появлением сходных приспособлений в разных группах, но и просто с однотипной изменчивостью. На это указывал еще Н.И.Вавилов, формулируя закон гомологичных рядов наследственной изменчивости.

В реальной жизни для исследователя бывает доступной лишь часть ряда. Но и по этой части можно сделать заключения о тенденциях изменчивости и предсказания о неизвестных членах, входящих в этот ряд. Предсказания, разумеется, статистические: такие-то признаки у неизвестных членов ряда будут встречаться часто, а такие-то крайне маловероятны.

Исследования распределений типов семян с разным характером симметрии по группам голосеменных, проведенные С.В.Мейеном, показали, что представители одной группы имеют семена с однотипной симметрией. В эту закономерность не укладывается только эфедра, поэтому Мейен переместил эфедру в гинкгообразные.

С.В. Мейен ввел в систематику понятие «мерона» — некоего варьирующего в ряду признака. Например, конечность позвоночного животного может быть плавником, лапой, ластом, крылом, рукой. Наконец, у змей конечности исчезают вовсе.

Мейен показал, что в разных рядах мероны могут варьировать сходным образом. Такое сходство в варьировании меронов он назвал рефреном.

Понятию «мерон» С.В. Мейен противопоставил понятие «таксон» — сам ряд, в котором мы наблюдаем вариации мерона. Применительно к биологии таксон — большая группа живых организмов, объединенная общим свойством (как пра-

вило, предполагаемым родством). Мейен разработал новую методологию систематики живых существ — мероно-таксономический анализ, учитывающий не только общие признаки групп, но и закономерности внутригрупповой изменчивости.

Еще одна идея диатропики: ряд имеет ядро и периферию. В ядре должны находиться среднестатистические представители ряда, а на периферии — сильно отличающиеся от них формы. Некогда в отряде грызунов были звери размером с быка! Это — несомненная периферия, точно так же, как умеющие летать рукокрылые — периферия подкласса плацентарных млекопитающих.

Принадлежность членов ядра к своей систематической группе обычно не вызывает сомнений. А для того, чтобы включить в систематическую группу ее периферию, порой требуются специальные исследования. Сразу ведь и не поверишь, что животное величиной с быка — это грызун.

Представление о ядре и периферии по-новому ставит вопрос о типичных представителях систематической группы. В качестве такового разумно рассматривать существо, имеющее все или почти все признаки, характерные для большинства членов группы. Его изучение даст нам наибольшую информацию о группе в целом. И, что не менее важно, мысленно преобразуя типичного представителя, мы из его устройства сможем логически вывести устройство менее типичных. Разумеется, типичный представитель будет находиться в ядре группы.

С этой точки зрения можно ли считать пресноводную гидру типичным представителем кишечнополостных? Наверное, нет, хотя школьный курс зоологии и назначил ее на этот пост. Ведь в жизненном цикле гидры нет стадии медузы, характерной для многих кишечнополостных. Гидра явно находится на периферии группы, а на роль типичного представителя куда лучше подходит, например, обелия.

Можно ли считать изучаемого в школе печеночного сосальщика типичным представителем класса дигенетических сосальщиков? Тоже нет. Жизненный цикл дигенетических сосальщиков, как правило, включает в себя смену трех хозяев, а у печеночного сосальщика второй хозяин явно выпал. Точно так же и солитера нельзя назвать типичным представителем класса цестод, ибо из его жизненного цикла невозможно логически вывести жизненные циклы связанных с водой низших представителей этого класса.

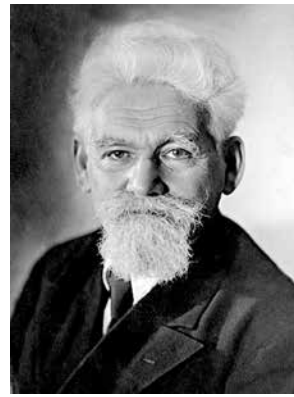
На самом деле еще стоило бы обсудить, разумно ли в школьном курсе начинать изучение той или иной систематической группы с типичного представителя. Но коль скоро мы это делаем, представителя нужно выбирать грамотно.

Эрнест Резерфорд говорил, что все науки делятся на физику и коллекционирование марок. Под коллекционированием марок он понимал изучение разнообразия чего бы то ни было, что, по мнению великого физика, — удел второстепенных наук, в которых нет никакой внутренней логики. Диатропика показала, что в основе «коллекционирования марок» тоже существует внутренняя логика, и поиск ее — в высшей степени увлекательное занятие. А зачастую (например, при анализе разнообразия химических элементов) за этой внутренней логикой стоит очень серьезная физика.

Основная идея С.В.Мейена, связанная с систематикой, заключалась в том, что теоретической основой систематики живых организмов должна стать общая наука о разнообразии.

## Эволюция обретает направление

Активно интересовался Мейен и теорией эволюции. В этой области знаний существует множество направлений, приверженцы которых зачастую враждуют друг с другом. С.В. Мейен попытался интегрировать синтетическую теорию эволюции, принятую большинством ученых, с одной из противостоящих ей концепций — номогенезом.



Л.С.Берг

Концепцию номогенеза выдвинул в начале 1920-х годов русский биолог и географ Л.С.Берг (1876—1950). По его мнению, исходный материал для эволюции — не разнонаправленные наследственные уклонения, а массовые изменения особей в одном направлении. Характер этих изменений и обеспечивает направление эволюции. При этом эволюционные изменения вовсе не обязательно будут приспособительными. В качестве аргумента в пользу своей точки зрения Л.С.Берг привел факты, свидетельствующие о появлении в разных группах сходных признаков, которые далеко не всегда могут быть интерпретированы как приспособления к одинаковым условиям.

Возможно ли такое с точки зрения синтетической теории эволюции? Да, возможно, если предположить, что массовые изменения особей не носят наследственный характер. Так, новые особенности поведения могут очень быстро распространяться в популяциях животных. Все читали о том, как конце 1940-х годов британские синицы научились друг у друга вскрывать бутылки с молоком.

Изменение поведения, вообще говоря, меняет полезность и вредность разных наследственных вариаций — и тем самым меняет направление естественного отбора. В ходе отбора под новую форму поведения подстраиваются морфологические и физиологические признаки. «Поведение — это разведка эволюции», — говорил по этому поводу преподаватель биологического факультета МГУ К.Н.Благосклонов.

Похоже на то, что эволюция состоит из двух стадий: быстрой и медленной. Во время быстрой стадии на ненаследственной основе появляются грубые черты новых приспособлений, а во время медленной стадии естественный отбор доводит их «до ума». Все это никак не противоречит синтетической теории эволюции.

В настоящее время мы можем представить себе лишь один механизм массового появления одинаковых наследственных изменений — вирусную эпидемию, при которой вирус переносит ген от одного организма к другому. Теоретически такое возможно, но насколько часто происходят такие события и какую роль в эволюции они играют, неизвестно.

Несомненно, однако, что наследственная изменчивость ограничена некими рамками. За всю историю млекопитающих среди них не появились организмы с зеленой шерстью, хотя она может быть выгодной. Очевидно, необходимые для этого наследственные вариации невозможны или очень маловероятны.

Идея об ограниченности наследственной изменчивости определенными рамками — несомненно, сильная сторона концепции Л.С.Берга. Но это обстоятельство никак не противоречит дарвинизму. Как писал еще до появления книги Берга «Номогенез» сподвижник Дарвина Томас Гексли: «Значение естественного отбора не потерпит ущерба, если даже в будущем окажется, что изменчивость ограничена и предрешена в известных направлениях преимущественно перед прочими силою условий, врожденных тому существу,



А.А.Любищев

которое варьирует» (цитируется по: Л.С. Берг. Труды по теории эволюции. Л.: Наука, 1977).

С.В.Мейен настаивал на том, что наследственная изменчивость ограничена и что направления ее в значительной степени определяют эволюцию тех или иных групп. Ибо естественный отбор может работать только с теми вариациями, которые реально появляются.

Мейена интересовал вопрос, какие формы могут возникать в разных группах организмов, а какие — не могут. Возможность или невозможность он связывал с ограничениями наследственной изменчивости в соответствующей группе. Отсюда и его интерес к морфологии, которую он стремился сделать высокотeorетической наукой. Не отрицая роли естественного отбора, Мейен исследовал сырой материал, с которым отбор будет работать.

Вслед за А.А.Любищевым С.В.Мейен не стремился искать что-то полезное во всех без исключения морфологических структурах живых организмов. Он считал, что существуют самостоятельные закономерности эволюции форм, не сводимые к функциям, и что теория эволюции должна уметь не только задним числом объяснить устройство живых организмов, но и обладать предсказательной силой. Например, предсказывать существование еще не открытых организмов или прогнозировать будущее той или иной группы.

Мейен активно пропагандировал идею взаимодополняемости редуционистских и холистических подходов в биологии. Редуционисты, как известно, разбирают живые существа на отдельные части и из свойств частей пытаются понять, как устроено целое. А сторонники холистического подхода начинают с изучения свойств живого объекта в целом и, исходя из этого, пытаются понять, как должны быть устроены детали.

С.В.Мейен мечтал о создании будущей «неклассической биологии», которая сумеет теоретически объяснить накопленный биологами богатый фактический материал. Свои труды он воспринимал как камни в фундаменте этой биологии.

### **«В спорах рождается не истина, а только склока...»**

Враждебность к тем или иным теориям была глубоко чужда С.В.Мейену. Он считал, что каждая новая теория — это новый взгляд на предмет изучения и, вместо того чтобы спешить с опровержениями, нужно попытаться найти в ней рацио-



## ИСТОРИЯ СОВРЕМЕННОСТИ

нальное зерно, интегрировать ее в общую систему знаний. «В спорах рождается не истина, а только склока. Истина же рождается в работе», — говорил Мейен. Он был убежден, что развитие науки идет не за счет вытеснения одних теорий другими, а за счет их синтеза. Этим принципом он руководствовался в повседневной работе, тщательно анализируя разные, иногда, казалось бы, очень странные теории. Принцип сочувствия к чужим взглядам, в противовес принятой в научном сообществе борьбе идей и теорий, С.В.Мейен сформулировал в статье, опубликованной в сборнике «Пути в незнание. Вып. 13» (М.: Советский писатель, 1977).

Мейен не был верующим, но с уважением относился к религии, считая ее одним из хранилищ человеческой мудрости. А друзья и коллеги Сергея Викторовича считали его образцом христианской морали.

Открытость Сергея Викторовича по отношению к нетривиальным теориям нередко приводила к тому, что вокруг него крутилось немало молодых и не очень молодых людей, стремившихся «подергать старика Дарвина за бороду». Иногда из серьезных научных соображений, чаще — из тщеславия.

С.В.Мейен был активным популяризатором науки. До сих пор широкой известностью пользуется его научно-популярная книга «Следы трав индейских», посвященная палеоботанике.

Многие взгляды С.В.Мейена сложились в общении с таким незаурядным биологом, как Александр Александрович Любищев (1890—1962). В научных кругах А.А.Любищев пользовался славой еретика, что, впрочем, не мешало любознательным исследователям интересоваться его еретическими взглядами. Даниил Гранин написал о нем книгу «Эта странная жизнь».

У самого С.В.Мейена было много учеников — среди палеоботаников, и не только. Мейен был одним из важнейших «узлов» на пути движения идей в научном биологическом сообществе. Поэтому многие исследователи, даже не работавшие вместе с Мейеном, но общавшиеся с ним и испытывшие на себе влияние его идей, считают себя его учениками. Среди них такие яркие исследователи и мыслители, как К.Ю.Еськов, В.В.Корона, Ю.В.Чайковский.

С.В.Мейен умер после тяжелой болезни 30 марта 1987 года в возрасте всего 52 лет. Перед смертью он успел увидеть опубликованной свою фундаментальную книгу «Основы палеоботаники».

Подробнее об идеях С.В.Мейена можно прочитать в книгах Ю.В.Чайковского «Элементы эволюционной диатропики» (М.: Наука, 1990), «Наука о развитии жизни. Опыт теории эволюции» (М.: Товарищество КМК, 2006), «Активный связанный мир. Опыт теории эволюции жизни» (М.: Товарищество КМК, 2008).

# Тирамису

**Что такое тирамису.** Тирамису — итальянский многослойный десерт, в состав которого входят бисквитное печенье савоярди, пропитанное крепким кофе, крем из яичных желтков, сахара и сыра маскарпоне и порошок какао, которым блюдо посыпают сверху. Вкус тирамису — это вкус какао и кофе. Десерты, представляющие собой комбинацию густого крема и бисквитного печенья, пропитанного кофе или алкоголем, существуют в разных странах несколько веков, так что истинно итальянским лакомством тирамису делает сыр маскарпоне, который придумали в Италии, а также название, составленное из трех итальянских слов: tira mi sù, что означает в переводе «забери меня». Об этом обстоятельстве пишут в каждой статье, посвященной тирамису, странно было бы нам им пренебречь. Касательно происхождения названия есть разные версии. Скорее всего, темпераментные итальянцы так выражают свой восторг необыкновенным вкусом лакомства, столь прекрасным, что оторваться невозможно (о, тирамису, я вся твоя!).

Существует множество вариантов рецепта, в которых маскарпоне заменяют сливочным сыром, густыми сливками или жирным творогом, желтки — цельными яйцами или густыми сливками, какао — шоколадной стружкой, савоярди — другими бисквитами, кофе — алкогольными напитками или соком, а также добавляют в десерт фрукты. И пусть ревнители кулинарных традиций говорят, что это не тирамису. Главное, что вкусно.

**Маскарпоне.** Крем для тирамису делают на основе сыра маскарпоне. Впрочем, сыром его можно назвать весьма условно, поскольку для его изготовления не используют ни закваски, ни ферменты.

Маскарпоне начали производить в Италии в конце XVI — начале XVII века. Его делают из сливок, в которые добавляют лимонный сок, винный уксус или винную кислоту. Иногда сливки при этом нагревают на водяной бане, иногда просто наливают в бочки из-под вина и дают постоять. В кислой среде молочные белки сворачиваются, тогда жидкость фильтруют через марлю, и сыр уплотняется под собственной тяжестью, специально его не прессуют. Получается молочно-белый продукт жирностью около 40%, он мягкий и легко мажется. Маскарпоне входит в состав как соленых, так и сладких блюд, его используют в качестве начинки для пирогов и блинчиков, готовят из него соусы. Иногда в сыр добавляют свежие фрукты, цедру или сок лимона, орехи или сухофрукты.

Хотя маскарпоне считается итальянским сыром, линии по его производству работают во многих странах, в том числе и в России. Его также легко приготовить дома, были бы сливки, лимон и марля.

**Савоярди.** Основа тирамису, его «скелет» — бисквитное печенье савоярди. Название оно получило от слова «Савой», поскольку было популярно при савойском дворе. Савоярди — воздушный, пористый, сухой бисквит, по форме напоминающий палец. Его иногда называют «дамские пальчики» или «губчатые пальцы». Для приготовления савоярди яичные белки и желтки по отдельности взбивают с сахаром и добавляют в муку. Разрыхлителей тесто не содержит, пористость ему придают пузырьки воздуха во взбитых яйцах. Тесто выдвливают на противень из кондитерского мешка короткими палочками, которые перед выпечкой посыпают сахарной пудрой, чтобы получилась мягкая корочка. Савоярди и подобные ему пористые бисквиты — важный ингредиент многих десертов, в которых печенье сочетается с кремом: то окружает его, подобно короне, то служит прослойкой.

**Марсала.** Наверное, с тех самых пор, как люди стали пить кофе, они смешивают его с алкоголем. В разных пропорциях, и можно даже без кофе. Некоторые рецепты тирамису также содержат алкогольные напитки, ими, в смеси с кофе, а иногда и вместо него, пропитывают печенье или добавляют их в крем. В этом случае часто используют еще один итальянский продукт — вино марсала, производимое в окрестностях сицилийского города Марсала. Его делают по специальной технологии, согласно которой молодое вино наливают в бочку, в которой оставляют немного прошлогоднего. Спустя год часть содержимого бочки переливают в другую, с винной смесью предыдущего года, а первую бочку допивают свежим вином. За несколько лет марсала проходит через несколько бочек со все более выдержанной смесью. Марсала бывает сухой, полусухая и сладкая. Это крепленое



вино, в нем 15—20% алкоголя. Сначала спирт добавляли только в бочки, отправлявшиеся морем в другие страны, чтобы вино выдержало путешествие. Но теперь это делают специально, потому что крепленая марсала очень популярна. Английский поэт Эдвард Лир, который писал в стихотворении о самом себе: «Пьет вино он с наклейкой “Марсала”/ И совсем не бывает он пьян», — был, видимо, устойчив к действию алкоголя.

Марсалу часто используют в кулинарии, если этого вина нет под рукой, его могут заменить ром, мадера, портвейн, бренди, некоторые ликеры.

**Цепочка превращений.** Об авторстве рецепта тирамису спорят многие итальянские города и кондитеры, датируя появление десерта 1960-ми годами. Есть также история о том, как десерт приготовили в XVII веке для тосканского герцога Козимо III Медичи, когда ему вздумалось посетить Сиену.

Согласно другой версии, тирамису представляет собой вариант другого слоеного десерта, Zuppa Inglese, название которого буквально переводится как «английский суп». Но это не суп, конечно; термин «зупра» в итальянской кухне происходит от слова «смачивать». Zuppa Inglese состоит из слоев заварного крема и пористого бисквита, пропитанного (смоченного) ликером алкермес. Этот ликер настаивают на пряностях, он очень сладкий и ароматный, окрашенный кошенилью в ярко-красный цвет. Крем для английского супа готовят с большими кусками цедры, которую потом удаляют, иногда с шоколадом. Сверху десерт покрывают кремом, безе или миндалем. Это блюдо впервые появилось в конце XIX века, но, возможно, оно родилось на несколько столетий раньше на кухне герцогов Эсте, правителей Феррары, мечтавших воссоздать рецепт английского трайфла, который попробовали при дворе Елизаветы I.

Трайфл, что в переводе с английского значит «пустячок», готовят из густого заварного крема, порезанных кубиками фруктов и бисквитных палочек или более нежного пористого кекса, пропитанного алкогольным напитком, фруктовым соком или сиропом. Фрукты и бисквиты заливают фруктовым желе, а сверху кремом, иногда ингредиенты выкладывают в несколько слоев. Обычно блюдо украшают взбитыми сливками. Первый рецепт трайфла был опубликован в Англии в 1587 году, тогда так называли густые сливки с сахаром, имбирем и розовой водой. Спустя шесть лет в крем стали добавлять яйца и укладывать его сверху пропитанной алкоголем выпечки.

**Рецепты.** Теперь, когда мы добрались до истоков тирамису, попробуем приготовить это блюдо, что совсем несложно при наличии необходимых ингредиентов.

Для десерта три яичных желтка и треть чашки сахарной пудры взбиваем в большой чаше электрическим миксером. Во времена Козимо III Медичи или Елизаветы I Английской миксеров не было, но современные рецепты настоятельно рекомендуют ими пользоваться, чтобы крем получился более воздушным. Когда масса станет однородной и светлой, добавим в нее 250 г маскарпоне и 300 мл густых сливок и продолжим взбивать. Савоярди опустим в смесь из двух чашек крепкого черного кофе и полчашки марсалы на пять секунд, чтобы печенья пропитались жидкостью, но не размокли. Половину палочек поместим на дно керамической формы, если необходимо, разломим пополам. Тирамису полагается быть круглым, но палочки удобнее класть в квадратную или прямоугольную форму.

На печенья выкладывают половину крема, второй слой печений и оставшийся крем, накрывают форму пластиковой пленкой и охлаждают от двух до восьми часов, перед подачей на стол посыпают какао. Десерт может храниться в холодильнике двое суток.

Иногда десерт готовят в бокалах для мартини: на дно кладут кусочки савоярди, заливают их кофе с ликером, а сверху — крем, можно с марсолой и медом, посыпанный какао.

Если вместо печенья взять тонкие бисквитные коржи, пропитанные кофе, прослоить их кремом с маскарпоне и тертым шоколадом, а сверху украсить кремом или сливками, расплавленным шоколадом и какао, получится торт тирамису. Его также подают охлажденным.

Напоследок — предупреждение. Поскольку в состав тирамису входят сырые яйца, есть небольшой риск заразиться сальмонеллезом. Чтобы избежать этого, специалисты рекомендуют использовать свежайшие целые яйца, избегать контакта белка или желтка со скорлупой или пастеризовать яйца. Для самых боязливых есть рецепты тирамису, в которых желтки заменены сливками.

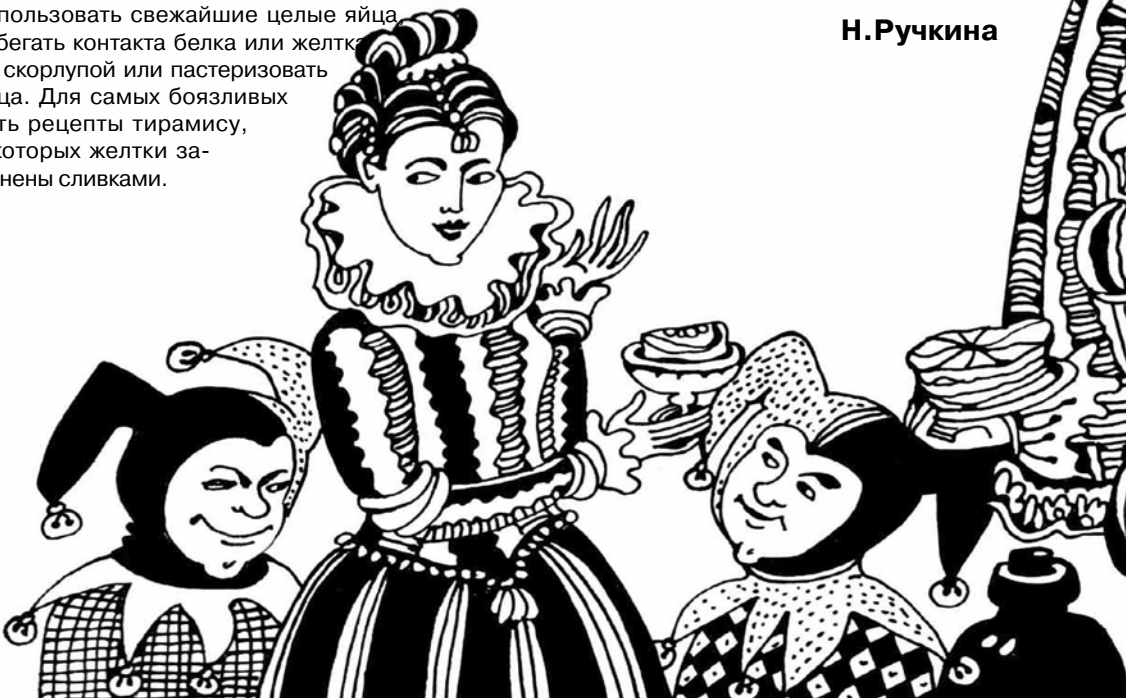


ЧТО МЫ ЕДИМ

Художник Н. Колпакова



Н. Ручкина





Художник С. Тюнин



# За неделю до Нового года



ФАНТАСТИКА

Жаклин Де Гё

Перемены в жизни — это хорошо. А перемены к лучшему — еще лучше.

Хотя один зимовик из нашего отдела, в прошлом специалист по обледенению железных дорог, однажды сказал: «Когда машинист начинает искать новые пути, состав сходит с рельсов».

Его потом повысили, поставили контролировать Горводоканал. Теперь замораживает трубы сразу в трех кварталах.

Мне тоже несколько раз предлагали перевод, но я всегда отказывался. Во-первых, не лежит душа к заморозке, не люблю это занятие. Во-вторых, мне моя работа нравится, потому что творческая. Хотя, я знаю, совсем не все в конторе так думают. Как раз недавно с Филей, приятелем из отдела внешнего дизайна, спорили в кафетерии. Он говорит:

— Поражаюсь, как тебе не надоест. Я бы на сортировке новогодних желаний и одной зимы не высидел.

— Ты, — говорю, — не показатель. Ты вообще в офисе долго сидеть не можешь.

— А зачем мне здесь сидеть?! Снеговиками-то все на улице!

Филия у нас творец снеговиков. Он лепит их в разных стилях — то классика, то кубизм, то вместо морковки старый огнетушитель присобачит. И каждый раз гордится своим творением так, словно Венеру Милосскую изваял. Хотя, если подумать, его шедевры тоже в основном все безрукие, так что почему бы и нет... Я попробовал объяснить свою точку зрения:

— Все мы, зимовики, разные, и вкусы у нас отличаются. Тебе нравится лепить — ну и на здоровье! А мне нравится сортировать желания. Это интересно — узнавать, о чем мечтают люди, понимаешь?

Он только плечами пожал:

— Я понимаю одно — с такими мизерными амбициями ты всю жизнь на втором уровне просидишь.

Про второй уровень он, к сожалению, правильно сказал. Работа у меня хоть и творческая, но не престижная. Ниже сортировщиков только отделы упаковки и доставки. Смешно, люди думают, что Дед Мороз в нашей конторе главный. А на самом деле у тех, кто развозит подарки, только униформа красивая, а статус самый незавидный. На верхнем этаже в нашей конторе работают вовсе не морозы и не санты, а экономисты и финансисты. Вот у них действительно масштабы. То инфляцию в Еврозоне замораживают, то проекты НАСА, то банковские счета... Я пару раз поднимался к ним, на топ-уровень, — не по делу, нет, какие у меня там могут быть дела... просто посмотреть. Красиво. Все блестит серебром, сверкает инеем, под толком полярное сияние переливается. Снег под ногами белый, чистый, словно только что выпал. А видели бы вы девиц, которые там работают! Все сплошь платиновые

блондинки и выглядят так, что Голливуд отдыхает. Только ухаживать за ними бесполезно — наша Генеральная выбирает для такой ответственной работы самых расчетливых и хладнокровных.

Ее кабинет на том же этаже, в самом конце коридора. Она редко его покидает. Большинство сотрудников видит руководительницу «Зимы» лишь раз в год, на корпоративах. Загадочная личность наша Генеральная. Незаурядная. Красавица. Умница. Гений заморозки. Вот только не улыбается совсем и всегда одна. Снежная королева.

Что-то я отвлекся. Хотел ведь о переменах.

Перемены в моей жизни начались неожиданно.

Утром, как обычно, пришел в офис, уселся поудобнее, закрыл глаза, врубил дистанционную многоканальную телепацию. Одновременно подключил сознание к виртуальной картотеке. И начал принимать и сортировать желания — сначала определял по стобальной шкале, насколько человек заслужил то, о чем мечтает, потом — степень исполнимости. Заодно проверял записи в учетных карточках — что случилось с мечтами прошлых лет, качественно ли отдел сбычи их исполнил, была ли от них польза...

Принято считать, что большинство желаний, адресованных нашей конторе, идут от тех, кому еще не исполнилось десяти лет. Это не так. Очень многие взрослые тоже ждут новогодних чудес. Только их желания набирают проходной балл гораздо реже, чем детские, потому и сбываются реже...

Итак, чего же ждут от нас в этом году?

Компьютерную игру. Ноутбук. Платье, как у принцессы. Айпад. Опять игру. Яхту, как у Абрамовича (ого, вот это мечтанул!). Щенка добермана. Игру. Двести долларов (фу, как неромантично...). Предложение руки и сердца. Стиральную машину. Плеер. Игру... еще игру... опять игру... Эх, как их много теперь, этих игроманов. Пятьдесят лет назад волшебные сказки с картинками были желанием номер один. А в прошлом году всего один человек — семилетний мальчишка — попросил в подарок книгу. Можете себе представить? Один! Его мечта стала такой сенсацией на всех уровнях, что сама Королева прониклась. Утром первого января мальчик нашел под елкой сборник сказок Андерсена с роскошными иллюстрациями, подписанными инициалами «С.К.». Вот, кстати, интересно, какое желание он загадал в этом году?

Я переключил мысли на нужный канал, настроился. Что?! В полном шоке я прослушал желание еще раз — вдруг ошибся? Нет, все правильно. Протестировал на заслуженность — балл более чем проходной. Значит, надо определять исполнимость. М-да...

Забрав заявку, я поехал на пятый уровень, в отдел, где мечты становились явью.

— Ледостав Иванович, но ведь и раньше случалось, что сортировщик сомневался и оставлял исполнимость на усмотрение сбычников, — напомнил я. — И вы принимали!

— Ну и что? Тогда принимали. А сейчас, сам понимаешь, особый случай. С этим, — Ледостав ткнул пальцем в заявку, — надо идти к Самой. А я к ней с этим не пойду. И никто из моих ребят не пойдет!

— Почему?

Начальник отдела сбычи мечт возмущенно мотнул длинной седой бородой:

— Потому что сказки надо читать! Андерсена! Тогда не будешь задавать идиотских вопросов!

Я вздохнул.

— Я читал Андерсена, Ледостав Иванович. И все понимаю. Но и вы поймите — раз желание заслужено, я не имею права его отклонить. Просто обязан дать заявке ход. Это моя работа!

Ледостав довольно кивнул:

— Правильно. Твоя. Вот ты и действуй. Проси аудиенции и определяй степень исполнимости сам. Без нас. А сейчас извини, больше обсуждать твою проблему не могу — Новый год на носу, дел по горло. — И он широким жестом указал на дверь.

«Чтоб твоя борода по весне вся на капель изошла!» — подумал я, выходя из отдела.

Холодный, чистый воздух в кабинете Генеральной пах озонем и хвоей. Мягко сиял покрывавший пол пушистый снег, льдисто блестя стены. Одну из них целиком занимало огромное, тронутое по краям морозными разводами зеркало. Королева спокойно рассматривала меня. В глазах ее мерцали серебристые искорки. Бледное, потрясающее своей совершенной красотой лицо было абсолютно невозмутимо.

— Итак, мальчик хочет стать Каем, — бесстрастно проговорила она.

— Да, Королева. Это тот самый мальчик, который попросил в прошлом году книгу.

— Вижу. — Генеральная легко коснулась кончиками пальцев лежавшей перед ней заявки.

Зеркальная стена внезапно осветилась, кабинет наполнил мелодичный хрустальный перезвон.

— Извините, — вздохнула Королева, поворачиваясь к зеркалу. — Слушаю вас.

— Отдел VIP-желаний. Менеджер по контактам с «Лукойлом» Холодков, — представился за кадром мужской голос.

— Опять VIP. Что на этот раз?

— Аномальная оттепель в Западной Сибири, Королева. Отдел погоды не справляется, говорят — площади слишком большие. — Зеркало показывало таежный тракт с увязшими в раскисших колеях грузовиками. Вдалеке, в просвете между деревьями, виднелась буровая вышка. — У промысловиков зимники превратились в месиво, через реки не переправиться, все трассы парализовало. Совет директоров в полном составе мечтает...

— Хорошо. Заморожу намертво. До мая не оттает.

Генеральная небрежно взмахнула рукой, зеркало погасло.

— Вернемся к вашей заявке. — Она снова взглянула на меня. — Как я понимаю, вы явились, чтобы определить исполнимость?

От ее взгляда язык примерзал к гортани. Я молча кивнул.

— Можете списать в архив. Эта мечта из разряда несбыточных. Кай был экспериментом. Эксперимент про-

валился. У меня нет ни малейшего желания повторять его еще раз.

Я по-прежнему не мог произнести ни слова, только стоял и смотрел на нее, чувствуя, как немеет от крепчающей стужи лицо.

— Вы свободны. — Тон Королевы был поистине ледяным.

По снежному ковру поползли в мою сторону белесые струйки поземки. С трудом преодолев стылое оцепенение, я еще раз кивнул — на прощание — и покинул кабинет.

Работы было море — канун праздника, время исполнения загаданных желаний. Самое сумасшедшее время года. Я еле успевал сортировать поступающие со всех сторон мыслепросьбы. К концу дежурства голова гудела, как будто в ней разыгралась вьюга. Еле дождался сменщика и хотел уже лететь домой, однако мешала мысль об этой злосчастной заявке. Я ведь так и не отправил ее в архив. Почему — сам не мог понять. Наверное, от смутного чувства, что это как-то... неправильно. Все-таки пацан весь год по-честному вполне прилично себя вел. Несправедливо, что он совсем ничего не получит к празднику. Если загаданное желание невыполнимо, может быть, можно подобрать что-то взамен?

Одним словом, вместо дома я отправился в панельно-блочный микрорайон города X. Девятиэтажка, где жил несостоявшийся Кай (в миру Дима Кондратьев), стояла на самой окраине. Розовые от заката окна смотрели на засыпанный снегом огромный пустырь. В небе надсадно каркали вороны.

Я сосредоточился на мальчике. Теперь, когда мне не мешали потоки сознания других людей, можно было услышать не только новогоднюю мечту, но и все его мысли. Я впитывал слова и образы, отделял воспоминания от фантазий, фильтровал, анализировал. Пытался определить, что именно в подаренной год назад книге так зачаровало Диму, что он захотел стать пленником Снежной Королевы. Мысленно перелистав книгу, я, кажется, нашел причину — оформление. Страницы, описывавшие лето, остались без картинок. Зато изображения зимы были выполнены великолепно. От их красоты перехватывало дыхание. Особенно сильно подействовал на Диму вид ледяных чертогов Снежной Королевы — иллюстрация занимала целый разворот, и мальчик подолгу, не отрываясь, смотрел на нее. Генеральная создала настоящий шедевр. Впрочем, она ведь рисовала с натуры.

Ладно, если дело только в том, что парнишке нравится криоархитектура, обойдемся и без переезда в царство холода и мрака. Пусть поживет как Кай, не отходя от дома.

Я переключился на другой телепатический канал.

— Филя, у меня к тебе дело. Очень срочное.

— Старик, ты меня знаешь, я друзьям всегда помогаю, тем более это детская мечта, канун Нового года и всякое такое. Но и ты меня пойми — тут же работы до утра, а у меня на сегодня свидание намечено, — мой приятель расплылся в довольной улыбке, — перспективное...

Перспективные свидания у Фили случались с завидной частотой — в его донжуанском списке числилась даже одна из примороженных карьеристок с верхнего этажа. Я вздохнул:

— Ладно, что ж поделаешь. Желаю успехов в личной жизни и так далее. Пусть все у вас получится.

— Спасибо! — Жизнерадостно кивнул Филя. — А чего так кисло-то? Мы и с твоим проектом сейчас разберемся.

Поставлю софт, введу исходные — и, вот увидишь, у тебя тоже все получится! Давай сноубук.

Вскоре я уже был счастливым обладателем программы «Ледяной дом». Филя закачал в нее результаты осмотра и обмера пустыря, нашел в Гугле план и снимки загородной виллы Снежной Королевы, поколдовал над минимизацией...

— Всё! — Он сунул мне раскрытый сноубук, хлопнул по плечу. — Надеюсь, дальше и без меня справишься. Осталось только запустить и контролировать процесс. А мне пора. Удачи!

— Спасибо! — с чувством поблагодарил я, направляя луч проектора на залитые лунным светом сугробы. — Тебе тоже! С меня причитается!

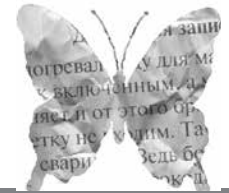
Дима, с круглыми от изумления и восторга глазами, бродил по залам сияющего в утреннем свете дворца. Пацан явно выскочил из дома в страшной спешке: шапка набекрень, варежки забыл, под расстегнутой курткой — пижама с Винни Пухами. Он был настолько поглощен сбывшимся ледяным чудом, что, похоже, не чувствовал холода.

Что ж, вот и все. Я выполнил желание. Пусть теперь играет со своей новой игрушкой. Программа оказалась просто супер — воспроизвела и декор, и мебель, и спецэффекты. А книгу я пока забрал. Хоть мне и не приходилось слышать раньше о картинках, сходных по воздействию с осколками волшебных зеркал, однако ее влияние на Диму мне не понравилось. Конечно, я уверен, Генеральная хотела как лучше, однако, похоже, не рассчитала силу магии. Особенно настораживало то, что мальчик до сих пор оставался единственным человеком, способным видеть дворец. Я при установке добавил в программу опцию «видимость по выбору владельца» — чтобы всякие отморозки не беспокоили. Однако не ожидал, что Диме вообще не захочется делиться радостью ни с кем из близких — ни с друзьями, ни с родителями, ни с младшей сестрой. Думал, сразу побежит и позовет кого-нибудь из них. Нет. Не позвал. Наоборот, добравшись до тронного зала, уселся на королевское место и подумал, как здорово, что никто не мешает и хорошо бы всегда сидеть здесь вот так, одному. А потом озаботился мыслью, где бы раздобыть набор льдинок, из которых можно складывать слово «вечность»...

М-да. Думаю, этой книге не повредит пара «теплых» иллюстраций — для равновесия. Отнесу-ка я ее для корректировки специалистам из... хм... смежного ведомства.

Зимовики и летовики обычно не общаются вживую и не ходят друг к другу с визитами, хотя наши техотделы сотрудничают довольно тесно, а мы, сортировщики, порой перебрасываем друг другу заявки. Всегда ведь находятся люди, которым хочется зимой собирать подснежники, а летом кататься на коньках. Сегодня я решил сделать исключение из правил и заскочить на обеденном перерыве к ним в контору.

По сравнению со стерильно-свежей атмосферой наших офисов здешний воздух был настолько пахучим, что казался осязаемым. В нем смешались ароматы цветов, запахи трав и меда, сена и яблок, навоза и речной тины. А еще пахло зверинцем, перегретым асфальтом и огурцами. У меня от такого букета даже закружилась голова и глаза с непривычки заслезились. Да и вообще, все было не так, как у нас. Другое освещение, зеленые газоны вместо снежных ковров, стены увиты плющом и выюнком. А главное — всего один этаж, без всяких уровней. Отделы располагались во-



ФАНТАСТИКА

круг огромной полусферы Центра, в которой находились оранжереи и кабинет их Генеральной.

Коллеги-сортировщицы оказались очень милыми, однако книга их напугала.

— Извини, ничем не сможем помочь, — виновато развела руками Лилия.

— Слишком сильная магия холода, — объяснила Роза. — Нам ее не разбить, только сами завянем. Давай сходим проконсультироваться с дизайнерами.

Дизайнеры, едва взглянув на книгу, поставили диагноз:

— Не осилим. С этим может справиться только сама Флора.

Второй раз за сутки меня отправляли к Генеральному директору, только на этот раз не «Зимы», а «Лета».

Ладно. Что ж поделаешь. Придется идти. Там не заморозили, авось и здесь не растаю.

Офис Флоры представлял собой большую круглую лужайку. Мы сидели на поросшем луговыми травами пригорке. Я чувствовал себя не в своей тарелке — трава ведь живая, ей, наверное, неприятно, когда на ней сидят...

— Ага. — Флора, раскрыв книгу на одной из иллюстраций, недовольно сощурилась. — Дорогая сестрица опять задумала какую-то пакость.

— Что вы, — запротестовал я. — Она вовсе не желала мальчику зла. Даже желанием его не воспользовалась. — И, не удержавшись, добавил: — А вы совсем непохожи.

Генеральные всех Сезонов действительно родные сестры. Дети матери-Земли и отца-Времени. Однако, глядя на мою собеседницу, было трудно в это поверить. Флора — загорелая, кареглазая, босоногая, с веселыми ямочками на щеках и веснушками на носу.

— Я вся в маму, — гордо сказала руководительница «Лета». — А ваша шефиня пошла в отцовскую родню. Жутко похожа на папину сестру, нашу тетку. Просто до отвращения — и характер, и повадки...

— А кто ваша тетка по отцу? — осторожно спросил я.

Флора вздохнула

— Смерть. У папы вся родня такая. Общаемся только по необходимости — они и меня, и моих детей терпеть не могут.

Сквозь прозрачный купол ярко светило солнце, в воздухе жужжали насекомые.

— А это кто? — спросил я, разглядывая кружащего над цветами маленького полосатого летуна.

— Шмель, — рассеянно ответила Флора, листая страницы.

— А тот, который ему головой кивает?

— Клевер. Зовет нектар попробовать.

Все кругом дышало, шевелилось, цвело и звучало. Ужас. Как они тут работают?! Хотя если честно, люди в конторе «Лето» мне понравились: улыбчивые, приветливые, дружелюбные. И девушки прямо лучились теплом и сердечностью. А наши все — или снегурки, или снежные бабы...

— Все понятно! — Флора захлопнула книгу. — Я так и думала! Она пытается обойти договор о нераспространении «синдрома Кая»!

— «Синдром Кая»?

— Так его называли наши психологи. Основные симптомы — уверенность в собственной исключительности и «непонятости», презрение к окружающим и одновременно страх перед ними, желание изолироваться, уйти в придуманный мир, угасание нормальных реакций на внешние раздражители.

— И что, мы это распространяли?

— Еще как! Предполагаю, это был спецпроект, разработанный в вашей лаборатории на цокольном этаже.

Цокольный этаж был закрытой зоной. На подступах к нему бушевали метели, на особо упорных обрушивались снежные лавины. Что там происходит и чем там занимаются, наверняка не знал никто, зато слухи ходили самые фантастические. Даже секции холодного оружия и холодной войны были не так засекречены, как упрятанная в подвальный бункер «лаборатория научных исследований».

— Несколько зим назад ваша контора запустила в сеть игру «Снежный принц», — объяснила Флора. — Человек начал играть, и довольно быстро у него развивался синдром. Геймеры постоянно пребывали в эйфории от собственной крутизны, полностью выпадали из реальной жизни, переставали общаться с близкими, чувствовать голод и голод и вообще замечать, что происходит вокруг. Мы в ответ разработали вирус «Герда», разрушавший механизм формирования синдрома. Возник конфликт, никто не хотел уступать. Естественно, это сразу отразилось на погоде — перепады температуры и атмосферного давления были в ту зиму просто дикие. Старшие родственники созвали семейный совет. В результате ваша Генеральная вынуждена была изъять игру и подписать обязательство не распространять синдром с помощью электронных носителей.

Теперь все стало понятно.

— Книга — не электронный носитель, следовательно...

Флора кивнула:

— То-то и оно. Думаю, сам мальчик ей действительно не нужен. Просто решила воспользоваться его желанием и протестировать новое ноу-хау. Терпеть не могу, когда она начинает грешить подобными экспериментами! У нее, видишь ли, всегда «чисто академический интерес», а я каждый раз боюсь, что она доиграется до еще одного великого оледенения!

Мне стало совсем некомфортно. Я хотел всего лишь помочь Диме, а получается, влез в старый конфликт нашей конторы со смежниками. Выдал секреты Генеральной. Еще неизвестно, во что теперь все это выльется. Впрочем, изменить уже ничего нельзя.

Я решил пока не думать о последствиях моего визита к Флоре, а вернуться к его цели:

— С мальчиком-то что делать? Я думал, если вы уберете несколько зимних картинок и подпишете пару летних...

Генеральная «Лета» отрицательно покачала головой:

— Нет. Это улика, и я ее не отдам.

Она прищелкнула пальцами — книга исчезла.

У меня тоскливо заняло в груди. Вот же вляпался! Зачем я только сюда пришел? Сжег бы «подарок», и дело с концом. А парнишка и сам исцелился бы со временем. Тут я вспомнил, как надменно он сидел на ледяном троне в этих своих «винни пухах», и засомневался: а вдруг не исцелился бы? Вдруг таким бы и остался?

— Но ведь подобное лечат подобным, — попробовал я переубедить Флору. — Раз синдром развился от книги...

— То и лечить надо книгой, — согласно кивнула она. — Только почему непременно той же самой?

Флора взмахнула рукой, выхватила из воздуха два ярких разноцветных томика.

— Мои доставщики в декабре на лету замерзают, отправьте, пожалуйста, через ваших. Мальчику — «Маленького принца», пусть вспомнит, что значит любить и заботиться. А «Муми-тролля» — моей дорогой сестрице. Ей полезно узнать, что ее стиль руководства не единственно возможный — существуют и другие типы лидеров.

На следующий же день нашу контору посетила комиссия из Комитета глобального экологического и климатического контроля. Проверяющие сразу потребовали от Королевы провести их в цоколь. Потом прошлись по всем этажам, вернулись в кабинет Генеральной и заседали там до вечера.

По коридорам с тихим выюжным посвистом пробегали буранчики, разнося из отдела в отдел пересуды сотрудников. Говорили, что секретная лаборатория оказалась пустой и вымерзшей — ничего и никого, только иней по углам и сугробы вдоль стен... Рассказывали также, что, пока комиссия таранилась в подвале на свисающие с потолка гигантские сосульки, типография успела телепортировать «сами понимаете куда» напечатанные за последние две недели новогодние открытки. Заказ на их выпуск, по слухам, был подписан самой Генеральной, эскизы и макеты утверждены ею же. За достоверность всех этих историй поручиться не могу, однако то, что экологи-климатологи ничего предосудительного так и не нашли, знаю точно — в предпраздничном меморандуме упоминался положительный отзыв, который заслужила наша контора по результатам проверки. Однако от коллег-сортировщиц из «Лета» Розы с Лилией я узнал и нечто другое: на семейном совете книгу, подаренную Диме, очень не одобрили. Королева сначала доказывала матери, сестрам и племянникам, что не нарушила буквы договора — там ведь и речи не было о запрете на бумажные носители. Однако другие Сезоны поддержали «Лето». Видимо, память о великом оледенении их тоже беспокоила. Договор был дополнен еще одним пунктом, и нашей Генеральной пришлось подписать его в новой редакции.

А меня, как и следовало ожидать, уволили. Сразу после Нового года. Якобы в связи с послепраздничным сокращением количества желаний. Мало кто в конторе поверил этой формулировке (какое, к чертям, сокращение, если скоро 14 февраля!). Однако догадывались об истинной причине только Филя и Ледостав. Оба они смотрели на меня с сочувствием, а начальник сбывчи мечт, по-моему, еще и чувствовал себя отчасти виноватым. Даже пообещал дать мне рекомендации, если что...

Конечно, можно было бы попроситься в «Лето». Но в-первых, я был обижен на Флору. Во-вторых, вспомнил о запахах в коридорах, вездесущих насекомых и живых

коврах. В общем, от этой мысли я отказался почти сразу. Не мой это сезон. Абсолютно не мой.

Поразмыслив как следует, решил отослать резюме в «Весну» — между февралем и мартом разницы примерно столько же, сколько между мечтаниями барышень перед Валентиновым днем и Международным женским.

Однако, как выяснилось, на Флору я обижался напрасно. Она не бросила меня на произвол судьбы. Через три дня после увольнения со мной связался секретарь ее отца, Календарь, и сообщил о предложении возглавить экспериментальное бюро по сбычу заветных желаний. Оказывается, Сезоны давно уже хотели выделить их в отдельную, не привязанную к временам года группу. На собеседовании Календарь ободряюще заметил:

— Флора сказала, что у вас есть не только способность творчески решать задачи, но также ответственность, энтузиазм и сочувствие к живым существам. Нам как раз такой специалист и нужен.

Когда я освоился с переменами в жизни, решил проверить, как там Дима. Не то чтобы я сомневался в летних методах лечения синдрома, но все-таки хотелось убедиться своими глазами.

На пустыре шумело масленичное гулянье, причем сразу было понятно, что все собравшиеся отлично видят дворец. Дети бесились, швырялись снежками, катались с построенных вокруг дворца горок, носились на коньках по анфиладам роскошных ледяных покоев, с хохотом гонялись за перепуганными спецэффектами. Несколько взрослых пар в карнавальных костюмах устроили в бальной зале танцы.



ФАНТАСТИКА

Снеговички-уборщики шныряли по углам, поспешно заметая рассыпанные конфетти, обрывки елочных гирлянд, фантики от конфет и мандариновые шкурки. Снаружи, на расставленных в ряд плитках и мангалах, родители на скорую руку жарили себе и чадам шашлыки, пекли блины. Тут же стояла батарея термосов, от девятиэтажки спешила чья-то бабушка с противнем пирожков. В тронном зале Дима с друзьями увлеченно расписывали гуашью прозрачные стены. На троне лежала раскрытая книга, с которой они копировали картинки, — «Муми-тролль».

М-да... Похоже, кто-то перепутал адреса на пакетах.

Сегодня наш отдел сортировки заветных желаний передал мне заявку на детеныша снежного барса. Адрес доставки — Северный полюс, вилла «Ледяные чертоги».

Одинокие женщины часто заводят котят...



## О подписке



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

*Стоимость подписки на первое полугодие 2016 года*

*с доставкой по РФ — 1020 рублей, при получении в редакции — 600 рублей.*

*Об электронных платежах см. [www.hij.ru](http://www.hij.ru).*

*Справки по телефону (495)722-09-46.*

### Реквизиты:

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



Художник Масуд Мехраб

## КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

### ДНК никогда не врет?

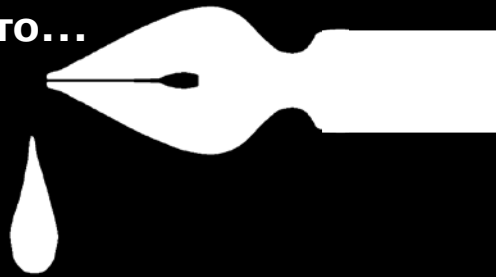
Людам, далеким от науки, например судьям, кажется, что генетическая экспертиза — это истина в последней инстанции, окончательно уличающая человека в преступлении. Оказывается, благодаря научному прогрессу это совсем не так. Проблема возникла из-за того, что если раньше для проведения такого анализа требовалось довольно много генетического материала, то теперь установить личность человека можно в буквальном смысле слова по нескольким клеткам. И надо доказывать, что эти клетки попали в пробу не случайно.

Чтобы продемонстрировать масштаб проблемы, исследователи-криминалисты из Индианского университета во главе с доцентом Кристой Латам поставили такой опыт (агентство «NewsWise», 28 октября 2015 года). Два человека в течение двух минут пожимали друг другу руки, после чего им дали подержать по ножу. С ножом взяли образцы генетического материала, и оказалось, что в каждом пятом случае этот материал принадлежал только тому участнику, который нож в руке не держал! А в 85% случаев его ДНК была обнаружена на этом экспериментальном орудии убийства вместе с ДНК второго участника. Очевидно, что при рассмотрении реального дела судье было бы весьма трудно сделать правильный вывод, основываясь на результатах всемогущего метода ДНК-дактилоскопии.

Между тем подобные судебные ошибки уже стали достоянием журналистов. Так, в Калифорнии в 2013 году несколько месяцев за решеткой продержали человека по обвинению в убийстве, пока не выяснилось, что его ДНК занесли на место преступления врачи, которые в тот день посещали и его, и жертву. «Если на образце присутствует ДНК лишь одного человека, мы говорим, что вероятность случайного совпадения исчезающе мала. Когда я, как эксперт, докладываю об этом судье, у него складывается вполне определенное мнение. А ведь это действительно может быть случайностью. Наш долг обучать судей и присяжных заседателей, рассказывать им, что генетические методы не магическая палочка, они требуют интерпретации, как и остальные доказательства виновности обвиняемого. Строить обвинение только на основе генетического анализа неправильно», — говорит Криста Латам.

С.Анофелес

## Пишут, что...



...созданы полусинтетические белковые поры — нанореакторы для исследования химической реакции на уровне одиночных молекул («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2015, 112, 45, 13768—13773, doi: 10.1073 / pnas.1510565112)...

...в США впервые одобрена вирусная терапия рака («Journal of Clinical Oncology», 2015, 33, 2812—2814, doi: 10.1200/jco.2014.58.3377)...

...концентрация свинца в лишайнике *Phaeophyscia orbicularis*, собранном с деревьев Тверского бульвара и сада «Эрмитаж» в 2007 году, составляла 21,8 и 15,4 мг/кг при норме 2,42; в Петровском парке аналогичный показатель 2012 года — 2,4; в присоединенных к Москве Внукове — Мичуринце — 6,11 («Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический», 2015, 120, 2, 49—57)...

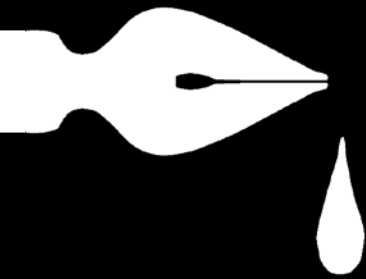
...синтезированы фильтры на основе карбида титана с градиентной пористой структурой, позволяющие существенно улучшить очистку агрессивных сред от субмикронных дисперсных загрязнений, при этом сами они прекрасно очищаются обратным током жидкости или газа («Неорганические материалы», 2015, 51, 10, 11066—11072)...

...возможно, вскоре появятся лекарства, действующие на организм точно так же, как физические упражнения («Cell Metabolism», 2015, 22, 5, 922—935, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2015.09.001>)...

...заднее небо играет ключевую роль в распространении вирусов гриппа меду людьми, поскольку здесь накапливаются вирусы с мутациями, позволяющими связываться с рецепторами, которые есть только у людей («Nature», 2015, 526, 122—125, doi: 10.1038/nature15379)...

...установлена структура борсодержащего розового пигмента из водоросли юрского периода («Journal of the American Chemical Society», 2015, 137, 42, 13460—13463, doi: 10.1021/jacs.5b08191)...

...насаждения, имитирующие естественную береговую линию, например участок болотной травы, лучше защищают строения от ураганных волн, чем бетонный забор («Science», 2015, 350, 6262, 756—759, doi: 10.1126/science.350.6262.756)...



...шимпанзе способны заботиться о больших детенышах, в частности при симптомах, аналогичных синдрому Дауна у людей («Primates», 2015, doi: 10.1007/s10329-015-0499-6)...

...созданы штаммы спиртовых дрожжей, которые синтезируют пептиды, подавляющие рост молочнокислых бактерий, — их можно использовать при промышленном производстве этанола вместо антибиотиков («Прикладная биохимия и микробиология», 2015, 51, 5, 495—501)...

...эксперимент с кормушками, которые открывались только для определенной птицы с радиомаячком на лапке, показал, что большие синицы *Parus major* очень привязаны к своим партнерам, они предпочитают не разлучаться, даже когда кормиться может только один из супругов («Current Biology», 2015, doi: 10.1016/j.cub.2015.09.075)...

...крысы могут определять свое положение в пространстве с завязанными глазами, фиксируя пройденный путь, что было проверено в опытах на беговой дорожке, меняющей скорость («Neuron», 2015, 88, 3, 578—589, doi: 10.1016/j.neuron.2015.09.031)...

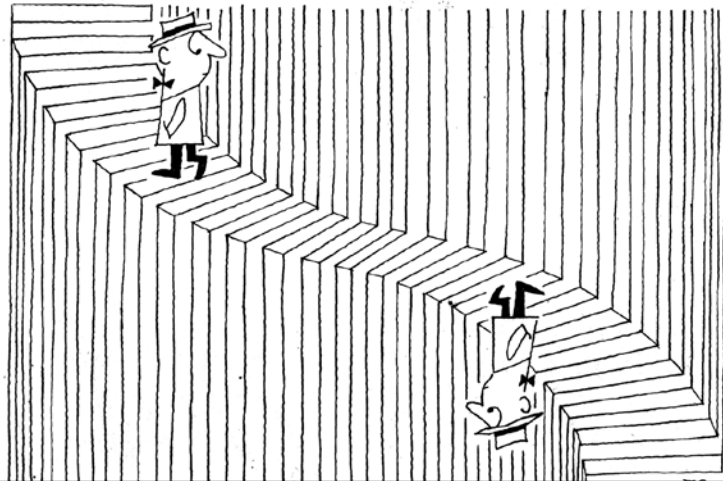
...обыкновенные тонкоголовые муравьи помимо основного строят вспомогательные «мобильные» гнезда, чтобы быстро захватывать новые территории и создавать опорные пункты для добывания пищи в наиболее благоприятных для этого местах; после их использования строительный материал возвращается в материнское гнездо («Зоологический журнал», 2015, 94, 10, 1132—1137)...

...окраска радужных перьев у иглохвостого стрижа определяется их архитектурикой, о чем свидетельствуют результаты сканирующей электронной микроскопии («Доклады Академии наук», 2015, 464, 2, 247—251)...

...мамонты могли бы выжить, если бы не дефицит минеральных элементов в их рационе; позднейшие мамонты страдали от остеопороза и других заболеваний костей и суставов («Archaeological and Anthropological Sciences», 2015, 7, 297—317, doi: 10.1007/s12520-014-0205-4)...

...и у пчелы, и у белки примерно 3 миллиона волосков («Journal of Experimental Biology», 2015, 218, 3164—3174; doi: 10.1242/jeb.103937)...

Художник Тон Смитс



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

## Неумелое финансирование

Один из явных признаков кризиса современного естествознания — отсутствие прорывов в область неведомого, переход научного сообщества от наступательной позиции (мы откроем все тайны мироздания) к оборонительной (дилетантам не место в науке, которую делают теперь большие коллективы, мы занимаемся серьезными исследованиями, и у нас нет времени разбираться с какими-то смешными идеями). Количественно охарактеризовать это состояние сумели исследователи, возглавляемые доцентом Джеймсом Эвансом — социологом из Чикагского университета (агентство «NewsWise», 5 ноября 2015 года), которые построили научную сеть современного биохимического знания.

В ее основе лежали прослеживаемые через публикации парные связи между молекулами. Миллионы научных статей и патентов были разбиты на группы таким образом, что, если в материале упоминались две какие-то молекулы, между ними устанавливали связь на рисунке. В итоге картина состояла из тысяч молекулярных узлов и миллионов объединяющих их в сеть связей. С помощью этой сети можно было выяснить исследовательскую стратегию, заложенную в каждой статье: хотели авторы воспроизвести уже известный результат или же стремились выйти на новое знание, условно говоря, выявить новую связь между какой-то парой молекул. Позволяла она определить и скорость получения новых знаний.

Вполне ожидаемо выяснилось, что в свежестроенной области количество новых знаний растет быстрее, чем в уже изученной, причем сообщения об отрицательных результатах повышают интерес к области. Однако в этом участвует абсолютное меньшинство исследователей: они в шесть раз чаще предпочитают проверенную область, фактически подтверждая уже установленные связи. И такое соотношение держится уже более четверти века, несмотря на то что открывается все больше возможностей работать в новых областях. Особой славы путь золотой середины исследователям не приносит — к Нобелевской премии и другим престижным наградам ведет стратегия, связанная с риском неудачи, однако грантовым комитетам, видимо, по душе осторожные претенденты.

Помимо общей косности институтов, не стремящихся поддерживать свежие идеи, авторы исследования указывают и на такой фактор, как стремление увеличивать число публикаций, особенно у молодых ученых: очевидно, что опубликовать тривиальный результат, не вызывающий раздражения у рецензентов, гораздо проще, нежели тот, что ставит под сомнение какие-то устои или позволяет по-новому взглянуть на известную проблему.

Как же с этим бороться? Радикального средства не предложено, разве что посоветовать грантовым комитетам выдавать деньги не на проекты или научным коллективам, а отдельным ученым, чтобы они могли распределять риск по разным работам и не подвергать опасности свои коллективы.

А. Мотыляев



# Интеллектуальные устройства

Будучи мальчиком, я питал особую слабость к механическим, двигающимся игрушкам. Жестяные машинки заводились, маленькие птички с заводной пружиной клевали, черепахи ползали. Были и такие машины, которые, подъехав к краю стола, не падали на пол, поскольку их останавливал и поворачивал в безопасную сторону шип, высовывающийся из шасси.

Не было недостатка и в более сложных игрушках. Припоминаю, что у меня был даже мельник, который взваливал на плечи жестяный мешок с мукой, влезал по лестнице в амбар, а когда этот мешок падал вниз, мельник спускался за ним, и так продолжалось до тех пор, пока была закручена пружина. Однако же в те времена никому не приходило в голову называть авто, не падающие со стола, мельников или приятно звучащие волчки интеллектуальными устройствами.

Но сейчас конструкторы, жаждущие известности, беззаботно распоряжаются определением «интеллектуальный». В последнем номере «New Scientist» помещены таблицы с перечнем так называемых роботов, которые выполняют различные действия, демонстрирующие их мнимую интеллектуальность. Есть среди них, например, вездеход, шагающий, словно краб, по дну бассейна и при случае сгребаящий ил и другой сор со дна. Есть также несколько роботов, ни один из которых ни в малейшей степени не похож на человеческую фигуру. Один, двигаясь от середины комнаты по спирали, подметает пол, а если он оснащен соответствующим датчиком, то может огибать неподвижные формы, например ножки стола. Другой робот также подметает, но катается при этом от стены к стене, а некоторые могут даже подстричь газон, если, кроме травы, на нем ничего не растет.

Те, кто пишет об этих устройствах, поместили в соответствующей рубрике информацию о том, что каждое из них может, а чего не может. Например, есть такой робот, который ищет розетку, когда его аккумулятор начинает разряжаться. Большинство их, однако, не столь смысленные, после разрядки батареи они просто стоят на месте. Ни один не в состоянии, подметая пол или срезая траву, преодолеть ужасную преграду, каковой для них являются ступеньки. Однако конструкторы так довольны своими произведениями, что называют этих напыщенных электроники бедолаг предвестниками искусственного интеллекта.

Я вынужден признаться, что не вижу ни малейшего повода, который помешал бы этим конструкторам объявить наделенным интеллектом парашют — ведь он может спасти жизнь человека, выпрыгивающего из самолета, — или надутую резиновую камеру, выполняющую роль спасательного круга на воде. Расширяя понятие интеллекта еще больше, подобно накидке, закрывающей голову во время дождя, мы могли бы также говорить об интеллектуальности копны сена, на которую кто-то падает с крыши. Ведь сено и ему спасает жизнь. Согласно такому подходу интеллектом, собственно говоря, наделено все: даже мои крепкие подтяжки, потому что без них с меня свалились бы брюки.

Таким образом, мы вступаем в страну всеобщей интеллектуальности. Единственная небольшая проблема заключается в том, что мои мальчишеские игрушки были дешевыми, а роботы, наделенные электронными датчиками, стоят чертовски дорого. Тот экземпляр, который убирает комнату, можно купить за шестьсот долларов. В инструкции к нему есть, однако, предостережение, что, когда этот электронный бродяга со своей щеткой радостно рыщет по комнате, не следует туда ни входить, ни вставать у него на пути, поскольку его датчики не в состоянии отличить человеческую ногу, вообще-то подвижную, от ножки стола.

Сомнительно оригинальным представляется мне уже упомянутое расширение понятия интеллекта, поскольку в результате наверняка обнаружится сообщительность двух штанин наших

**А.В.ЗЫКОВУ**, Новосибирск: *Bead (бусина) в присланном вами отрывке — это то, что по-русски называется «перлы», разноцветные стекловидные сплавы оксидов металлов с бурой  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  или фосфорной солью  $\text{Na}(\text{NH}_4)\text{HPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , которые образуются в процессе быстрого аналитического определения минералов (bead test или blister test).*

**С.К.ВОЛКОВУ**, Воронеж: *Некаль (натриевая соль дибутилнафталинсульфокислоты) используется как поверхностно-активное вещество и компонент гербицидов; токсичность его в экспериментах умеренная, полудлетальная доза составляет граммы на килограмм веса животного.*

**А.А.КРУГЛИЦКОЙ**, Москва: *Слайм, флаббер и силлипутти — разные вещи: основа флаббера — поливиниловый спирт, слайм (он же лизун) делается из гуаровой камеди, а силлипутти — из кремнийорганических полимеров (силоксанов); почему детям так нравится играть с полужидкими материалами, трудно сказать.*

**М.В.РОМАНОВУ**, Нижний Новгород: *Термическая обработка древесины «без химии», то есть сушка при высоких температурах, повышает формостабильность и биостойкость, но снижает прочность, поэтому делать строительные несущие конструкции из термически модифицированной древесины не рекомендуют.*

**Г.А.ЛЕМАНУ**, Санкт-Петербург: *Вы задали очень много вопросов по художественной обработке металлов, тут нужна консультация специалиста-практика; попробуйте обратиться по адресу <http://www.chipmaker.ru/forum/97/> или в другой форум на данном ресурсе.*

**М.В.ГОНЧАР**, Уфа: *Углифрут — очередной гибрид цитрусовых, найденный в дикой природе, на этот раз мандарина и грейпфрута; название происходит от английского ugly (уродливый), из-за грубой кожуры некрасивого цвета, но кто пробовал, говорят, что вкусный.*

**С.Н.БИРЮКОВОЙ**, Калуга: *Микроволновую печь можно быстро отмыть, если положить в нее хорошо увлажненное бумажное полотенце и включить на короткое время; альтернативный способ — мыть ее чаще; для мытья подходят любые средства, которые не повреждают внутреннее покрытие.*

**А.**, электронная почта: *Вы правы, фамилия Фридриха Вёлера пишется через одно «л», приносим извинения за ошибку в № 10.*



НЕИЗВЕСТНЫЙ ЛЕМ

брюк, ибо если бы их было три, то мы не знали бы, куда засовывать ноги, а если бы была только одна, то, натянув ее, мы не смогли бы сделать и шагу. Тем самым мы докажем портновский искусственный интеллект этой части нашей одежды.

Во всем этом, по моему мнению, очень мало смысла, но упомянутый номер «New Scientist» большими буквами на обложке обещает возникновение необычайно полезных роботов, которые будут поступать в продажу. Может быть, эти образцы соблазнят

кого-то, кто не знает, куда девать деньги, однако я к подобным покупателям наверняка не отношусь.

Вывод же из всего этого такой: как было далеко до искусственного интеллекта, так далеко осталось по-прежнему.

Первоисточник: Lem S., Urządzenia inteligentne. — Przekrój (Warszawa), 2001, Nr. 9

Перевод с польского Виктора Язневича



# АНАЛИТИКА ЭКСПО

14-я Международная выставка  
**ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
И ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ**

12–14 апреля 2016 года  
МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»



**ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД НА САЙТЕ**

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



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

Генеральный инфо-партнер:

