



2014

ЖИЗНЬ И ВМЯХ







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

НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:

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

Редакторы и обозреватели

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

Технические рисунки

Р.Г.Бикмухаметова

Подписано в печать 7.11.2014

Адрес редакции

19991, Москва, Ленинский просп., 29, стр. 8

Телефон для справок:

8 (495) 722-09-46

e-mail: redaktor@hij.ru

<http://www.hij.ru>

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

© АНО Центр «НаукаПресс»



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина

*НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
работа Хуана Понса «Вид на Латру».*

*Когда изменяется размер живого
существа, что еще должно измениться?*

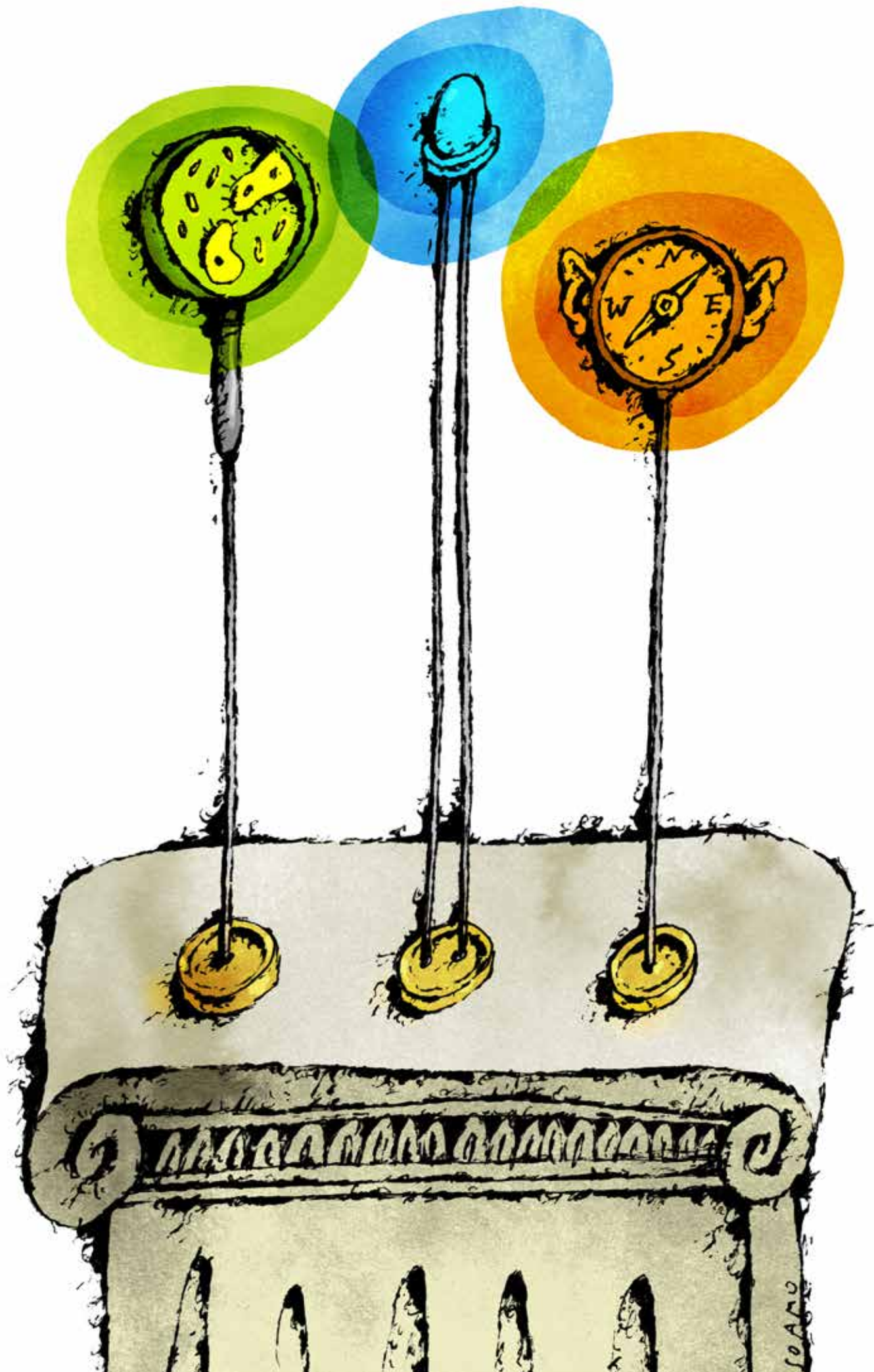
*Читайте об этом в статьях «Легко ли
быть миниатюрным», «Акулы-пигмеи» и
«К чему стремятся летуны».*

*Если человек любит тот же сыр,
что и мышь, это еще не значит, что мышь
так же умна, как человек.*

Константин Мелихан

Содержание

Нобелевская премия КАРТЫ ПАМЯТИ. Е.Клещенко	2		
Нобелевская премия СИНИЙ СВЕТ ИЗ ГЛУБИН ПОЛУПРОВОДНИКА.	6		
Глубокий эконо LED И ПОТЕРЯННЫЕ РЕСУРСЫ. С.М.Комаров	8		
Нобелевская премия ЕСЛИ НЕЛЬЗЯ, НО ОЧЕНЬ ХОЧЕТСЯ. В.В.Рыбкин	6		
Интервью МИКРОСКОПИЯ БУДУЩЕГО. А.С.Мишин	8		
Элемент №... СЕЛЕН: ФАКТЫ И ФАКТИКИ. С.М.Шихман.....	15		
Проблемы и методы науки НОВЫЙ ТИП ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ. В.В.Рыбкин	20		
Хемоскоп ОСЬМИНОГИ ВДОХНОВЛЯЮТ УЧЕНЫХ. ПЕРВАЯ РАЗВЕТВЛЕННАЯ МОЛЕКУЛА В КОСМОСЕ. В.Барановская	22		
Проблемы и методы науки НЕЙРОПРОТЕЗЫ. С.Б.Ястребова	24		
Гипотезы БОЛЕЗНЬ АЛЬЦГЕЙМЕРА — НОВАЯ ПАНДЕМИЯ. В.Благутина	28		
Проблемы и методы науки ЛЕГКО ЛИ БЫТЬ МИНИАТЮРНЫМ. А.А.Полилов.....	32		
Книги АКУЛЫ-ПИГМЕИ, ИЛИ КАРЛИКИ СРЕДИ ГИГАНТОВ. Е.И.Кукуев	36		
Дневник наблюдений ПТИЦЫ. Н.Анина	39		
А почему бы и нет К ЧЕМУ СТРЕМЯТСЯ ЛЕТУНЫ. С.М.Анофелес.....	42		
Архив О ПРЕОБРАЗОВАНИИ КАРЕТ И ВОРОТНИКОВ.	45		
Книги ИОГАНН ВОЛЬФГАНГ ГЕТЕ — ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЬ. К.Г.Михайлов.....	46		
Нанофантастика НОВАЯ ЖИЗНЬ. Елена Карасева.....	49		
Проблемы и методы науки КАК УВИДЕТЬ, ЧТО ГОВОРЯТ ЛЮДИ. Е.Клещенко	50		
Что мы едим ТУШЕНКА. Н.Ручкина.....	54		
Фантастика ТАНЕЙКИНА ЗАВОДЬ. Наталья Чернышева.....	56		
Ученые досуги К ВОПРОСУ О ДЛИНЕ ОЧЕРЕДИ. Л.Намер.....	60		
Прогулки по истории химии ОТКРЫТИЕ ФУЛЛЕРЕНОВ: ВЗГЛЯД КРОТО. И.А.Леенсон	64		
В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	18	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
ИНФОРМАЦИЯ	17	ПИШУТ, ЧТО...	62
КНИГИ	59	ПЕРЕПИСКА	64



Карты памяти



Е. Клеценко

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

Нобелевскую премию по физиологии или медицине 2014 года поделили пополам Джон О'Киф (директор Центра по изучению нейронных цепей и поведения в Лондонском университетском колледже) и супруги Мэй-Бритт и Эдвард Мозер (Норвежский университет науки и технологии в Тронхейме) — «за открытие клеток, которые создают систему позиционирования в нашем мозге».

В голове у каждого из нас есть карты тех мест, где мы бывали, у кого-то подробные, у кого-то весьма приблизительные. Мы редко задумываемся о том, откуда эти мысленные карты берутся в нашем сознании. Оно само получается. Это же так естественно — вот мир, вот я в мире, справа торговый центр, слева переулок, там метро, через два квартала дом родителей... Однако полезные вещи редко возникают «сами». Спросите разработчика компьютерной игры: нужны ли специальные ухищрения, чтобы персонажи запоминали пройденный путь и представляли его в виде карты, или это свойство у них проявляется спонтанно?

Легко предположить, что существуют какие-то структуры мозга, нервные клетки (нейроны) или их группы, обеспечивающие поиск ответов на вопросы «где я?», «что здесь есть и как оно расположено?» и «как попасть отсюда туда?».

Клетки места

Гипотезу о том, что в мозге млекопитающих каким-то образом представлены карты местности, сформулировал еще в середине XX века американский психолог Эдвард Толмен (1886—1959). Он утверждал, что животное, исследуя местность, постепенно формирует когнитивную карту, помогающую ориентироваться. При этом он оспаривал позицию бихевиористов, которые представляли запоминание и поиск пути в виде цепочки стимулов и реакций, — их школа исследовала животных как автоматы, достаточно жестко реагирующие на голод, наличие партнера или врага и т. д., и с подозрением относилась к любым утверждениям о сложных ненаблюдаемых психических процессах. В экспериментах Толмена крысы свободно обследовали лабиринт, не будучи голодными, из любопытства. Но когда крысы проголодались и в лабиринт положили приманку, те животные, которые раньше уже гуляли по лабиринту «просто так», находили ее быстрее — значит, карта в их мозге формировалась и без практической необходимости.

Однако в то время было невозможно ответить на вопрос, какие именно структуры отвечают за построение карты. Для этого потребовались современные экспериментальные технологии — в частности, вживление в мозг животному микроэлектродов, которые позволяют регистрировать сигналы от отдельных нервных клеток, в то время как животное ведет обычный образ жизни.

Джон О'Киф, американец ирландского происхождения, в конце 60-х годов работал в Лондонском университетском

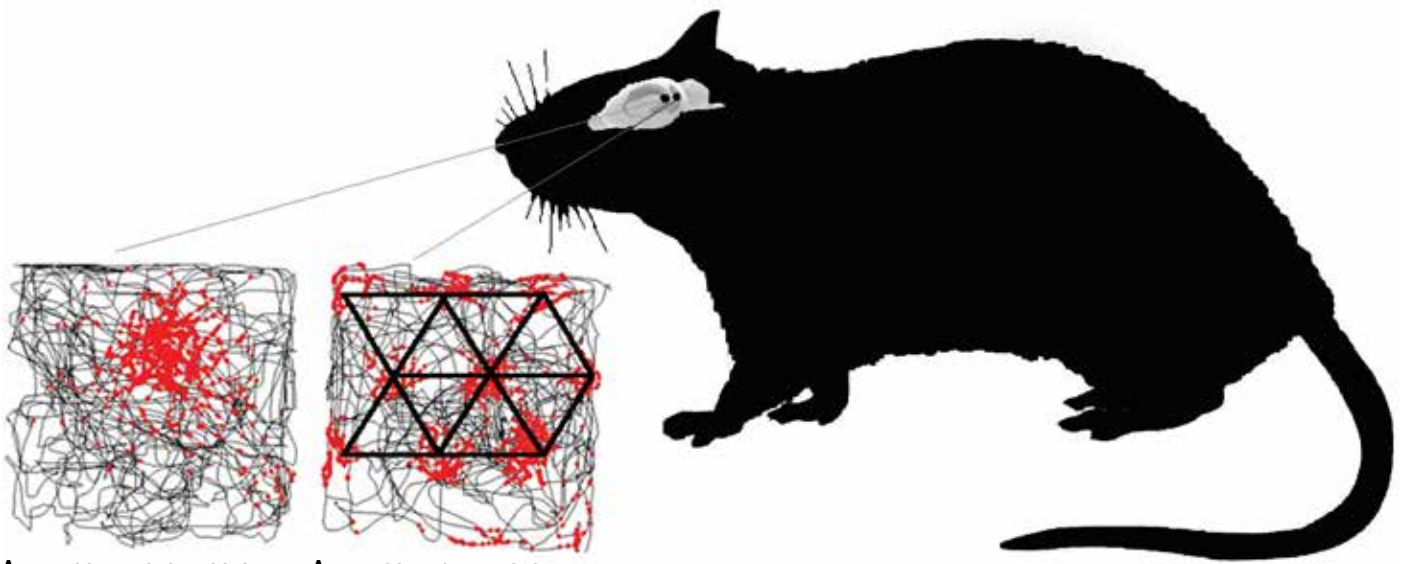
колледже, в лаборатории Патрика Уолла, знаменитого исследователя боли. Записывая сигналы от участка гиппокампа, называемого CA1, у крыс, свободно гуляющих по огороженной площадке, О'Киф открыл так называемые клетки места.

Гиппокамп — парная структура в височных отделах мозга, которая отвечает за формирование эмоций и консолидацию памяти, то есть превращение кратковременной памяти в долговременную. Именно повреждение гиппокампа лишило знаменитого «пациента Г.М.» способности запоминать новые события (см. «Химию и жизнь», 2011, № 8). Имя его было обнародовано после его смерти в 2008 году: Генри Молашен. Молодой человек страдал эпилепсией, и нейрохирург Уильям Бичер Сковилл удалил ему височные участки коры, значительную часть гиппокампа и миндалины: в 1953 году это могло казаться хорошей идеей. После этого Генри не мог запомнить почти ничего, что происходило с ним; никакая новая информация не удерживалась в его голове более полуминуты. По современной терминологии, у него перестала формироваться эпизодическая память — «автобиографические» воспоминания больше не записывались, жизнь как бы остановилась. В то же время семантическая память, которая сформировалась у него ранее, — понятия о различных предметах, фактах и событиях и о связях между ними — осталась неповрежденной, как и эпизодическая память о жизни до операции.

Кроме того, известно было, что гиппокамп как-то связан с пространственной памятью. Мы не раз писали об Игнбелевской премии 2003 года по медицине, которую получили Элинор Магуайр с коллегами «за доказательство того факта, что у лондонских таксистов есть мозги» (см. «Химию и жизнь», 2004, № 12). На самом деле они показали, что у таксистов область гиппокампа, которая считается ответственной за пространственную память, в среднем больше, чем у людей других профессий, а у опытных таксистов больше, чем у начинающих («Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA», 2000, 97, 8, 4398—4403, «Current Biology», 2011, 21, 24, 2109—2114). А то, что это должен быть именно гиппокамп, продемонстрировали, в частности, Джон О'Киф и его студент Джонатан Достровски еще в 70-е годы XX века.

Из их экспериментов следовало, что определенные клетки гиппокампа генерируют сигналы тогда и только тогда, когда животное находится в определенном месте площадки (O'Keefe, Dostrovsky, «Brain Research», 1971, 34, 171—175). Другие клетки активировались в других участках. Потребовалось немало усилий, чтобы доказать, что нейроны включаются именно в ответ на пребывание в определенной точке пространства, а не на какие-то отдельные сенсорные впечатления: это сигнал «я здесь», а не «я вижу и чувствую то-то и то-то». Активность разных клеток места создавала нейронную карту данной локации. Позднее О'Киф с соавторами показали, что гиппокамп содержит карты многих мест, — каждая «комплекция» клеток формирует свою карту.

Технику записи сигналов от нейронов свободно гуляющего животного, в том числе и от гиппокампа, использовали и до О'Кифа, но обычно животному давали элементарные поведенческие задачи или исследовали реакцию на конкретный



**Активность клеток места
(гиппокамп)**

**Активность грид-клеток
(медиальная энторинальная кора)**

стимул, О'Киф же изучал естественное поведение. В последующих экспериментах он установил также, что клетки места вовлечены и в формирование памяти.

Предположение об участии гиппокампа в пространственном ориентировании сначала встретили скептически. Но со временем оно получило признание и вдохновило многих ученых на исследования нейронов места.

GPS мозга

В 80—90-е годы считалось, что карты создаются только в гиппокампе. Так ли это, решили проверить Мэй-Бритт и Эдвард Мозер — редкий случай, когда у супругов-ученых и научные биографии идут параллельно, и открытия делаются совместно. (Хотя и не уникальный, вспомним семью Кюри.) Они работали над своими диссертациями в Университете Осло в начале 90-х, будучи постдокторантами, посещали другие крупные европейские научные центры, в том числе лабораторию О'Кифа. Их внимание привлекла так называемая медиальная энторинальная кора, которая находится рядом с гиппокампом и активно обменивается с ним сигналами. Сначала они стали искать в этом участке мозга «клетки места» и действительно нашли клетки с похожими характеристиками. Но самое интересное случилось в последующих опытах, когда животных запустили на более обширные площадки.

В энторинальной коре Мозеры обнаружили клетки с весьма необычной активностью (Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.B., and Moser, E.I. «Nature», 2005, 436, 801—806, doi:10.1038/nature03721). Если представить, что экспериментальная площадка покрыта невидимой сеткой с треугольными ячейками, — клетка нового типа включалась, когда крыса оказывалась в любой из вершин треугольников! У разных клеток, расположенных в одном слое, размер ячеек и ориентация решеток одинаковы, но различаются положения вершин, одна сетка сдвинута относительно другой, так что вместе они покрывают всю плоскость. Клетки разных слоев «настроены» на разные размеры ячеек, от сантиметров до метров, — чтобы оценивать малые и большие расстояния. Нейроны, открытые Мозерами, стали называть клетками координационной сетки, или грид-клетками.

Ясно, почему грид-клетки и клетки места называют «внутренним GPS мозга»: сравнение буквально напрашивается. Фактически открытие Мозеров означало, что поле зрения животного, как у Терминатора в фильме или у героя компьютерной игры, расчерчено пунктирными линиями, подчеркивающими объем пространства и отмечающими точное

В мозге крысы и других млекопитающих есть нейроны, которые реагируют на пребывание в определенном месте (нейроны места) или в узлах невидимой координационной сетки (грид-нейроны) На рисунке схематически показана экспериментальная площадка; тонкие линии — путь гуляющего животного, точки — места, в которых активировался определенный нейрон. (Схемы: Moser et al., «Annual Review of Neuroscience», 2008, 31:69-89; doi: 10.1146/annurev.neuro.31.061307.090723)

расстояние до объектов. Животное их (скорее всего) не видит — у биообъектов постоянно включен режим «скрыть сетку». Но они есть. Мозг размечает окружающий мир и отслеживает перемещение хозяина в этих координатах.

Позднее выяснилось, что грид-клетки работают в тесной связи с другими клетками похожего назначения — например, с теми, что реагируют на определенное направление головы животного, и с «клетками границы», которые активируются, когда животное достигает какой-то преграды. (Кстати, существование нейронов границы предсказал О'Киф с коллегами.) Внешние стимулы и повороты головы животного заставляют сетки нейронов смещаться и поворачиваться. Та же клетка, когда крыса попадает в иное окружение (например, на ту же экспериментальную площадку с другой расцветкой стен, другими приметными точками и т. д.), будет активироваться в узлах несколько смещенной сетки. По-видимому, взаимодействия между этими нейронами управляют активацией клеток места в гиппокампе, при этом рисунок их активности может полностью изменить даже небольшие перемены в «интерьере». Это объясняет, каким образом у нас в голове сохраняются карты огромного множества мест. А в похожих местах и картины активности нейронов похожи — зато они различаются, когда животное идет по одному и тому же коридору «туда» или «обратно».

Вскоре клетки места и грид-клетки были открыты у других животных. Например, Михаэль Ярцев и Наум Улановский (Вейцмановский институт, Израиль) исследовали те и другие клетки у летучих мышей — нильских крыланов *Rousettus aegyptiacus*. Задача была нетривиальной, ведь летуны ориентируются в трехмерном пространстве, а не на плоскости. Крыланы летали в лаборатории вокруг искусственного дерева, положение животных фиксировали с помощью телеметрии и одновременно через беспроводную связь записывали сигналы их нервных клеток (Yartsev et al., «Nature», 2011, 479, 7371, 103—107, doi:10.1038/nature10583). Действительно, сеть у них оказалась трехмерной. Крыланы, как объяснял журналистам Ярцев, «очень умные животные и, когда они привыкнут к вам, становятся также вполне дружелюбными... по крайней мере, большинство из них».

Как сохранить память?

Очевидно, подобные клетки имеются и у человека. Это подтверждают и регистрация сигналов с электродов (конечно, людям электроды вживляют только по медицинским показаниям, например когда исследуют мозг больного эпилепсией перед операцией), и метод функциональной магнитно-резонансной томографии. Есть они и у других классов позвоночных, не только у млекопитающих, — это говорит об их эволюционной древности. То, что есть у разных живых существ, очевидно, имелось у их общего предка.

Расположение навигационной системы в гиппокампе и рядом с ним наводит на мысль: а как насчет эпизодической памяти вообще, не только о проложенных маршрутах? Не связывает ли ее что-нибудь с пространственной памятью? Именно такую гипотезу выдвинули Эдвард Мозер и Дьёрди Бузаки (Buzsáki, Moser, «Nature Neuroscience», 2013, 16, 130—138, doi:10.1038/nn.3304). Они предполагают, что механизмы, отвечающие за память о прошлом и планирование будущего у высших животных, произошли в ходе эволюции от механизмов пространственной памяти.

Разнообразные события нашей жизни мы запоминаем и вспоминаем совершенно так же, как повороты и приметы во время прогулки, — не даром метафора «жизненного пути» появилась еще в Древнем мире и почти не воспринимается как метафора. Историю жизни индивида, записанную как последовательность больших и малых событий, — иными словами, эпизодическую память — можно сравнить с памятью об одной конкретной прогулке. Действительно, у таких воспоминаний много общего: например, проще вспоминать дорогу в направлении от начала к концу, а не наоборот, и по порядку, а не произвольными фрагментами. Как в «Даре» Набокова: *«...Они играли так: сидя рядом и молча про себя воображая, что каждый совершает одну и ту же лешинскую прогулку, они выходили из парка, шли дорожкой вдоль поля (слева, за ольшаником, речка), через тенистое кладбище, где кресты в пятнах солнца показывали руками размер чего-то пребольшого, и где было как-то неловко срывать малину, через речку, опять вверх, лесом, опять к речке, к Pont des Vaches, и дальше, сквозь сосняк, и по Chemin du Pendu, — родные, не режущие их русского слуха прозвания, придуманные еще тогда, когда деды были детьми. И вдруг, среди этой безгласной прогулки, которую две мысли проделывали, пользуясь по правилам игры мерой человеческого шага (хотя в один миг могли бы облететь свои владения), оба останавливались и говорили, где кто находится, и когда оказывалось, как это бывало часто, что ни один не обогнал другого, остановившись в том же перелеске, — у матери и сына вспыхивала одна и та же улыбка сквозь общую слезу»*. Точно так же и любую последовательность фактов и событий проще вспоминать по порядку, хотя, конечно, ассоциации позволяют совершать перескоки.

Семантическая память, в которой собраны и упорядочены сведения о различных объектах и явлениях, похожа на память о местности, подробно исследованной во время многочисленных прогулок. Планирование будущего — на планирование пути по знакомой или частично незнакомой местности. И как начало и конец пути могут соединяться множеством дорог, мы можем достигать цели разными способами или рассказывать одну и ту же историю по-разному. Почему бы не предположить, что карта нашей жизни записывается в мозг так же, как и просто карта, что память об объектах и событиях поддерживают аналогичные механизмы? Авторы гипотезы подчеркивают, что не хотая сказать, будто все наши воспоминания записаны в клетках места и грид-клетках, — скорее всего, это другие клетки, но алгоритмы их работы могут оказаться сходными. Известно, что воспоминания воспроизводятся в виде уникальных «со-



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

звездий» активных нейронов, называемых энграммами (см. «Химию и жизнь», 2012, № 12). Кстати, в эти созвездия входят нейроны гиппокампа и энторинальной коры.

У Мозера и Бузаки есть и дополнительные аргументы. Во-первых, система «гиппокамп — медиальная энторинальная кора» явно избыточна, если рассматривать ее только как навигационное оборудование: насекомые, даже летающие, успешно ориентируются с помощью куда меньшего числа клеток. Да и крысам для картирования конкретного участка местности с точностью до сантиметра хватило бы дюжины грид-клеток или клеток места. Авторы гипотезы предполагают, что избыточность ресурса, позволяющего записывать множество карт местности, заложила основу для долговременной памяти. А что, как не долговременная память, способность оглядываться на прошлое, учитывать предыдущие попытки и становиться умнее, отличает высшее животное от низшего?

И еще один интересный момент. Эпизодическая память должна «переписываться» в память долговременную с помощью процесса, называемого консолидацией, и происходит это, в частности, когда мы спим. Есть наблюдения, что те же самые группы клеток, которые были активны у бодрствующего животного, затем активируются во время сна. Вероятно, при этом когнитивная карта записывается в кору головного мозга. Может быть, именно в эти моменты нам и другим млекопитающим снятся сюжетные сны, в которых люди гуляют по смутно знакомым городам, а собаки гонятся за кошками — шевелят лапами и тихонько взлаивают?

Пользу человечеству открытия лауреатов этого года, вероятно, принесут еще не сегодня и не завтра. Однако нарушения эпизодической памяти характерны для болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваний, поэтому важно исследовать механизмы, обеспечивающие пространственную память. Кстати, О'Киф и его коллеги показали в опытах на мышах, у которых развивается заболевание, аналогичное человеческой болезни Альцгеймера, что деградация участков с нейронами места сопровождается нарушениями пространственной памяти — типичный симптом и у людей. И гиппокамп при этой болезни страдает одним из первых.

Когда мы лучше поймем, как устроена система позиционирования человеческого мозга, мы сможем противостоять разрушению пространственной памяти, реже будем видеть объявления о пропавших дедушках и бабушках, которые вышли погулять и не вернулись домой. Да и здоровым интересно будет узнать, как развивать эту память и запоминать дорогу с первого раза, пользуясь собственным природным GPS, а не тем, который в айфоне. Относительно более глубокого проникновения в сущность всех видов памяти пока загадывать не будем, но тоже было бы неплохо.



Синий свет из глубин полупроводника

Нобелевскую премию по физике 2014 года поделили между собой две группы японских ученых: Исаму Акасаки и его ученик Аmano Хироси из Нагойского университета, а также Сюдзи Накамура, начинавший свою деятельность в компании «Нития кемикалс» на острове Сикоку, а ныне профессор Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Их достижение — создание надежно работающих синих светодиодов, с помощью которых можно получить белый свет и обеспечить революцию в освещении.

Светодиод основан на способности полупроводника излучать свет, которую впервые обнаружил в 1923 году О.В.Лосев из Ленинградского физико-технического института: он заметил зеленоватое свечение карборунда при пропускании через образец электрического тока (см. «Химию и жизнь», 1999, № 5—6). Источник света в полупроводнике — рекомбинация электронов и дырок, перетекающих через границу двух полупроводников с разными типами проводимости, вследствие чего их энергия превращается в квант света. Однако из-за неразвитости теории Лосев не смог понять сути явления. Только в 60—70-х годах, когда были отлажены технологии работы с полупроводниками, удалось сделать красные, желтые и желто-зеленые светодиоды на основе фосфида и арсенида галлия. Их стали использовать как индикаторные огоньки в различных приборах. А с синим светодиодом поймать удачу долго не удавалось.

Первыми фиолетовые и голубые светодиоды из пленки нитрида галлия на подложке из сапфира сделали в 1971 году исследователи из лаборатории компании RCA (Radio Corporation of America) под руководством Жака Панкова, он же Яков-Исаак Евсеевич Панчешников (который, кстати, родился в 1922 году и, по данным Википедии, в 2014 году еще жив). Однако они работали весьма ненадежно из-за несовершенства пленки. Акасаки и его аспирант Хироси в 80-х годах сумели получить неплохую пленку этого нитрида, нанося ее на слой алюминия. Более того, они обнаружили, что после исследования этой пленки в электронном микроскопе она существенно усиливала свечение. Накамура, который шел



Фото: Yasuo Nakamura/Meijo University

Исаму Акасаки



Фото: Nagoya University

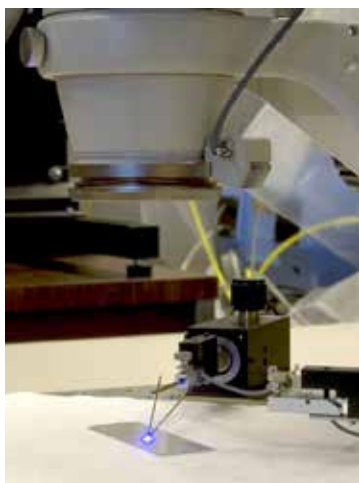
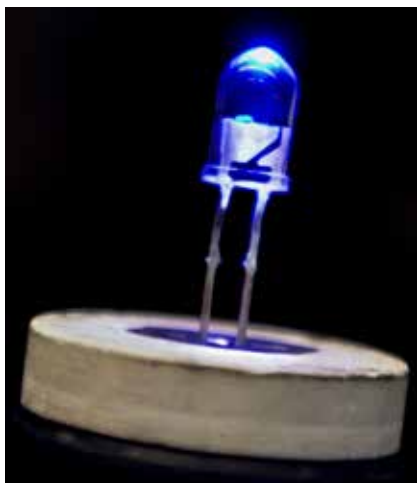
Аmano Хироси

своим путем, обратил на это внимание. Ему удалось выяснить причину: электронный луч микроскопа сдувал с поверхности пленки водород, который и препятствовал правильной работе полупроводника. В 1992 году Накамура создал надежную технологию получения пленок нитрида галлия хорошего качества. Компания «Нития кемикалс» ее запатентовала и начала производство. Группа Акасаки также добилась надежной работы светодиодов, созданных по их технологии. Сейчас такие светодиоды представляют собой многослойные структуры, где к нитриду галлия подмешаны индий и алюминий. Потом Накамура сделал еще и синий полупроводниковый лазер, который теперь широко используют для записи дисков Blue Ray, и ультрафиолетовый полупроводниковый лазер.

Борьба за синий свет была столь упорной отнюдь не случайно. Светодиоды очень эффективно преобразуют электричество в свет, и всем хотелось использовать их для освещения, заменив низкоэффективные лампы накаливания. Однако из красного и зеленого светодиодов белый свет не сделаешь. Для этого нужен синий — тогда белый получится смешением всех трех цветов. Это дорогой способ, но есть и дешевый, которому, однако, тоже нужен синий свет, — применение люминофора. Его свечение вызывают кванты с высокой энергией — а чем более синий свет (то есть, чем меньше его длина волны), тем больше их энергия. В энергосберегающих люминесцентных лампах, например, пары ртути дают и вовсе ультрафиолетовый свет, который затем преобразуется люминофором в белый.

После создания синего светодиода как раз и стало возможным получать белый свет, применяя люминофор. Именно так работают все бытовые светильники, фонари и прочие устройства такого рода, в изобилии представленные на рынке.

Интервью с профессором Накамурой журнал «Химия и жизнь» публиковал восемь лет назад, в октябре 2006 года, по случаю присуждения ему премии «Миллениум», учрежденной Академией наук Финляндии. Сейчас мы повторяем эту публикацию: никто не расскажет о нобелевской работе лучше самого лауреата.



Сюдзи Накамура: «Я лишь хотел получить кандидатскую степень»

О том, как делаются открытия, которые приносят мировую славу, главный редактор «Химии и жизни» Любовь Стрельникова беседует с профессором Сюдзи Накамурой.

Профессор, знаете ли вы, что идея использовать полупроводники в качестве источника света пришла из России?

Нет, я не знал. А как это произошло?

В 1923 году инженер Лосев, который тогда работал в Ленинградском физико-техническом институте, заметил зеленоватое свечение при прохождении небольшого тока через кристалл карбида кремния.

Спасибо, что рассказали мне об этом.

А кого вы считаете своими предшественниками?

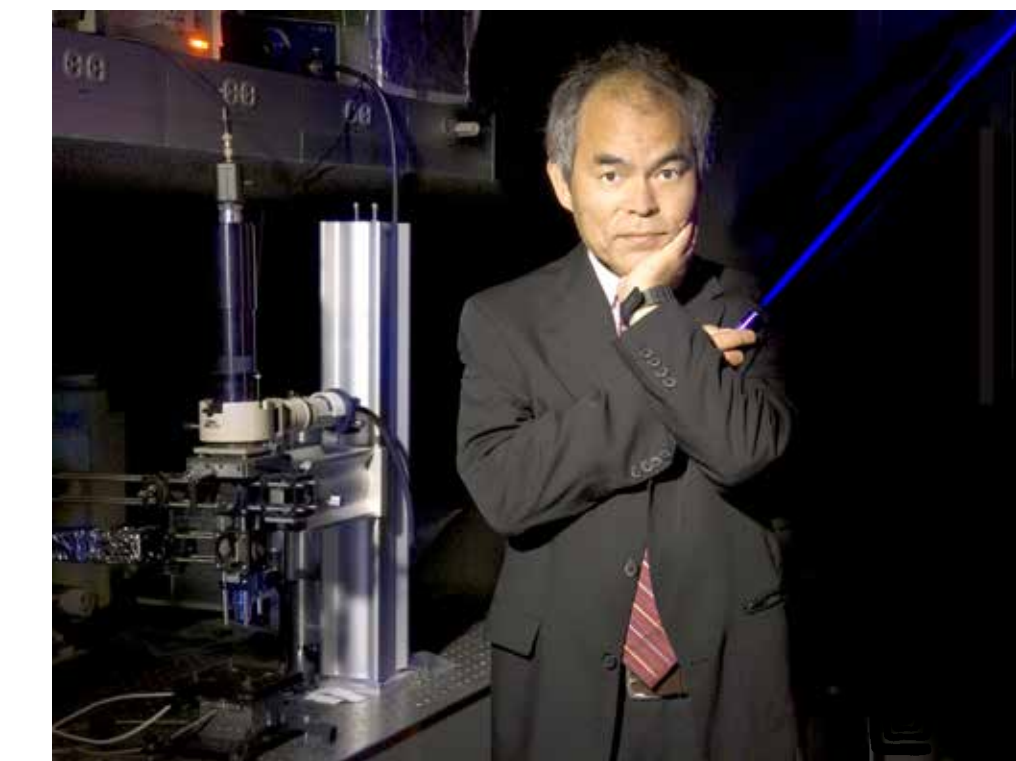
Лео Исаки, который изобрел полупроводниковые сверхрешетки, и Херба Кромера, создавшего первые полупроводниковые гетероструктуры.

А почему вы решили заняться полупроводниковыми светодиодами?

Я закончил университет в Токошима по специальности «электронная инженерия», где изучал полупроводниковые технологии. Сразу после окончания университета в 1979 году я пошел работать в небольшую японскую компания «Нития» и начал собственные исследования в области полупроводниковых технологий.

Но почему в качестве объекта исследования вы выбрали именно нитрид галлия?

Мне надо было опубликовать пару научных статей, чтобы получить степень PhD. Таковы правила в Японии. Поэтому в 1988 году я поехал на год в Америку приглашенным исследователем в Университет штата Флорида. Здесь я смог ориентироваться в мировых тенденци-



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

ях. В то время очень многие исследователи во всем мире пытались получить светодиод, дающий яркий синий свет. И все работы крутились вокруг только двух типов полупроводниковых материалов. Большинство занималось селенидом цинка (ZnSe), и лишь единицы пытались сделать светодиод на основе нитрида галлия (GaN). Вот почему я выбрал нитрид галлия. Мне казалось, что опубликовать статьи об исследованиях в этой малоконкурентной области будет значительно проще. В то время я даже и не думал, что смогу сделать синий светодиод. У меня не было ни денег, ни помощников, ни опыта, вообще ничего. Мне нужно было лишь получить кандидатскую степень, которая очень важна для укрепления научного статуса.

Вы вернулись в свою компанию и продолжили исследования пленок из нитрида галлия. Как отнеслось руководство компании к такому выбору направления?

С самого начала основатель компании «Нития» господин Нобуо Огава поддерживал все мои игры по созданию синего светодиода. Но после 1989 года менеджеры компании стали возражать против того, чтобы я продолжал исследования. Они считали их бесперспективными. Ведь если крупнейшие мировые компании и знаменитые университеты, работавшие в этой области, не добились успеха, то его тем более не видать нашей маленькой компании. Поэтому они считали бессмысленным тратить деньги. Мне запретили заниматься исследованиями в области си-

него светодиода. Но я проигнорировал этот приказ.

И уже через год добились успеха?

Да, в 1990 году я придумал новый способ, как выращивать пленки нитрида галлия. Это ключевое звено полупроводниковых технологий. Обычно пленки осаждают из паров металлорганических соединений, пропускавая газ над подложкой. Я придумал, что реакционный газ надо пропускать не в одном направлении, а двумя встречными потоками. В результате получил пленки нитрида галлия высочайшего качества. Я сам был потрясен. Впервые в своей жизни я поднялся на высочайшую ступеньку, вырвался в лидеры. Дальше, используя новую технологию осаждения пленок нитрида галлия, я сделал первый светодиод, дающий яркий синий свет. Это случилось в 1993 году, хотя могло бы произойти и раньше. Но тогда я был ограничен в возможностях работать и потому двигался вперед медленно.

Как в компании отнеслись к вашему открытию?

Поначалу там и не поняли всей его важности. Они даже не захотели выпустить пресс-релиз на эту тему. Но я все-таки заставил его подготовить и разослать. А дальше на компанию обрушился шквал поздравлений, восторженных откликов и предложений со всего мира. Вот тогда мои боссы и поняли, что же я сделал.

Вслед за ярким синим светодиодом вы сделали зеленый, ультрафиолетовый и белый светодиоды, а также синий лазер. Какие компании уже

используют ваши изобретения для производства продукции?

Все полупроводниковые компании, крупные и мелкие, все компании, производящие мобильные телефоны и цифровые камеры, телевизионную и DVD-аппаратуру, приборы для оснащения самолетов и автомобилей, оборудование для освещения улиц, светофоры, большие уличные видеозкраны... Проще сказать, кто не использует.

И во всех случаях вы получаете положенное авторское вознаграждение — роялти?

Нет, я не получаю ни цента. Все мои патентные права принадлежат компании «Нития», в которой я работал.

Сейчас вы работаете в Санта-Барбаре, в Университете Флориды. Почему вы уехали из Японии? В США больше понимания? Больше возможностей и денег?

В США больше свободы и равноправия. Япония, по существу, социалистическая страна. Там нет демократии, особенно в компаниях, университетах и академиях. В Америке мне нравится быть свободным в моей повседневной научной работе.

А почему вообще вы решили заниматься наукой?

Когда мне было 10—12 лет, я читал комиксы, которые назывались «AstroBoy». Астробой — это такой робот, которого сконструировал ученый доктор Отяномицу для борьбы с плохими мальчишками и темными силами. И вот тогда я очень захотел стать таким же ученым, как Отяномицу, чтобы делать таких же роботов для борьбы со злом.

Какие тайны мироздания волнуют вас больше всего?

Как зародилась жизнь во Вселенной и действительно ли она расширяется.

Назовите три наиболее важных технологических изобретения человечества за последние пятьдесят лет.

Интегральные схемы, Интернет и фотоэлементы.

Если лампочки накаливания заменить в квартирах на белые светодиоды, то платежи за электроэнергию будут смехотворными. Когда белые светодиоды придут в каждый дом?

Одна крупная компания уже в ближайшее время начнет продажу белых светодиодов для освещения домов и квартир. Но пока цена относительно высока. Я думаю, полное обновление произойдет лет через десять.

LED и потерянные ресурсы

Для того, чтобы что-то очистить, надо что-то испачкать. Но можно перепачкать все, ничего при этом не вычистив.

Третий закон экологии

Большинство электронных материалов, созданных в XX веке, требуют применения редких и рассеянных элементов. Например, светодиод белого света, в основе которого — синий светодиод Накамуры — Акасаки — Хироси, лауреатов Нобелевской премии по физике 2014 года. Его полупроводниковое сердце содержит галлий и индий в соотношении примерно один к двум. Еще там есть алюминий. Все это закреплено на подложке из сапфира, к которому подведены медные контакты. Присутствует золотая проволока, соединяющая катод и анод. Синий свет надо преобразовать в белый; это делает люминесцентный слой на основе иттрий-алюминиевого граната с добавками гадолиния. Он дает так называемый холодный белый свет с сильной синей компонентой. Чтобы сделать его теплым, приходится добавлять европий, излучающий в красной области спектра, а также церий. В сумме свет получится желтоватым, как от солнца или вольфрамовой спирали в привычной лампе накаливания.

Очевидно, что через некоторое время — когда будет выработан ресурс светодиода (который достаточно велик — до 50 тысяч часов) или ресурс светильника — все эти элементы окажутся на свалке. Дальше у них два пути: погребение на мусорном полигоне либо переработка, — эти элементы извлекут, разделят и снова пустят в производство. Пока что вторым путем идет лишь малая толика редких элементов: только у 20 из них, как правило, многотоннажных продуктов черной и цветной металлургии, степень возврата превышает 25%. Терять же редкие элементы жалко, ведь их не так просто добывать, а кроме того, рынок многих из них сейчас монополизировала КНР. Недаром в ЕС принята директива по обеспечению снабжения местной промышленности четырнадцатью критическими элементами. Это кобальт, галлий, германий, индий, платиноиды, редкие земли и тантал. Практически все они содержатся в электронном и электрическом мусоре. И прежде всего в телевизорах, компьютерах, смартфонах, планшетах, а теперь еще и в светодиодах.

Специалисты из дармштадского отделения Института прикладной экологии во главе с Маттиасом Бухертом по заказу правительства земли Северный Рейн— Вестфалия (в феврале 2012 года попытались проанализировать, какие элементы в каких отходах содержатся и как все это можно перерабатывать. Доклад был написан на основе потребления бытовой электроники населением Германии, но если исходить из того, что такое потребление определяется доходами граждан (а об их уровне, в свою очередь, обычно судят по доле валового национального продукта, приходящегося на душу населения), то можно представить себе и масштабы проблемы в любой другой стране, сделав соответствующий перерасчет. Вот какие результаты они получили.

Первая группа — жидкокристаллические дисплеи, плоские телевизоры и плазменные панели. Во всех этих изделиях есть прозрачный электрод площадью с экран, сделанный из оксида индия с добавками олова. Если жидкий кристалл подсвечивают белые неорганические светодиоды, как в большинстве бытовых дисплеев, то электродов два, если органические диоды — то один. В первом случае индий, а также галлий, иттрий, европий и прочие элементы входят в состав самих светодиодов, число которых в телевизорах с большим экраном может достигать полутора сотен. В результате на один квадратный метр дисплея приходится от 464 до 864 мг индия, а в тонне дисплеев — в среднем 174 грамма индия. Микросхемы обязательно содержат драгоценные металлы: на один средний экран — 550 мг серебра, 150 мг золота и 40 мг платины. В динамиках есть магниты, а в них неодим, празеодим и немного диспрозия.

Посчитать, сколько этого добра ежегодно отправляется на свалку, можно, оценив объем продаж. В 2010 году в Германии купили 2,5 млн. дисплеев для компьютеров и 8,3 млн. телевизоров. В дисплеях содержалось 1,3 т серебра, с полтонны золота, 200 кг индия, 100 кг платины и 32 кг иттрия, вес остальных элементов исчисляется килограммами и менее. В телевизорах же, экраны которых гораздо больше, серебра оказалось 4,7 т, индия — 2,2 т, золота — 1,1 т, 647 кг иттрия, 360 кг палладия. Европа, лантана, тербия и галлия — десятки килограммов.

У компьютеров ценные элементы содержатся в батарейках, жестких дисках и микросхемах, а у ноутбуков — еще и в дисплеях, которые не были учтены в предыдущем расчете. В батарейках главная ценность — кобальт, входящий в состав электродов. Жесткие диски — это магниты на основе уже упомянутых неодима, празеодима и



диспрозия, эти же элементы есть и в динамиках. В микросхемах помимо золота, серебра и платины присутствует еще и тантал в виде компактных электрических конденсаторов. Всего в одном ноутбуке (их сейчас продается больше всего) содержится 438 мг серебра, 104 мг золота и 39 мг палладия. Кобальта — 50 г, тантала — 1,7 г, 2,1 г неодима, 274 мг празеодима и 60 мг диспрозия. Индий, галлий, иттрий опять же содержатся в дисплеях ноутбуков. Всего в 2010 году в Германии продали немногим более 7 млн. ноутбуков, стало быть, это 460 т кобальта, 15 т неодима, 12 т тантала, 3 т серебра и 2 т празеодима. Золота — 736 кг, диспрозия — 426 кг, индия и палладия примерно по 280 кг. Иттрия, платины, галлия — десятки килограммов.

Следующий тип массовых устройств — смартфоны. В килограмме смартфонов содержится 350 мг серебра, 30 мг золота и 11 мг палладия. Между прочим, последнего — примерно в десять раз больше, чем в той руде, из которой его извлекают. Однако имеется проблема со сбором смартфонов: в специализированные центры по переработке попадает не более 5% выброшенных устройств. Остальные оказываются в несортированном мусоре. Кобальта в батарейках — от 3 до 6 граммов, 60 мг неодима с празеодимом — в динамике. В дисплее, естественно, есть индий и олово. Умножая на 7,7 млн. смартфонов, проданных в Германии в 2010 году, получаем 48,5 т кобальта, 2,4 т серебра, 385 кг неодима и 230 кг золота.

А теперь переходим к светодиодам, используемым для освещения. В одном белом светодиоде находится 29 мкг индия, 32,5 мкг галлия, 32 мкг иттрия, 15 мкг гадолиния, 2 мкг церия и 0,6 мкг европия. Сейчас светодиоды не стали основным источником света, однако не исключено, что в ближайшем будущем они вытеснят если не всех конкурентов, то, по крайней мере, многих, кроме разве что энергосберегающих люминесцентных, которые по световой эффективности сейчас выигрывают у светодиодов. Так, в лабораторных условиях светодиоды могут выдавать 200—250 люменов на ватт мощности, в то время как лампа накаливания — всего 10—20 лм/Вт. Однако у промышленно изготавливаемых светодиодов эффективность меньше: 20—90 лм/Вт. У люминесцентных же ламп — 60—110 лм/Вт.

Сколько же светодиодов понадобится немцам? Посчитать это можно, исходя из того, что в развитых странах на освещение одного квадратного метра расходуется от 315 (в США) до 515 (в Японии) люменов. При средней площади дома 90 кв. м в Германии или 160 кв. м в США получается 40—50 тысяч люменов на дом. В Германии примерно 40 миллионов домов. Отсюда получается потребность в 1,6 трлн. люменов, или, с учетом того, что один светодиод дает примерно 10 люменов, — 160 млрд. светодиодов для замены всех ламп. При столь радикальном подходе потребу-



Recycling rates of metals, UNEP, 2011



ГЛУБОКИЙ ЭКОНОМ

ется несколько тонн индия, галлия, иттрия и гадолиния. Через некоторое время (декларированные 50 тысяч часов — это примерно две тысячи суток, или семь лет непрерывной работы) светодиоды будут ломаться, их станут выбрасывать, видимо, примерно по 20—25 млрд. штук в год (если их все надо обновлять за семь лет) в одной Германии. Это сотни килограммов редких элементов — вполне сравнимо с телевизорами и компьютерами.

А хватает ли ресурсов для того, чтобы делать эти огромные количества светодиодов? Оценки перспектив имеются, хотя разброс их велик, поскольку эксперты прогнозируют в 2020 году объем мирового производства 45—165 млрд. штук в год. При этом оценки производства даже для 2010 года не очень точны. Однако некоторые границы обозначить можно. Например, галлия из 161 т годового производства в 2010 году на изготовление светодиодов пошло 0,75—1,56 т, а в 2020-м будет 1,46—5,34 т. Индия соответственно из 574 т — 0,678—1,38 и 1,3—4,76 т, европия (400 т) 14—29 кг и 27—99 кг, гадолиния (4000 т) 347—720 и 674—2470 кг, иттрия (8900 т) 7839—1540, 1440—5600 кг. В общем, нельзя сказать, что очень уж много, разве что на европий может пригодиться четверть годового производства этого элемента, но в связи с прекращением производства электронно-лучевых трубок, где европий использовали для красного цвета, его производство простаивает.

Тем не менее вернуть назад в производство все эти тонны и сотни килограммов элементов было бы заманчиво. К сожалению, пока это невозможно.

Лучше всего перерабатывать крупные вещи, которые выгодно разбирать на компоненты. Так, у ноутбуков отделяют батарейки и экраны. А все остальное, равно как и телевизоры, и смартфоны, размалывают. Батарейки и дисплеи также размалывают, но отдельно от компью-

теров. Из батареек извлекают кобальт и никель, причем это удается очень хорошо — спасают до трех четвертей кобальта. Дисплеи перерабатывают главным образом для извлечения вредной ртути, удаляя вручную соответствующие компоненты.

Диски и динамики не достают и не перерабатывают, поскольку такие технологии еще не созданы. Точно так же, никто не вырезает с материнских плат танталовые конденсаторы. Все это отправляется в разлом. А из полученных осколков извлекают лишь драгоценные металлы — их относительно много, и они дороги. Все же остальное отправляется в отвалы, например в шлак металлургического процесса.

Маленькие светодиоды никто не собирает, и вряд ли когда-нибудь начнут. Экономическая эффективность подобных мероприятий неочевидна, и большого вреда окружающей среде они не приносят — в данном случае, к сожалению: если бы принесли, как люминесцентные лампы или батарейки, сознательные граждане и организации стремились бы наладить сбор даже за свой счет. Кроме того, не отработана и сама технология разложения светодиода на элементы. Впрочем, даже с извлечением драгметаллов из электрического лома не все так замечательно: при переработке в Германии их удается спасти не более четверти. Видимо, нужно нечто радикальное, что исключило бы сложные химические процессы и ручную сортировку мусора, из-за которых сортировка нерентабельна. Например, действия в рамках изотопной экономики, когда отходы превращают в плазму, а потом разделяют ее с помощью ускорителей (см. «Химию и жизнь», 2008, № 1). Но к такому радикальному средству может подвигнуть только жесткая необходимость, когда и если она возникнет.

Кандидат
физико-математических наук
С.М. Комаров

Если нельзя, но очень хочется

Нобелевскую премию по химии в 2014 году получили Эрик Бетциг (США), Штефан Хелль (Германия) и Уильям Мёрнер (США) «за развитие сверхразрешающей флуоресцентной микроскопии».

Нобелевская премия за микроскопию не первая, в 1986 году ее присудили Эрнсту Руске «за фундаментальную работу по электронной оптике и созданию первого электронного микроскопа», а также Герду Биннигу и Генриху Рореру «за изобретение сканирующего туннельного микроскопа». Правда, это была премия по физике, а не по химии. Электронный микроскоп — универсальный прибор, который используют почти все области науки. Сканирующий туннельный микроскоп (и его модификация — атомно-силовой микроскоп) имеет огромное значение для материаловедения, его применяют для исследования поверхности твердых тел. Что же касается флуоресцентной микроскопии, то она предназначена для изучения биологических систем, поэтому внимание Нобелевского комитета, вполне в духе современных биоцентрических взглядов на науку, обратилось именно к нему.

Запрещенные и разрешенные переходы

Люминесценция — это спонтанное нетепловое излучение. Нетепловое (то есть не в инфракрасном диапазоне) излучение обусловлено электронными переходами — перескоками электронов с более высокого уровня энергии на более низкий. Если оба состояния имеют одинаковый спин, то переход называется разрешенным, а такая разновидность люминесценции — флуоресценцией. Вероятность перехода определяет среднее время жизни возбужденного состояния: соответственно чем выше вероятность, тем короче время жизни, и наоборот.

Обычно флуоресценцию (и вообще люминесценцию) наблюдают, «накачивая» вещество световой энергией, то есть интенсивно облучая светом в видимом или ультрафиолетовом диапазоне. После облучения (и даже во время его) вещество отдает часть энергии обратно, при этом длина волны излучаемых квантов несколько больше, чем у исходных. Именно так светится циферблат часов после солнечного дня, если цифры покрыты специальным веществом — люминофором (а вовсе не фосфором!).

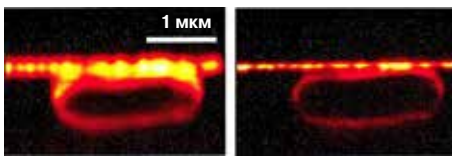
Вероятность запрещенных переходов намного ниже, чем разрешенных (отсу-

да и название), время жизни таких возбужденных состояний намного больше, но и интенсивность свечения гораздо ниже. Поэтому для микроскопии интереснее излучение за счет разрешенных переходов — флуоресценция.

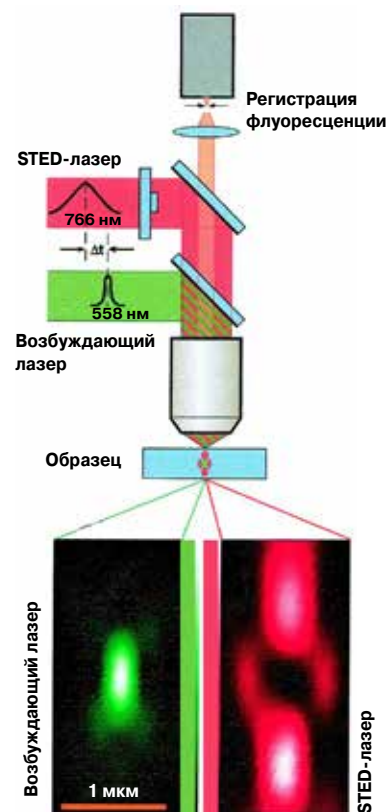
Методика и метки

Стандартная методика флуоресцентной микроскопии заключается в следующем. На объекте исследования закрепляют некоторое количество меток, то есть небольшие флуоресцентные молекулы. О таких молекулах см. статью Е.О.Пучкова, «Химия и жизнь», 2014, № 9. Образец облучают светом с определенной длиной волны (или, если свет не монохромный, — с длинами волн, лежащими в определенном диапазоне), вызывая флуоресценцию меток, а затем улавливают их свечение, которое и дает изображение. Впрочем, образец поглощает не весь возбуждающий свет: часть отражается и попадает в объектив, ухудшая качество картинки. Но поскольку при флуоресценции длина волны испускаемого света больше, чем возбуждающего, отраженный свет отделяют при помощи фильтра.

Интересно, что Нобелевская премия по химии 2008 года тоже имела прямое отношение к флуоресцентной микроскопии. Награду присудили «за открытие и разработку методов использования зеленого флуоресцентного белка GFP» («Химия и жизнь», 2008, № 11), который широко применяют в качестве метки при исследовании живых клеток. Он гораздо менее токсичен, чем многие флуоресцентные молекулы меньшего размера, более того — клетка может синтезировать его сама, если внедрить в нее соответствующий ген.



2
Клетка кишечной палочки: конфокальная микроскопия и STED-микроскопия. Легко видеть, насколько улучшилось разрешение (Klar et al., 2000)



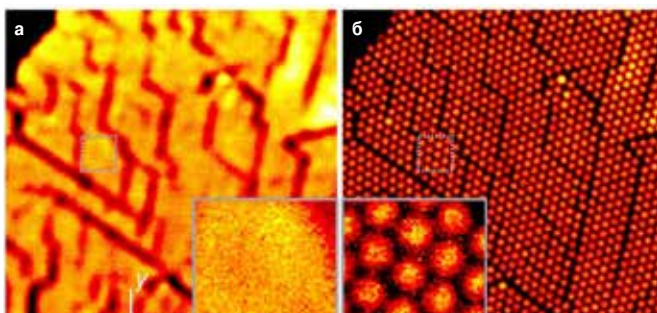
1
STED-микроскопия: принцип метода (Klar et al., 2000)

Размеры и барьеры

Размеры многих биообъектов субклеточного уровня не превышают 150 нм по одному из линейных измерений. Например, диаметр рибосомы — 15—30 нм, а толщина клеточной мембраны не более 10 нм. С другой стороны, физика накладывает ограничения на разрешающую способность оптических приборов: если два источника света расположены слишком близко друг к другу, то их изображения будут перекрываться из-за волновой природы света. Это расстояние называется дифракционным пределом, или барьером, и оно равно половине длины волны света, деленной на показатель преломления среды. Поскольку длины волн в видимой области спектра имеют порядок сотен нанометров (380—740 нм), то, например, можно рассмотреть органеллы клетки, размеры которых исчисляются сотнями нанометров, — ядро, митохондрии, лизосомы, — но изучить в деталях более мелкие структуры уже не получится. Тем не менее Бетциг, Хелль и Мёрнер показали, что если дифракционный предел преодолеть нельзя, но очень хочется, то можно.

Подавление вместо стимуляции и другие хитрости

Речь идет, конечно, не об отмене законов физики, а о технических хитростях. Допустим, метки расположены друг к другу ближе, чем дифракцион-



3
Еще пример из статьи Хелля и соавторов 2008 года: самоорганизующаяся коллоидная система, слева — конфокальная микроскопия, справа STED-микроскопия. Масштабная линейка 1 мкм, во врезках 250 нм (Harke et al., «Optics Express», 2008, 16, 6, 4154–4162, doi: 10.1364/OE.16.004154)



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

ный предел. Если они будут излучать одновременно, то сольются в световое пятно, как огни большого города, видимые с самолета. Но если «включать» флуоресценцию по очереди, то в одном участке, то в другом, удастся рассмотреть подробности, а совместив много изображений, на каждом из которых светятся другие молекулы, — получить разрешение выше дифракционного барьера и создать субдифракционный (сверхразрешающий) микроскоп.

Один из способов «погасить» часть меток основан на эффекте вынужденного подавления испускания (STED – Stimulated Emission Depletion) — метод, за который получил Нобелевскую премию Штефан Хелль. В STED-микроскопе работают два лазерных луча: возбуждающий и тушащий. Последний кольцом охватывает первый, и оба движутся по образцу, выхватывая из темноты участок за участком. В «кольце тушения» происходит следующее: до того как накачанная возбуждающим лучом метка испустит фотон, ее освещает тушащий луч, принуждая к переходу на нижний электронный уровень. Какая длина волны будет у испущенного при этом

света — зависит от длины волны второго лазера, но в любом случае она будет несколько отличаться и от возбуждающего лазера, и от флуоресцирующей в штатном режиме метки. Следовательно, такое излучение отфильтруется вместе с отраженным, то есть как бы погашено, — при этом регистрируется только сигнал от маленького участка внутри кольца. В итоге мы строим изображение поэтапно, точку за точкой. А поскольку размер точки — порядка десятка нанометров, тем самым и достигается сверхразрешение. Уже в статье 2000 года Хелль с соавторами опубликовали изображения клеток кишечной палочки с разрешением, в несколько раз превосходящим дифракционный барьер (Klar et al., «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2000, 97, 8206–8210, doi: 10.1073/pnas.97.15.8206).

Бетциг и Мёрнер придумали альтернативный подход к субдифракционной флуоресцентной микроскопии. Он основан на регистрации флуоресцентного сигнала от одиночных молекул с последующим совмещением в единое изображение — так называемая одномолекулярная микроскопия (single-molecule microscopy). Разглядеть отдельные молекулы в клетке — большое достижение: это нанометры, а не сотни нанометров, дозволенные дифракционным пределом.

Бетцигу принадлежит идея, что можно добиться субдифракционного разрешения, собирая информацию от меток, излучающих в разное время, и совмещая изображения. Специальная обработка каждого кадра позволяет «сузить» сигналы отдельных молекул, в результате при совмещении они не сливаются (Betzig, «Optics Letters», 1995, 20, 237–239, doi: 10.1364/OL.20.000237). Реализовать эту идею на практике помогли фотоуправляемые флуоресцентные репортеры — GFP и его разноцветные производные. Метод получил название PALM — Photo-Activated Localization Microscopy (Betzig et al., «Science», 2006, 313, 1642–1645, doi: 10.1126/science.1127344).

Мёрнер, работая с флуоресцентными белками, полученными в лаборатории Роджера Тсиена — нобелевского лауреата 2008 года, сумел показать, что фотоуправляемая флуоресценция возможна

(Dickson et al., «Nature», 1997, 388:355–358). Оказывается, изменяя режимы облучения образца, можно включать и выключать свечение определенного белка. Так, молекулы мутантной формы зеленого флуоресцентного белка после облучения лазерным лучом с длиной волны 488 нм проходят через несколько циклов излучения, то есть сначала начинают «мигать», а затем переходят в стабильное «темное» состояние. Облучение с длиной волны 405 нм снова нажимает на кнопку «вкл». А если образец содержит флуоресцентные метки, которые поочередно включаются и выключаются (чтобы включились не все сразу, световой импульс должен быть слабым), это именно то, что нужно для реализации идеи Бетцига — рассматривать молекулы по отдельности и регистрировать светящиеся точки, а не размытое световое пятно. Такие интересные манипуляции возможны благодаря конформационному разнообразию и сложной электронной структуре флуоресцентных белков. Кстати, существенный вклад в изучение фотоактивирующихся флуоресцентных белков внесли российские исследователи из Института биохимической химии РАН.

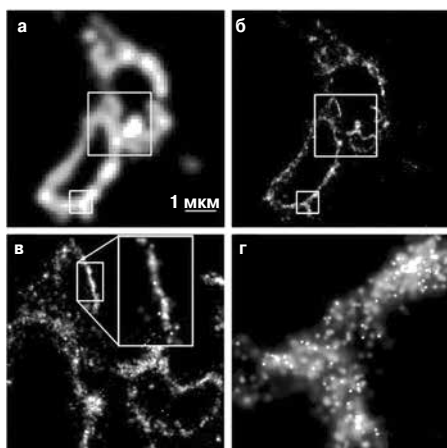
Сегодня уже разработано несколько новых родственных разновидностей сверхразрешающей флуоресцентной микроскопии. Но именно рассмотренные нами методы впервые позволили заглянуть за дифракционный барьер.

Физика и техника для биологии

В «Структуре научных революций» Томас Кун отмечал исключительную важность совершенствования экспериментальных методов исследования для развития науки. Работы Бетцига, Хелля и Мёрнера могут служить прекрасной иллюстрацией к идеям знаменитого философа и историка науки. Развитие субдифракционной флуоресцентной микроскопии потребовало от ее пионеров исключительной квалификации в области физики и техники, особенно квантовой оптики. Созданные ими методы имеют огромное значение для исследования процессов на субклеточном уровне.

Кандидат химических наук

В. В. Рыбкин



4
А вот преимущество PALM перед TIRF (флуоресценция, основанная на полном внутреннем отражении, — Total Internal Reflection Fluorescence, она же микроскопия затухающего поля), одним из методов флуоресцентной микроскопии, который в принципе тоже используется для визуализации отдельных молекул. Панель а — TIRF, б, в, г — PALM, причем в, г — увеличенные врезки с фото б. Расположение в мембране лизосомы белка, несущего флуоресцентную метку, показано детально (Betzig et al., 2006)

Микроскопия будущего

С Нобелевской премией по химии в этом году много неясного. Почему премию по химии дали за микроскопию, почему именно за эту, правда ли, что существует множество аналогичных методов? На эти и другие вопросы «Химии и жизни» отвечает кандидат биологических наук **А.С.Мишин** (лаборатория биофотоники Института биоорганической химии РАН).

Александр, объясните, пожалуйста, чем замечательны методы, за которые дали премию, и есть ли у них недостатки?

Тот и другой метод стоят очень дорого. Приборы для STED мало кто умеет производить, они сложные, дорогостоящие и ко всему прочему требуют регулярного обслуживания и поверки. Насколько мне известно, у нас в России таких систем нет, во всяком случае, мы в Москве не имеем к ним доступа.

Второй вариант микроскопии, за которую дали Нобелевскую премию, PALM, тоже многого требует, но реализовать его все-таки проще — при соблюдении определенных условий для него можно использовать почти любой микроскоп. Основное и практически достаточное требование — современная камера, обладающая чувствительностью на уровне единичных фотонов, то есть позволяющая уверенно сказать, пришло ли их 99 или 100. Такие раньше использовались в спутниках — это камеры EMCCD или «Scientific CMOS». Конечно, есть и другие требования, но так или иначе, приблизиться к реализации микроскопии одиночных молекул в нашей стране проще — в Москве есть несколько таких систем. Но все равно это штуки, а не десятки штук. Например, мы сотрудничаем с лабораторией в Нижнем Новгороде, которая была создана по мегагранту, полученному С.А.Лукияновым и Нижегородской государственной академией («Химия и жизнь» писала об этом в № 12 за 2010 год. — *Примеч. ред.*). Одним из основных приобретений стал как раз такой микроскоп для детекции одиночных молекул — N-STORM производства «Nikon» (STORM — Stochastic Optical Reconstruction Microscopy. — *Примеч. ред.*).

В общем, этот вариант более доступен в России, поэтому мы сфокусировались на нем. В нашей лаборатории занимаются флуоресцентной меткой.

Раньше мы занимались в основном флуоресцентными белками, а сейчас в сотрудничестве с химиками, с группой синтеза природных соединений нашего института, пытаемся делать новый класс меток, основанных на химических красителях, но тоже пригодных для мечения живых клеток — то есть соединяющих преимущества флуоресцентных белков и химических красителей. Мы изначально планировали делать их с прицелом на эту микроскопию высокого разрешения, но до совсем недавнего времени единственная возможность работать у нас была связана с поездками в Нижний Новгород.

STORM — это то же самое, что PALM, или нет?

Это сложный вопрос. По большому счету, как раз то, что сделало присуждение Нобелевской премии, — оно стерло грань между STORM, PALM и еще несколькими десятками опубликованных вариаций методов, которые делают примерно одно и то же. Все, кто начали в этой теме работать, в какой-то момент поняли, что это интересно, и стали бороться за приоритет. Было даже не смешно: ученые образовали группы, не цитирующие друг друга, но публикующие концептуально совершенно одно и то же.

Многие удивлялись, что премию дали очень быстро, совсем немного времени прошло после основных публикаций. Конечно, тут играет роль и то, что скорость научно-технического прогресса стала почти неприлично высокой. Но могли быть и чисто «политические» причины, проблемы с приоритетом, которые начали всем осложнять жизнь. На ранней стадии несколько фирм запатентовали разные версии одной и той же микроскопии, одни и те же, по сути, вещи долгое время назывались разными именами и конкурировали между собой, причем иногда это было довольно нелепо. «Nikon» выпустила



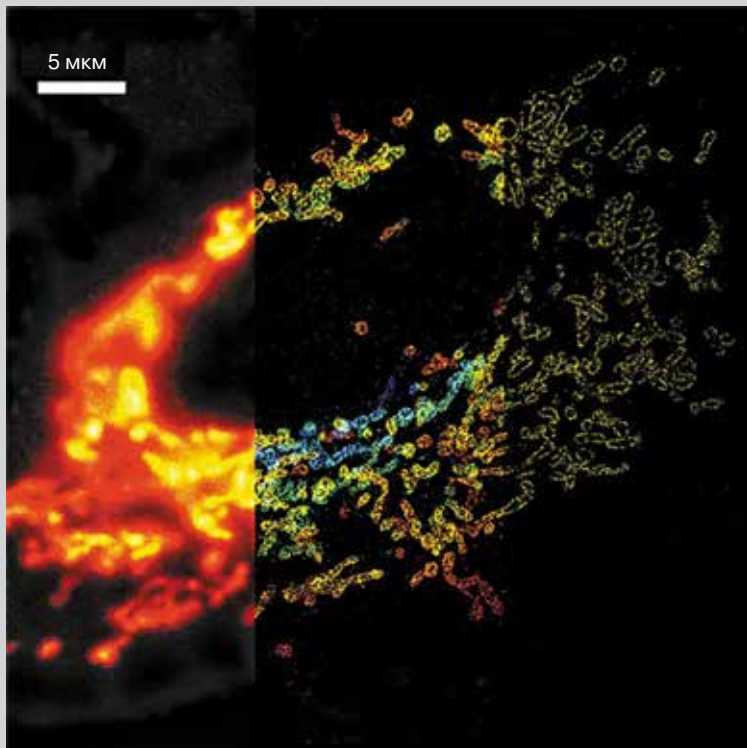
микроскоп для STORM, «Zeiss» — для PALM; технически тот и другой подходит для обоих методов, но из-за причин, связанных с патентованием, производители не имели права сообщать об этом клиентам. Только год назад они между собой договорились и стала появляться официальная информация о том, что делать это можно.

Похожая ситуация была с секвенированием.

Да, такой же мощный взрыв. Кстати, пора бы дать Нобелевскую премию и за секвенирование нового поколения. Методы примерно одинаковой свежести, но секвенирование уже сделало вещи, которые раньше были невозможными, а микроскопия сверхвысокого разрешения еще не сделала. Все поняли, что эти методы перекрывают область между оптической и электронной микроскопией. В электронной микроскопии все очень хорошо видно, но никто не знает толком, что именно, потому что невозможно мечение специфических структур.

Что бы могла сделать микроскопия сверхвысокого разрешения, если говорить о чисто практической пользе? К изучению онкологических заболеваний, которые ведутся в Нижнем Новгороде, ее не удастся привлечь?

Возможно, в идеале то, чем мы хотели бы заниматься, в тех же исследованиях с Нижним Новгородом, — это увидеть отличия на уровне ультраструктуры, например между клетками здорового пациента и пациента с онкологическим заболеванием. Онкология во многом завязана на подвижность клеток, подвижность зависит от цитоскелета, а цитоскелет — классическая модель для микроскопии сверхвысокого разрешения. Но это не относится к кругу задач, которые уже решены, это вопрос, ответ на который мы только хотели бы получить.



Технология 3D-STORM: митохондриальная сеть в клетке млекопитающего. Слева обычная флуоресцентная микроскопия, в центре реконструированное трехмерное изображение, справа — «срез внутри среза», изображение с тонкой плоскости. (с) Xiaowei Zhuang

А какие задачи уже решены?

Например, одной из первых демонстраций возможностей метода было наблюдение прохождения единичных молекул сквозь пору в оболочке ядра клетки. Но тут выгода не только в сверхразрешении. В чем преимущество STED, несмотря на его огромную стоимость? Он уже сейчас работает, что называется, сразу после включения, для множества окрасок, для различных экспериментальных моделей, которые уже есть у исследователей, — для него не надо ничего переделывать. Он позволяет сразу ответить на вопросы вроде «нам кажется, что эти два белка взаимодействуют, так ли это?». Мы увидели на флуоресцентной микроскопии, что белки находятся рядом, однако на достаточно ли близком расстоянии, чтобы взаимодействовать? Существуют специальные методы, чтобы это установить (например, резонансный перенос энергии — FRET, см. статью Е.О.Пучкова в «Химии и жизни», 2014, № 9. — Примеч. ред.), но они не всегда удобны. А STED может быстро дать ответ на этот вопрос, по крайней мере, отрицательный. Если мы повышаем разрешение с 250 до 50 нм и видим, что белки, которые казались нам соседями, на самом деле стоят по отдельности, значит, взаимодействия

нет. Кроме того, STED в той или иной степени произведен из конфокальной микроскопии, и это позволяет получать картинку препарата без режима сверхразрешения, а потом включать этот режим. Это позволяет заранее прикинуть, для какого участка нужна картинка со сверхразрешением.

А PALM такого не позволяет?

Микроскопия сверхвысокого разрешения с локализацией единичных молекул основана на разделении во времени свечения индивидуальных молекул, они должны светиться не все одновременно, а по очереди, мигая. Кстати, почему это все-таки премия за химию — микроскопия одиночных молекул первоначально была основана на мигании химических красок. Бетциг работал с флуоресцентными белками, однако на ранней стадии существования этой техники лучше всего методика получалась с химическими красками. Как выяснилось, они обладают подходящими характеристиками для такого мечения. Важно, например, чтобы молекула за время съемки камеры — 10 мс — испустила как можно больше фотонов, а на следующих кадрах, по возможности, не светилась. Если это требование выполняется, то теоретический предел достигаемого разрешения приближается к размеру



молекулы, в отличие от STED, где разрешение заметно хуже. PALM/STORM при достаточной яркости источника позволяет достичь разрешения 5 нм и ниже — чем больше собираем фотонов за один кадр, тем точнее мы можем поставить центр, положение молекулы. Но таких достаточно ярких красок мало. Единичные молекулы флуоресцентных белков существенно тусклее. Есть пять-шесть белков, пригодных для микроскопии сверхвысокого разрешения, — это фотоактивируемые белки, некоторые из них не светятся вообще до того, как вы их активировали. Вот почему метод полуслепой: вы не можете сразу увидеть свою картинку обычного разрешения, а потом нужный участок в ней рассмотреть с большим разрешением — как правило, необходимо заранее знать, куда смотреть.

В итоге PALM/STORM позволяет получить большее разрешение, зато STED проще с точки зрения эксперимента. Видимо, со временем PALM/STORM будет удобнее, когда станут лучше флуоресцентные метки. Те флуорофоры, что существуют сейчас, — флуоресцентные белки и другие и другие популярные инструменты, — были разработаны с использованием обычных микроскопов. Армия ученых, которая их создавала и улучшала, ориентировалась на параметры, никак не связанные с микроскопией сверхвысокого разрешения. Раньше никому не было нужно, чтобы белок ярко светился в течение миллисекунд, а потом гас. Теперь, имея доступ к такого рода микроскопам, мы, в том числе и в нашей лаборатории, можем начать отбирать флуоресцентные белки, создавать более подходящие.

Как это направление будет развиваться дальше, после Нобелевской премии?

Я надеюсь, что гонка прекратится и развитие направления пойдет путем слияния методик. Что касается STED, там всегда все было очень просто. Идея на редкость изящная, она исследована и реализована технически образованными людьми и основана, строго говоря, на физическом принципе. А в микроскопии одиночных молекул,



несмотря на ее колоссальный потенциал, до сих пор царит хаос. Великое множество вариантов методов приготовления препаратов, условий облучения, методов обработки изображений — тропический лес позавидовал бы такому разнообразию. Теперь, после Нобелевской премии, возможно, наступит более упорядоченный этап.

Строго говоря, то и другое — не первые методы наноскопии, доступные исследователям. Давно существует так называемая наноскопия ближнего поля — метод наблюдения молекул на расстояниях меньше длины волны света. Однако ограничения этого метода делают его неподходящим для биологов — например, глубина проникновения меньше, чем у любого биологического микроскопа.

А что с обработкой изображения? Тут есть перспективы?

В микроскопии одиночных молекул существует огромный потенциал для математиков. Уже появились способы реконструкции изображения сверхвысокого разрешения на основе детекции небольших флуктуаций в картинке, снятой хорошей камерой вроде тех, о которых я говорил в начале. Такая камера может безошибочно обнаружить эти флуктуации, а их анализ позволяет с помощью сложных математических методов восстановить истинное положение флуорофоров. В результате картинка с невысоким исходным разрешением, но снятая на суперчувствительную камеру реконструируется в изображение сверхвысокого разрешения. Пока что это требует очень больших вычислительных мощностей, однако сейчас это одно из самых важных направлений, как мне кажется.

Но оно интеллектоемкое.

Да.

Расскажите еще что-нибудь интересное для химиков. Они опять огорчаются, что премию «отобрали» биологи...

Как я уже говорил, на ранней стадии развития метода было трудно работать с фотоактивируемыми белками: яркость у них низкая, к тому же в

условиях микроскопии они быстро «сжигаются». Поэтому некоторое время чувствовалось опережение в микроскопии, основанной на химии. К этому периоду относится смешная история. Одна из задач, к которой сразу начали применять микроскопию сверхвысокого разрешения, — построение высокоточных карт мозга. Отростки, которые образуют связи между нейронами мозга, настолько тонкие, что их трудно отследить даже в срезах, — их размер сопоставим с дифракционным барьером. С другой стороны, существует такой метод построения связей между нейронами — brainbow, от brain и rainbow. Различные флуоресцентные белки случайным образом экспрессируются в мозге экспериментального животного, при этом разные нейроны помечаются разными комбинациями белков, имеют разный цвет, и это используют, чтобы отслеживать пути нервных окончаний. Исследовательница из Барселоны Мелике Лакадамияли (Melike Lakadamyali; ныне руководитель группы в барселонском Институте фотонных наук. — *Примеч. ред.*) применяла похожую модель, но хотела получить еще большее разрешение, чтобы разобраться в сплетении тонких отростков нейронов. Юмор заключался в том, что она красила срезы антителами к флуоресцентным белкам, а к антителам были присоединены химические краски, потому что у этих красок был существенно лучше фотонный бюджет: число фотонов, которое может испустить молекула, и это дает лучшее разрешение. Но у Лакадамияли были фиксированные образцы. Для опытов с живыми клетками и тканями, конечно, понадобятся флуоресцентные белки или иные сопоставимые по удобству метки.

У исследователей мозга есть и другие подобные проекты. Например, множество срезов смотрят сначала с помощью флуоресцентной микроскопии, а потом отправляют на электронный микроскоп, чтобы сопоставить изображения и построить корреляцию между результатами. Проекты очень трудоемкие, и всем стало бы удобнее, если бы этого не нужно было делать. Поэтому нет сомнений в том, что мето-

ды сверхвысокого разрешения быстро найдут широкое применение.

Для химиков, конечно, тоже есть много возможностей. Например, некоторые краски обратимо присоединяют меркаптоэтанол, что вызывает временный переход в темновую фазу. Есть краска, мигающая в результате спонтанном внутримолекулярной циклизации, как раз в нужной шкале времени. Сейчас, когда требуются новые краски, адаптированные к методам, вероятно, найдут свою нишу и химики, и те, кто занимаются флуоресцентными белками.

А развитие этих методов ускорит темпы исследований?

Конечно. Точно так же, как конфокальный микроскоп, в котором просто отбрасывается флуоресценция, находящаяся далеко от фокуса, — он столько дал биологии, что это трудно переоценить. Это была ситуация, очень похожая на теперешнюю: до этого на обычном микроскопе ничего не было видно в образце хоть сколько-нибудь толстом, а на конфокальном микроскопе с такими образцами стало возможно работать, и произошел колоссальный скачок. Чего-то подобного ожидают от сверхразрешающей флуоресцентной микроскопии, тем более что улучшение разрешения и отброс фона в этом случае гораздо больше, чем разница между конфокальным и обычным микроскопом.

То есть будущее покажет, в чем польза для человечества?

Да, по большому счету эта премия, мне кажется, дана авансом. Но важно то, что она разрушает гордиев узел, прекращая споры на тему «чей вклад больше».

Беседовала
Е.Клещенко

Селен: факты и фактики

Профессор
С.М.Шихман

Что известно о селене сегодня?

Он принадлежит к числу рассеянных микроэлементов; в среднем его содержание в земной коре составляет 500 мг на тонну. Селен входит в состав 37 минералов, в которых содержатся ассоциированные с серой соединения Se с железом, ртутью, медью, висмутом и другими металлами. Это не случайно, ведь селен расположен в таблице Менделеева как раз под серой.

Какова история селена? Она противоречива. Так, добрую половину XIX века селен считали ядом, а потом оказалось, что он необходим для здоровья человека. Открытие селена совпало с периодом бурного развития промышленности, которое потребовало новых знаний в области химии и минералогии. Приоритет здесь принадлежит крупнейшему шведскому химику Йенсу Якобу Берцелиусу. В 1817 году он вместе с коллегой купил фабрику по производству серной кислоты. Переплавляя шламы — свинцовые отходы, — Берцелиус обнаружил неизвестное вещество с редечным запахом, серо-красного цвета. Оказалось, что это металлоид, близкий по своим свойствам к сере и теллуру. Название последнего происходит от латинского tellus (родительный падеж telluris) — Земля. Берцелиус присвоил по аналогии с теллуrom новому элементу имя селен (древние греки называли Селеной луну).

Накопленные почти за два столетия факты показали, что селен может существовать в двух формах: кристаллической и аморфной. Известны шесть его стабильных изотопов. В чистом виде самородный микроэлемент встречается довольно редко. А в живой природе он входит в состав десятков белков, содержащих такие аминокислоты, как селенметионин, селенцистеин и метилселенцистеин. Это аналоги серосодержащих аминокислот — метионина, цистеина и метилцистеина; S в их молекулах может замещаться на Se из-за сходства химических свойств этих элементов.

Долгие годы о селене было известно лишь то, что, попадая в пищу, он делает ее ядовитой. Однако в 1957 году обнаружилось, что этот микроэлемент способен выступать и в роли лекарства, предотвращающего тяжелую миодистрофию и цирроз печени у животных. А к 1973 году, после многочисленных исследований, проведенных во многих странах, было признано, что селен жизненно важен и для человека, и для животных.

Где находится селен и где его нет?

Основные мировые запасы природного Se сосредоточены в Чили. Россия занимает второе место. Однако в северо-западных областях европейской части страны и в некоторых регионах Сибири имеется его природный дефицит. Мало его и в почвах Скандинавии. Низкое содержание Se характерно для гористых местностей, поскольку он хорошо растворим в воде и легко вымывается дождевыми осадками. Мировая потребность в данном элементе в год составляет около 2000 тонн. При этом часть его выбрасывается в атмосферу или поступает в воду в виде промышленных отходов, которые могут быть вредными и даже опасными.

Как применяют селен в технике?

Селен глубоко проник в жизнь современного общества. Остановившись у светофора на красный, мы не задумываемся, почему так ярок этот рубиновый цвет. Большинство не знает, из каких материалов изготовлены экраны солнечных батарей или сверхмощные лазеры, а в них зачастую есть соединения селена. Этот элемент используют в металлургии, в радиоэлектронике, в стекольной и целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве резины и пластмасс, в сельском хозяйстве и в медицине. Сейчас селен входит в число элементов, применяемых для синтеза квантовых точек и квантовых стенок, в частности на основе CdSe; из них можно собирать светодиоды, дающие чистые цвета, а также его со-

Se	34	
78,96±3		6
СЕЛЕН	4s ² 4p ⁴	18
		8
		2

ЭЛЕМЕНТ №...

единения используют в перспективных тонкопленочных солнечных батареях. Кроме того, селен — незаменимое вещество для изготовления валиков картриджной копировальной аппаратуры. Однако сейчас внимание исследователей обратилось к биологической роли этого элемента.

Насколько селен ядовит? Впервые это свойство селена было явно зарегистрировано в Китае в 1933 году: в одной из провинций был отмечен падеж животных, которых кормили пшеницей, выращенной на богатых селеном почвах. В Китае же в 1986 году позднее зарегистрировали отравления людей кукурузой, выращенной над залежами угольных сланцев. Однократное попадание в организм взрослого человека даже 800—1000 мкг селена может пройти без последствий. Однако повторяющееся поступление 400 и более мкг Se в день приводит к хроническому отравлению, так называемому селенозу. Он проявляется прогрессирующей слабостью, потерей аппетита, склонностью к поносам, желтухой, хроническим бронхитом, выпадением волос, расслоением ногтей и прочими неприятностями. Токсической дозой для человека считают 5 миллиграммов селена.

Для чего организму необходим селен?

В теле взрослого человека содержится всего 10—14 миллиграммов селена. Однако его биологическая ценность так велика, что сейчас его считают жизненно важным элементом. Селен — участник антиоксидантной защиты организма, поскольку входит в состав глутатион-пероксидаз — ферментов, избавляющих организм от избытка опасных перекисей и свободных радикалов. Будучи синергистом витаминов E и A, селен обеспечивает функционирование клеточных мембран. Он участвует в синтезе белков мышечной ткани, в регулировании действия гормонов щитовидной железы, половых гормонов, а также вынашивания бе-

ременности. Селенопротеины играют решающую роль в защите сперматозоидов от свободных радикалов, таким образом, отклонение содержания селена от нормы может приводить к мужскому бесплодию («Animal Reproduction Science», 2014, 146, 1—2, 55—62). Селен также повышает иммунитет, причем его влияние заметней, чем у любого другого микроэлемента.

Чем опасен недостаток селена?

Хронический дефицит селена приводит к болезни Кашина — Бека — остеоартрозу с множественной деформацией суставов, позвоночника и конечностей; болезни Кешана — эндемической миокардиопатии, то есть изменениям сердечной мышцы у обитателей мест с малым содержанием селена; наследственной тромбастении, при которой тромбоциты больного из-за изменения мембран не способны образовывать сгустки. Есть подозрения, что недостаток селена в продуктах питания или нарушение его оборота в организме приводит к множеству болезней, в том числе бронхиальной астме, раку легких и органов пищеварения. С возрастом недостаток селена, ослабляя и без того износившуюся антиоксидантную систему, участвует в развитии старческих болезней, от катаракты до слабоумия. Так, у пожилых пациентов, страдающих от болезни Альцгеймера, содержание селена почти в два раза меньше, чем у их здоровых сверстников («Journal of Trace Elements in Medicine and Biology», 28 августа 2014 года; doi: 10.1016/j.jtemb.2014.08.009).

Что за слухи о противораковых лекарствах с селеном?

Малые дозы селена способствуют защите от радикалов, которые повреждают клетки и способны вызвать их злокачественное перерождение. Поэтому его препараты могут помочь профилактике таких заболеваний, например, после облучения. Есть данные, что нормализация уровня селена снижает заболеваемость раком вдвое. Однако в большой дозе он, наоборот, вызывает образование активных форм кислорода. Раковая клетка и без того содержит много свободных радикалов, поэтому, добавив их с помощью селена, можно ее погубить. А здоровой клетке такая добавка нанесет гораздо меньший вред. Этот-то эффект и пытаются использовать фармакологи, создавая препараты из наночастиц селена, закрепленных на какой-нибудь инертной, а лучше антиканцерогенной матрице. Так, селеновые наночастицы в матрице из бета-глюканов проявляют неплохие

антираковые свойства. Аналогичные наночастицы в матрице из гидроксипатита продемонстрировали в предварительных опытах способность добить очаги рака в пораженных опухолью костях после ее удаления. Пока что, правда, к созданию коммерчески доступных препаратов эти опыты не привели.

Можно ли управлять содержанием селена в организме?

Да, однако необходимо помнить, что, во-первых, его уровень в здоровом организме стабилен (в плазме крови — 120—130 мкг/л, в суточной моче — 15—45 мкг/л, в волосах — 0,3—2,0 мкг/г), а во-вторых, избыток селена вреден. Учитывая, что селен непрерывно выводится, необходимо постоянное восполнение потерь. Принятый в США стандарт ежедневной потребности селена таков: в возрасте до трех лет — 20 мкг, от 4 до 8 лет — 30 мкг, от 9 до 13 лет — 40 мкг, а с 14 лет — 50—100 мкг селена в сутки. Во время беременности и при больших физических нагрузках дозу повышают до 200—220 мкг в день. В РФ среднее потребление 28—110 мкг/сутки, а верхний допустимый уровень — 300 мкг/сутки. Физиологическая потребность для взрослых — 55 мкг/сутки (для женщин); 70 мкг/сутки (для мужчин); для детей — 10—50 мкг/сутки.

Правда ли, что в грибах содержится много селена?

Правда. Как отмечено в обзоре микологов из Гданьского университета («Journal of the Environmental Science & Health, C, Environmental Carcinogens Ecotoxicology Review», 2008, 26, 3, 256—299; doi: 10.1080/10590500802350086), лидер среди съедобных дикорастущих грибов — трутовик козлоногий *Albatrellus pes-caprae*, на один грамм сухого вещества которого приходится 200 мкг селена! Белые грибы со своими 20—70 мкг/г и условно-съедобные шишковидные мухоморы (20—37 мкг/г) от него сильно отстают. В возделываемых грибах селена гораздо меньше — до 1 мкг/г. Впрочем, если выращивать их на обогащенном селеном субстрате (а это делают, добавляя соли или препараты селенконцентрирующих дрожжей), то можно получить богатый селеном гриб. Так, в шампиньоне удается достигнуть концентрации 110 мкг/г, а в медицинском грибе личжи, он же трутовик лаковый *Ganoderma lucidum*, — до 73 мкг/г. Выращивание медицинских грибов на субстрате с добавками селена, впрочем, показало, что слишком большая концентрация солей росту плодовых тел не способствует, более того, грибы начинают изменять форму и цвет.

Каков основной источник селена в организме?

Селен выполняет свои биологические функции главным образом в составе селенопротеинов, куда он входит в виде уже упомянутых селеноаминокислот — селенометионина и селеноцистеина. Организмы млекопитающих эти аминокислоты не синтезируют и должны получать их с пищей. После грибов больше всего селена содержат орехи; лидер — бразильский орех (до 15 мкг/г), за ним идут кокос и кунжут (8 мкг/г), фисташки (4,5 мкг/г). В устрицах и омарах селена до 1,5 мкг/г. Есть еще специфические продукты, богатые селеном: проростки пшеницы, морская соль, пивные дрожжи. Во всех же остальных продуктах его содержание менее 1 мкг/г, а во фруктах селена пренебрежимо мало. Поскольку обычный человек редко ест и бразильские орехи, и грибы, и лобстеров с устрицами, свой основной селен он получает именно с продуктами первой необходимости — мясом, яйцами, хлебом и крупами. Как правило, они выращены в той же местности, где человек проживает. Так и появляется проблема селеновой недостаточности: если его нет в местной почве, то не будет и в продуктах. Способ приготовления также влияет на содержание селена. При кипячении до 50% его может переходить в жидкость, а при жарении, наоборот, концентрация микроэлемента в готовой пище возрастает.

Зачем селен растениям?

В общем-то, он им не нужен. Они просто поглощают серу в различных соединениях, например в тех же серосодержащих аминокислотах. Но есть среди них и гипераккумуляторы селена. Среди них выделяются астрагал (разновидность бобовых), обезьянье дерево (Южная Америка), моринда цитрусолистная (Австралия). Есть мнение, что таким способом они защищаются от травоядных, становясь для них ядовитыми. Кроме того, почва вокруг гипераккумуляторов обогащена селеном, и те растения, что его не выносят, на ней не растут, освобождая место под солнцем.

Поскольку хлеб и крупы — важнейший источник ежедневного пополнения запасов селена в организме, исследователи стараются использовать способность к гипераккумуляции и вывести сорта, которые обогащены селеном, что особенно важно для местностей, обедненных этим элементом. Сам же селен вносят в составе удобрений. Однако тут есть ограничения:

если в малой дозе селен способствует развитию злаков, то при ее превышении растение перестает усваивать некоторые важные вещества и чахнет. Поэтому при внесении селеносодержащих удобрений надо соблюдать умеренность.

Рекорд в деле насыщения зерновых селеном на 2014 год, по-видимому, принадлежит исследователям из Китайского университета Гонконга, которые создали такую легкоусваиваемую форму в удобрении, что при внесении 10,5 грамм селена на гектар его содержание в рисе выросло в 51 раз («Food Chemistry», 2013, 141,3, 2385—2393)!

Государственная программа обогащения удобрений селеном действует с 1984 года в единственной стране мира — Финляндии. В соответствии с ней, концентрация селена должна быть 15 мкг на килограмм удобрения. Вызвано это изначально очень низким содержанием селена в почвах Северной Европы. Результат таков: содержание селена в зерновых выросло в 15 раз, в финской говядине, свинине и молоке соответственно в 6, 4 и 3 раза. В плазме крови финнов селена стало почти в два раза больше, правда, это не сказало на частоте сердечно-сосудистых и

онкологических заболеваний («Journal of Trace Elements in Medicine and Biology», 20 мая 2014 года; doi: 10.1016/j.jtemb.2014.04.009). Возможно, скажется на заболеваемости болезнью Альцгеймера — именно в Финляндии он самый высокий в мире (см. статью в этом номере. — *Примеч. ред.*).

Как можно восполнить селеновую недостаточность? Существуют два типа препаратов: с добавками солей селеновых кислот — селенитов и селенатов или органических соединений вроде селенметионина. Выращивая дрожжи на богатом селеном субстрате, можно добиться высокого выхода этой аминокислоты (вплоть до полной замены метионина на селенметионин) и потом готовить из нее пищевую до-

бавку. Прием таких препаратов в течение нескольких недель нормализует содержание селена, если изначально оно было слишком низким. Впрочем, пользоваться ими рекомендуют в местностях, где пища обеднена селеном, поскольку его избыток (напомним еще раз) не менее вреден, чем недостаток, а метаанализы статей, посвященных пищевым добавкам с селеном, свидетельствуют, что лучше всего все-таки получать селен с пищей, а не в виде солей или чистых аминокислот («Nutrients», 2014, 6, 4002-4031; doi:10.3390/nu6104002).



ЭЛЕМЕНТ №...



О подписке



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

Стоимость подписки на первое полугодие 2015 года с доставкой по РФ — 960 рублей, при получении в редакции — 600 рублей. Об электронных платежах см. www.hij.ru.

Справки по телефону (495)722-09-46.

Реквизиты:

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

Магнитная приманка

К бочке с магнитом дельфин плывет быстрее.

«Naturwissenschaften», 30 сентября 2014 года; doi: 10.1007/s00114-014-1231-x

О том, что птицы и рыбы ориентируются по магнитному полю, знают многие. Более того, уже известно, что обеспечивает эту способность: биологи нашли у них в мозгу магниточувствительные клетки (см. «Химию и жизнь», 2012, № 8). Теперь настала очередь других существ, преодолевающих в своих скитаниях большие расстояния и, стало быть, нуждающихся в надежных ориентирах. В частности, это китообразные. Предположения о том, что и они способны чувствовать магнитное поле, высказывали неоднократно, но контрольный эксперимент провели только в 2014 году.

Дороти Кремерс вместе с коллегами из Реннского университета работали в дельфинарии парка «Дикая планета» в Порт-сан-Пьер. Они установили в бассейне две бочки. В одну поместили сильный магнит, в другую — кусок такого же металла, но немагнитного. Затем в бассейн запускали дельфинов и снимали на видео их передвижения. Ни сотрудник, запускающий дельфинов, ни те, кто обрабатывал запись, не знали, что находилось в бочках. Результат же показал, что к бочке с магнитом дельфины, а всего их было шестеро, плыли гораздо быстрее, чем к немагнитной. Причем, подплыв, они ничего особенного с бочкой не проделывали, поэтому исследователи решили, что к бочке их привлекало только любопытство. А любопытство, несомненно, было вызвано ее магнитным полем, поскольку больше ничем бочки не различались. Стало быть, дельфины магнитное поле чувствуют. Интересно, а с людьми такие опыты ставили?

Третий предок

У древних европейцев найден общий предок с индейцами Северной Америки.

«Nature», 2014, 513, 7518, 409; doi: 10.1038/nature13673.

Комплексное исследование ДНК, полученной из останков трех доисторических людей, проведенное коллективом из ста двадцати ученых со всего света, включая РФ, привело к неожиданному выводу: у европейцев был третий предок! До сих пор считалось, что примерно 8 тысяч лет назад, в период голоценового оптимума, когда температура на планете была на два градуса выше, чем сейчас, на континент, ранее заселенный смуглыми светлоглазыми охотниками-собираателями, пришли белокожие кареглазые земледельцы с Ближнего Востока, конкретно — из окрестностей современной Анкары (см. «Химию и жизнь», 2011, № 3). Они принесли с собой аграрную культуру, что привело к революционным изменениям — население резко выросло из-за изобилия продуктов, стали возникать крупные поселения, а структура общества усложнилась. Вопрос, который волнует ученых, — смешались ли земледельцы с охотниками или вытеснили их.

Генетические исследования современных жителей стран Евросоюза и древних обитателей континента — одного земледельца и двух охотников — показали, что, скорее всего, оба народа перемешались, поскольку гены обеих групп у них присутствуют, но в разных пропорциях. Так, на севере Европы больше доля охотников — у литовцев она максимальна и достигает половины, а на юге преобладают гены земледельцев. Интересно, что ни у одной из древних групп нет гена, позволяющего переваривать молочный сахар, — иными словами, молоко они пили только в младенчестве. Зато есть гены, кодирующие амилазу — фермент, разлагающий крахмал, то есть клубни и зерна все ели с удовольствием. Но главным сюрпризом оказалось присутствие у наших современников немалой доли генов третьего предка — не охотника и не земледельца. Это так называемая линия Северной Евразии. Ее гены у европейцев встречаются с частотой до 20%, и они же есть у индейцев! А еще эта линия имеется на Кавказе и на Ближнем Востоке. Разгадка тайны родства европейцев и индейцев, видимо, станет следующей задачей палеогенетиков.

Зубастые присоски

Определена структура присосок щупальцев кальмаров.

«ACS Nano», 2014, 8, 7, 7170; doi: 10.1021/nm502149u

Щупальца головоногих моллюсков устроены сложно и выполняют несколько функций. В частности, у кальмаров на присосках имеются и крючья для удерживания добычи, и зубцы. Причем зубцы весьма прочные, способные оставлять шрамы на теле добычи. Однако сделаны они только из белков — никаких упрочняющих минералов или полисахаридов в их составе нет. Что же обеспечивает их прочность? Ответ искали сингапурские материаловеды из Наньянского технологического университета во главе с Али Мисерезом.

Есть три способа придания прочности полимерам. Первый — перепутать их цепочки, как в термопластичных полимерах вроде полиэтилена. Второй — навсегда сшить цепочки ковалентными связями, как в термореактивных полимерах вроде резины. Третий — создать композит из полимера и твердых частиц, например минерала. По сути, кальмары применили именно третий способ. Только твердые образования, упрочняющие зубцы на их щупальцах, тоже имеют белковую природу.

Исследовали обнаружили, что зубцы присосок содержат 38 однотипных белков — сукеринов (от английского «присоска» — sucker). Эти белки создают структуру, в которой аморфные участки из длинных цепей чередуются с наночастицами из бета-листов. Образующие их участки молекул сукеринов имеют примерно ту же конфигурацию, что и белки паутины, — это указывает на их древнейшее происхождение. Бета-листы сами по себе прочны и придают жесткость зубцам.

Это открытие весьма обнадежило исследователей. Ведь коль скоро тут не участвуют ковалентные связи, значит, такой белковый материал способен вести себя как термопластичный полимер, который удобно обрабатывать и перерабатывать. Значит, у материаловедов может появиться новый класс материалов — жесткие белковые структуры. Остается только научить бактерий синтезировать сукерины в нужном количестве.

Лекарство из отходов

Из жмыха можно выделить препарат для улучшения работы печени.

«Journal of Agricultural and Food Chemistry», 2014, 62, 33, 8385; doi: 10.1021/jf501742h

После того как из семян извлекли масло, остается богатый белком жмых. Хотелось бы скормить его животным, но это удается не всегда. Так, в рапсовом жмыхе содержатся ядовитые вещества из группы глюкозинолатов. Канадцы создали генно-модифицированный рапс — канолу, в которой этих веществ мало. Ее жмых годится на корм, что приносит в канадскую казну немало средств за счет продажи семян.

А еще есть родственник рапса — рыжик *Camelina sativa*, масло которого считается весьма перспективным сырьем для изготовления биотоплива. Однако о свойствах рыжикового жмыха известно немного. Элизабет Джефри, профессор Иллинойского университета, решила разобраться в его составе.

Оказалось, что он содержит в большом количестве два глюкозинолата — глюкоарабин и глюкокамелин, а также гликозиды кверцетина. Ими вместе и по отдельности обрабатывали клетки печени мыши. Такая обработка оказалась очень благотворной, поскольку увеличивалась выработка фермента, ответственного за основную функцию печени — детоксикацию веществ. Смесь же из кверцетина и глюкоарабина увеличивала выработку фермента в пять раз по сравнению с контролем. Возможно, в скором времени в американских магазинах появится пищевая добавка из этих двух компонентов. А пока что авторы работы установили, что действует упомянутая смесь не хуже, чем пара «кверцетин и сульфорофан» — вещества, содержащиеся в брокколи и других крестоцветных и, как считается, предотвращающие рак. Поэтому рыжиковый жмых стоит проверить и на такую способность.



Пепел чистит воду

С помощью сигаретного пепла можно удалять из воды мышьяк.

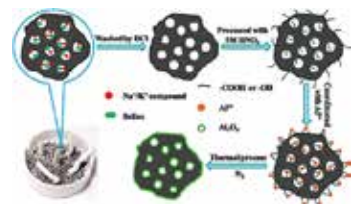
«Industrial & Engineering Chemistry Research», 2014, 53, 41, 16051; doi: 10.1021/ie500841n

Интересное использование для пепла, остающегося от выкуранных сигарет, придумали исследователи из Института физики плазмы АН КНР во главе с Ли Цзясином. Воспользовавшись тем обстоятельством, что пепел весьма пористый, они решили приготовить из него сорбент для удаления мышьяка из питьевой воды. Ученые собрали содержимое институтских пепельниц, отделили углерод от растворимых солей и использовали его как шаблон для создания ажурной структуры — покрыли слоем оксида алюминия.

Через получившийся материал пропустили воду, привезенную из провинции Внутренняя Монголия, с концентрацией мышьяка 233 мкг/л. На выходе вода получилась

чистейшей — мышьяка в ней было всего 8 мкг/л, что меньше, чем положено по нормативу ВОЗ. Лучше всего показал себя сорбент, где вес оксида алюминия был в два раза больше, чем углерода, а расход сорбента составил 4—8 грамм на литр.

По мнению авторов работы, пепел можно легко собирать в специально отведенных местах для курения и таким способом превращать отходы в нечто полезное с минимальными затратами ресурсов. В больших городах действуют системы водоподготовки, а в малых селах можно будет чистить воду такими пепельными фильтрами.



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

Печень из миндалин

Создана система, которая поможет лечить печень без операции.

«ACS Applied Materials & Interfaces», 2014, 6, 17034—17043; dx.doi.org/10.1021/ams504652y

Печень способна выдерживать немалые нагрузки и даже неплохо восстанавливается, если ее частично удалить. Но порой нужна более кардинальная мера — пересадка, которой препятствует нехватка доноров. Решить проблему способна тканевая хирургия, которая поможет печени восстановиться за счет собственных стволовых клеток пациента. Сейчас для этого, как и многих других подобных операций, берут отмытый от клеток каркас донорского органа, заселяют его клетками-предшественниками гепатоцитов и пытаются делать пересадку. Исследователи из серульского Женского университета Ихва (он же Академия цветка груши) во главе с Чонь Бёнмоон попробовали создать искусственную систему такого рода.

Для этого они синтезировали субстрат в виде блоксополимера из полиэтиленгликоля и аминокислоты L-аланина. Исследования показали, что в водном растворе этого вещества образуются полимерные скопления размером в сотню нанометров. Они представляют собой так называемые бета-листы — это альтернативная альфа-спирали укладка белковых молекул в виде плоских структур, где белковые фрагменты связаны водородными связями. При повышении температуры до 37°C бета-листы укреплялись и объединялись в единый каркас, переходя в состояние геля. Он обладал неплохой упругостью: можно было добиться, чтобы она стала такой же, как у отмытого коллагенового каркаса настоящей печени.

Засевали же этот гель вовсе не предшественниками гепатоцитов, а стволовыми клетками, извлеченными из миндалин. Было поставлено три группы опытов. В первой заселяли гель только такими клетками, во второй — потом их обрабатывали факторами образования клеток печени, в третьей — гель заселяли совместно клетками и факторами. Во втором и третьем случаях культура неплохо развивалась в геле, клетки же вырабатывали вещества, характерные именно для гепатоцитов. Исследователи надеются, что после отработки методики созданный ими препарат можно будет шприцем вводить в поврежденную печень, где он под действием тепла тела превратится в гель и восстановит орган.

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

Электростанция в каблук

Создано устройство для зарядки батарейки от шагающего человека.

Агентство «AlphaGalileo», 29 сентября 2014 года.

Идея собирать с помощью пьезоэлектрика энергию, возникающую от нажатия стопы человека на подошву, нова. В США подобные работы ведут уже более десяти лет, чтобы облегчить жизнь американским солдатам, отягощенным всякой электроникой. В Мексике же просто озабочены выработкой чистой энергии. В частности, специалисты из Центра исследований перспективных материалов в городе Чихуахуа придумали пластину диаметром в пять сантиметров и толщиной в три миллиметра. Ее можно встроить в каблук, и тот станет передавать энергию в виде микроволнового излучения в приемник, способный заряжать батарейки для часов, в чем мексиканские материаловеды и убедились.

«Это лишь прототип, мы хотим повысить эффективность устройства. Перспектива же такая: встроить подобные генераторы в пол там, где проходит много людей, например в переходах подземки. По нашим расчетам, их шаги смогут выработать достаточно энергии для ее освещения», — мечтает участник работы Уртадо Масиез

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

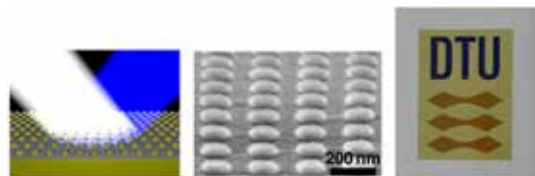
Структурная краска

Полимеру придали цвет без использования красителя.

«Nano Letters», 2014, 14, 4499—4504; dx.doi.org/10.1021/nl5014986

Многие жуки и бабочки окрашены без применения красителей — за счет того, что на поверхности надкрыльев первых и крыльев вторых расположены наноструктуры, которые преобразовывают белый свет в окрашенный. Если бы человек научился применять аналогичный способ в промышленных масштабах, он бы избавился от необходимости иметь дело с огромным разнообразием веществ. Помимо экономии на производстве упрощается и задача последующей переработки. Шаг в этом направлении сделали исследователи из Технологического университета Дании во главе с Асгером Мортенсенем. С помощью структурной окраски они изобразили на полимере эмблему своего института.

Сначала они сделали кремниевый штамп из периодических расположенных ямок цилиндрической формы диаметром в несколько десятков нанометров. Затем этот штамп отпечатывали на поверхности полимера. На полученный рельеф нанесли слой алюминия толщиной 20 нм и получили алюминиевые диски высотой 50 нм. Изображение проявилось! В зависимости от диаметра дисков и расстояния между ними одни участки оказались желтыми, другие — синими. Защитное прозрачное покрытие сдвинуло цвета в красную сторону, однако эффект не пропал. Основные затраты, естественно, приходятся на изготовление штампа, а остальные процессы достаточно дешевые, чтобы обеспечить массовое производство разноцветных полимеров без краски.



НОВЫЙ ТИП ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

В 1996 году вышла книга американского журналиста Джона Хоргана с провокационным названием «Конец науки», где он, в частности, описал и конец химии. Одноименная глава открывалась разговором с Лайнусом Полингом о теории химической связи, из которого следовал печальный вывод: все главное об этом Полинг сказал в своем классическом труде «Природа химической связи» еще в 1939 году. Многие не согласятся с Хорганом, что лавры должны принадлежать одному Полингу. Справедливо было бы вспомнить и другого нобелевского лауреата — Роберта Сандерсона Малликена, а также Эриха Хюккеля, Фридриха Хунда, Чарльза Альфреда Коулсона и его книгу «Валентность», которая сменила «Природу химической связи» на столах многих химиков, и, наконец, пионеров квантовой химии Вальтера Гейтлера и Фрица Лондона. Были и другие громкие имена, но здесь речь не о них, а о химической связи. А вот в ней давно не осталось решительно ничего таинственного: все известные со школы типы связи — ковалентная, донорно-акцепторная и ионная — это вариации на тему закона Кулона и принципа Паули.

Упрощенная картина химической связи выглядит так: отрицательно заряженные электроны концентрируются между положительно заряженными ядрами, как бы склеивая их. При этом два электрона с одинаковым спином не могут занимать одну орбиталь (принцип Паули, или принцип запрета) и поэтому «спариваются», в результате чего получается всем известная картина: два электрона с противоположными спинами «вверх» и «вниз» на одной орбитали. Принцип Паули — это чисто квантовое явление, поскольку спин — свойство квантовых систем, и благодаря ему происходит стабилизация конфигурации электронов (ее еще называют обменным взаимодействием). В итоге электронные оболочки выстраиваются так, чтобы энергия электронов, которая складывается из кулоновской (электростатической) и обменной, была минимальной. Говоря

о взаимодействии электронов, мы постоянно встречаем имена Шарля Огюстена де Кулона и Вольфганга Эрнста Паули, а вклад остальных приходится искать с помощью лупы.

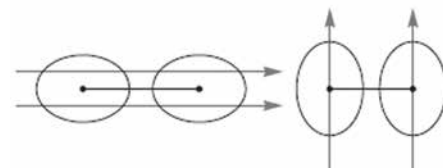
Орбитали имени Лондона

Однако молекулы, попав в магнитное поле, могут вести себя необычно. Ведь электроны — это движущиеся заряженные частицы, а значит, будут с ним взаимодействовать. Влияние на молекулы слабых полей (необязательно магнитных) обычно учитывают с помощью теории возмущений, название которой говорит само за себя: магнитное поле рассматривают как возмутителя спокойствия, незначительно меняющего свойства системы.

Если же поле достаточно сильное, то теория возмущений перестает работать, поскольку поле превращается в действующее лицо столь же важное, как и электростатика и принцип запрета. К господам Кулону и Паули добавляется Джеймс Клерк Максвелл. Чтобы проявить должное уважение к магнитному полю, его надо учесть не как возмущение. Это можно сделать с помощью особых орбиталей, которые напрямую зависят от магнитной индукции, а не только от пространственных координат, как обычные орбитали. Особые орбитали носят имя пионера квантовой химии Фрица Лондона. Используя лондоновские орбитали, можно проводить очень точные расчеты для молекул в неограниченно сильных магнитных полях.

Новая химическая связь

Рассмотрим простейшую молекулу — молекулу водорода H_2 , в которой всего два электрона. Именно ей была посвящена первая статья по квантовой химии Гейтлера и Лондона, где они в 1927 году дали объяснение ковалентной химической связи. Через 85 лет в этой же молекуле научная группа из Норвегии и США обнаружила новый парамагнитный механизм связывания («Science», 2012, 337, 6092, 327—331,

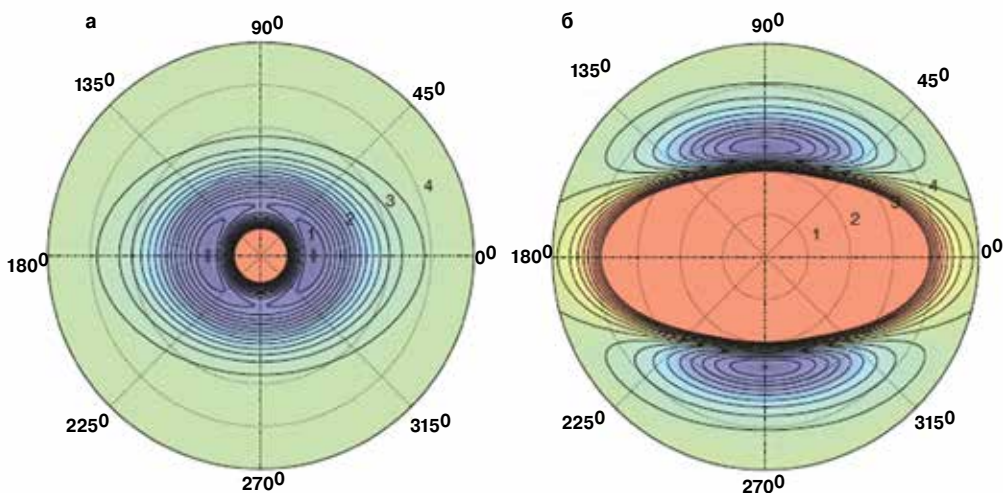


Схематическое изображение химической связи в параллельной и перпендикулярной ориентации относительно магнитного поля

doi: 10.1126/science.1219703).

Итак, в основном электронном состоянии оба электрона с противоположными спинами в молекуле водорода согласно принципу Паули находятся на связывающей сигма-орбитали (σ_g). Общий спин молекулы при этом равен нулю, и такое состояние называется синглетным. Следующая по энергии орбиталь (σ_u^*) разрыхляющая, она обозначается звездочкой (*). Первое возбужденное состояние, образующееся при переходе электрона с σ_g на σ_u^* с противоположным спином, является несвязывающим, поэтому, как только молекула переходит в это состояние, она диссоциирует. Общий спин теперь равен $1/2 + 1/2 = 1$ — такое состояние называется триплетным. (Не надо думать, что синглетные состояния — связанные, а триплетные — несвязанные, все зависит от конкретной системы. Например, основное электронное состояние молекулы кислорода O_2 — триплетное.) Если поместить молекулу водорода в достаточно сильное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно связи «водород — водород», то первое возбужденное триплетное состояние окажется связанным.

Дело в том, что разрыхляющая σ_u^* -орбиталь в зависимости от направления поля ведет себя по-разному. Если вектор магнитного поля направлен параллельно связи, то электрон, находящийся на ней, будет взаимодействовать с магнитным полем слабо. Если же поле направлено перпендикулярно связи «водород — водород», то взаимодействие электрона на этой орбитали с магнитным полем уже будет существенным за счет парамагнитного эффекта Зеемана. При этом энергия σ_u^* -орбитали снизится настолько, что возбужденное состояние становится связанным. Из рисунка видно, что при параллельной ориентации поля и расстоянии «водород — водород» менее ста пикометров σ_u^* -орбиталь становится связывающей (сплошная светлая линия «уходит в минус»). Однако σ_g делается разрыхляющей (сплошная темная линия «уходит в плюс»). Общая



Энергия молекул H_2 в зависимости от межатомного расстояния (R) и ориентации магнитного поля относительно связи для основного синглетного (а) и возбужденного триплетного (б) состояний. Высоким значениям энергии соответствует красный цвет, низким — синий. Из рисунка (б) видно, что при перпендикулярной ориентации поля, возникают довольно глубокие минимумы (в форме банана сверху и снизу), в которых возбужденное состояние становится связанным. При этом основное состояние стабильно почти везде (а), кроме центра рисунка, соответствующему сближению ядер

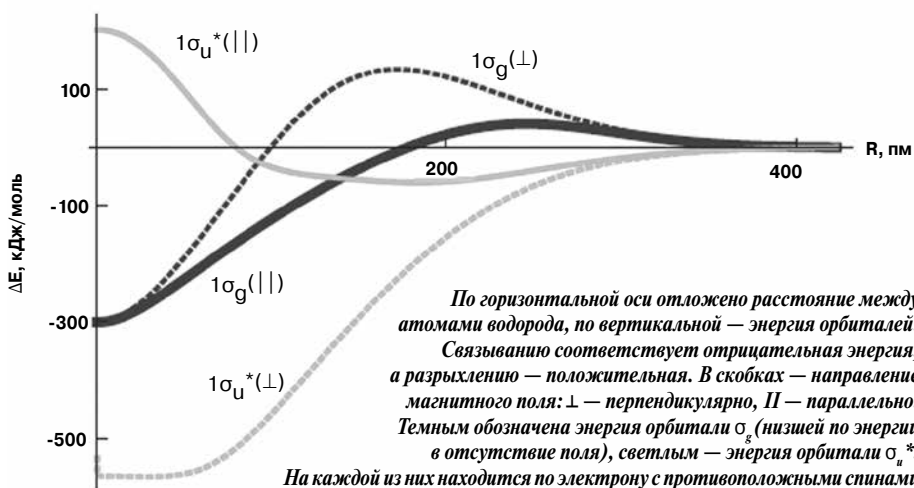
энергия выше нуля, и молекула получится неустойчивой, как и в отсутствие поля. Совсем иная картина наблюдается при перпендикулярной ориентации вектора магнитной индукции: σ_g опять становится разрыхляющей (темная пунктирная «уходит в плюс»), тем не менее σ_u^* на всем диапазоне расстояний — связывающая (светлая пунктирная «уходит в минус»), причем с очень большой отрицательной энергией, с лихвой компенсирующей повышенную энергию σ_g -орбитали. В результате такой рокировки орбиталей общая энергия в перпендикулярно направленном магнитном поле — отрицательная, а состояние — связанное. И чем сильнее магнитное поле, тем устойчивее будет это состояние.

Это и есть новый тип химической связи, которая совсем не похожа ни на ковалентную, ни на ионную. Он называется «перпендикулярное парамагнитное связывание», которое возникает благодаря стабилизации

разрыхляющей орбитали (потенциально — нескольких) перпендикулярно ориентированным магнитным полем. Похожее связанное состояние было обнаружено и для димера гелия, He_2 .

Экзотика?

Новую парамагнитную химическую связь в магнитном поле предсказали пока теоретически, с помощью очень точных квантово-химических расчетов. Но авторы ограничились теоретическим рассмотрением не только потому, что они теоретики. Новый механизм связывания проявляется только в очень сильных магнитных полях (порядка 10^5 Тесла), на несколько порядков сильнее тех, которые сегодня получают в лучших лабораториях. (И разумеется, сильнее поля Земли на ее поверхности и вдали от нее.) Так что в ближайшее время мы едва ли сможем наблюдать связанный триплетный водород в лаборатории и тем более в окружающей нас природе.



Однако во Вселенной немало объектов, создающих достаточно сильные магнитные поля, например белые карлики и нейтронные звезды. Поскольку водород и гелий — это основные «звездные» элементы, парамагнитная связь может играть заметную роль в химии космоса. Тем более что планеты вроде нашей Земли, в отличие от белых карликов, — объекты редкие и небольшие. Поэтому есть основания полагать, что привычные нам вода, минералы или органические соединения — это экзотика по космическим меркам, а вот новая химическая связь — вполне обычное явление.

Но все же надежда обнаружить парамагнитную связь экспериментально, без помощи телескопа и не отправляясь в космическую одиссею (как бы заманчиво это ни звучало), все-таки есть. Упрощенно молекулу можно рассматривать как рамку с током: рамку образуют тяжелые ядра, а текут по ней электроны (как и в настоящей рамке). Из школьной физики известно, что чем больше площадь рамки, тем сильнее она взаимодействует с магнитным полем. А значит, чем больше молекула, тем меньшей силы магнитное поле необходимо для проявления парамагнитного механизма химического связывания. Следовательно, для того, чтобы выявить парамагнитную связь в больших молекулах, потребуются менее сильные поля, и, возможно, ее удастся обнаружить в лаборатории.

Пока парамагнитно связанные молекулы водорода и гелия все же не были обнаружены на звездах, а их аналоги — в лабораториях. Однако надежное теоретическое предсказание нового типа химической связи уже направляет научный поиск: за два года работа была процитирована 18 раз, в том числе теми, кто пытается создать лабораторные аналоги парамагнитно связанных веществ. Так что конец химии готовит нам немало неожиданностей, и, может быть, после «финальных титров» придется объявить, что «продолжение следует»?

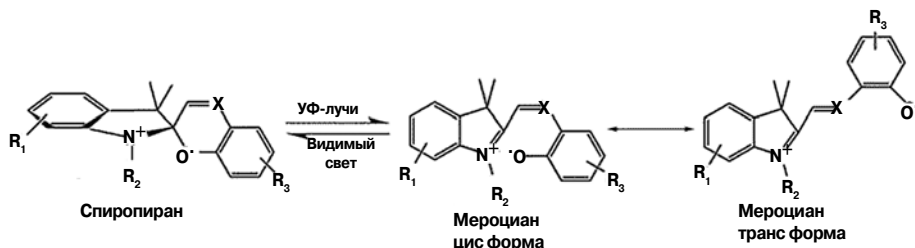
Кандидат химических наук

В.В.Рыбкин

Осьминоги вдохновляют ученых

В предыдущем номере мы писали о черно-белом «камуфляже головоногих», который сделали исследователи из Хьюстонского университета, университета Иллинойса в Урбане-Шампейне и Северо-Западного университета. Конкуренция в этой области нешуточная: чуть позже в «Nature Communications» появилось сообщение о том, что в Массачусетском технологическом институте тоже создали материал, способный менять окраску и рисунок подобно тому, как это делают головоногие («Nature Communications», 2014, 4899, 5, doi: 10.1038/ncomms5899). Однако принцип его работы совершенно иной. Это очень эластичный растягивающийся полимер, к цепи которого пришиты специальные молекулы, способные обратимо менять окраску при внешнем воздействии. Авторы исследования утверждают, что новые эластомеры не очень дорогие и их синтез легко адаптировать к стандартному производственному процессу.

Сегодня гибкие материалы, способные светиться и менять свой цвет, очень востребованы. Их можно использовать и в производстве дисплеев, и как складные осветительные приборы; такие гибкие биосовместимые лампы нужны



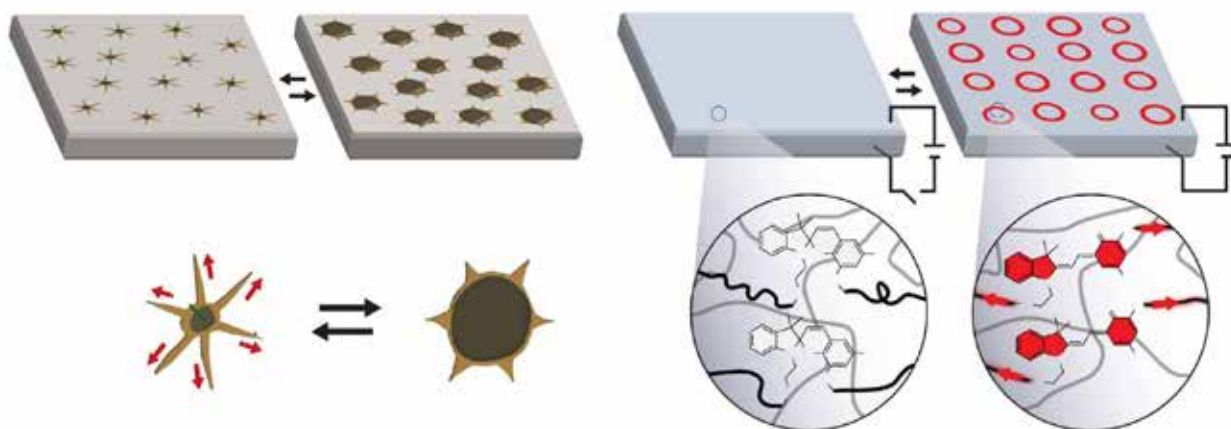
в медицине. Подобный материал может пригодиться и для военного камуфляжа. Чтобы создать такие дистанционно управляемые материалы, ученые пробовали разные подходы. Например, встраивали жесткие светодиоды в эластомеры, использовали растягивающиеся электролюминесцентные полимеры и создавали микрофлюидные сети, заполненные окрашенными жидкостями.

Между тем в природе есть подобные примеры, и они работают безотказно. Головоногие моллюски — осьминоги, каракатицы и кальмары — очень хорошо умеют менять свой камуфляж в ответ на внешние стимулы. Например, осьминоги могут за секунду изменить свой цвет несколько раз. В их коже есть микроскопические «сумки», содержащие пигменты (хроматофоры). Они окружены многочисленными радиальными мускулами, которые способны быстро изменять размер емкостей с

пигментами. Как только анализаторы, расположенные в глазах и щупальцах, дают команду, соответствующие отделы нервной системы передают импульс, мускулы растягивают сумки с нужным пигментом и кожа окрашивается в другой цвет или приобретает узор. Когда опасность миновала — мускулы расслабляются и осьминог становится самим собой. Головоногие маскируются не только под окружающий ландшафт, но и под других животных. Так, осьминоги вида *Thaumoctopus mimicus*, обитающие в тропических морях Юго-Восточной Азии, способны копировать более пятнадцати различных морских организмов.

Вдохновленные этой стратегией, исследователи Массачусетского технологического института пришили к по-

Механизм работы хроматофоров в коже осьминога и схема образования флуоресцентных рисунков на поверхности эластомера в электрическом поле





Первая разветвленная молекула в космосе

лимерной цепи кремнийорганического эластомера молекулы спиропирана. Спиропираны — это органические соединения, которые могут менять цвет и сильно флуоресцировать в ответ на механическое воздействие. При сильной деформации разрывается углерод-кислородная связь, и почти не окрашенное соединение превращается в синюю мероциановую форму.

Сначала исследователи посмотрели, как меняется цвет материала при растяжении, и убедились, что бледно-желтый эластомер превращается в синий. Потом его облучали зеленым светом (545 нм) и наблюдали, как сильно он флуоресцирует в красных тонах (590—650 нм). При малых растяжениях материал почти не светился, но чем сильнее его растягивали, тем сильнее была его флуоресценция.

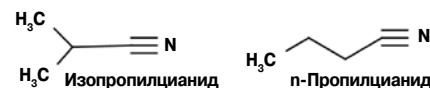
Далее ученые посмотрели, как эластомер будет себя вести в электрическом поле, для чего защитили новый материал специальным слоем и поместили его между тонкой золотой фольгой и прозрачным электродом. По мере возрастания напряжения ровная поверхность эластомера становилась неустойчивой, образовывались морщинки, потом она деформировалась еще больше — морщинки превращались в воронки. В какой-то момент механическая деформация становилась достаточной, чтобы эластомер начал флуоресцировать (как в предыдущем эксперименте), и тогда ученые наблюдали окрашенные участки. Результат был далек от рекорда осьминога, но все же удалось получить флуоресцирующий рисунок на поверхности материала (круги, линии и даже буквы), который менялся в зависимости от того, какой формы объект подкладывали под пленку. При выключении источника тока поверхность эластомера восстанавливалась, причем материал выдержал как минимум сто таких циклов без потери свойств.

Неизвестно, как скоро из нового материала можно будет сшить камуфляжную одежду для американской армии, но он явно оставляет простор для дальнейших исследований. Модифицируя хромофор, можно расширить диапазон цветов и узоров, а также увеличить число циклов камуфляжа.

Исследователи из Института радиоастрономии Макса Планка (Бонн, Германия), Центра радиофизики Корнельского университета (США) и Физического института (Кельн, Германия) нашли еще одно подтверждение тому, что в межзвездном пространстве, казалось бы, холодном и безжизненном, встречаются сложные органические соединения. Ученые впервые обнаружили в космосе изопропилцианид, молекулу с разветвленной структурой («Science», 2014, 6204, 345, 1584—1587, doi: 10.1126/science.1256678). Известно, что такие молекулы — кирпичики для синтеза аминокислот, основы всей жизни на Земле. А значит, аминокислоты могли существовать в космосе задолго до того, как появились на нашей планете.

На сегодня в межзвездном пространстве обнаружено более 180 органических соединений. Если не считать аллотропной модификации углерода — фуллерена, имеющего циклическую структуру, — в основном это органические молекулы с прямой углеродной цепью. В метеоритах, найденных на Земле, нашли также более 80 аминокислот, по составу которых можно предположить, что они, или их предшественники, образовались в межзвездном пространстве. Сейчас понятно, что в межзвездном пространстве могут формироваться и разветвленные органические молекулы, а значит, астробиология сделала еще один шаг в понимании того, как возникла и развивалась жизнь во Вселенной.

Изопропилцианид обнаружили в газопылевом облаке Стрелец B2 (Sagittarius B2), находящемся в 26 000 световых лет от нашей планеты. В том же облаке пять лет назад ученые обнаружили пропилцианид с прямой углеродной цепью, этилформиат и аминоацетонитрил, который может быть предшественником простейшей аминокислоты — глицина; в обеих работах участвовала та же группа исследователей из Института Макса Планка, которая нашла изотиоцианид («Astronomy and Astrophysics», 2009, 499, 215–232, doi: 10.1051/0004-6361/200811550, 2008, 482, 179–196, doi: 10.1051/0004-6361:20079203). А еще раньше в этом газопылевом облаке были обнаружены молекулы водорода, гликолевого альдегида, этилового спирта, муравьиной и уксусной кислоты, формальдегида и этиленгликоля. И вот теперь — изопропилцианид, которого оказалось примерно в 2,5 раза меньше, чем его изомера с прямой цепью.



Почему нашли его только сейчас? Благодаря высокой разрешающей способности и чувствительности нового телескопа ALMA, находящегося в Чили. Химические соединения в космосе изучают с помощью спектрального анализа, который основан на регистрации спектров взаимодействия атомов и молекул с разным излучением. По набору спектральных линий можно опознать молекулу, как человека по его отпечаткам пальцев. Однако чтобы вычлени эти линии и их идентифицировать, нужны очень мощные радиотелескопы. По мере совершенствования техники ученые продвигаются вперед в селективном обнаружении органических молекул. Еще не так давно, у предыдущего поколения телескопов, спектры разветвленных молекул тонули в море спектральных линий, но с помощью телескопа ALMA исследователям удалось выполнить полный спектральный анализ облака Sagittarius B2 на длинах волн 2,7 и 3,6 мм.

Недавно ученые разработали теоретическую модель, которая демонстрирует, как именно образуются органические молекулы в межзвездном пространстве. Согласно этой модели, все начинается с холодной фазы: на пылевых частицах межзвездного пространства образуются ледяные покрытия, состоящие из простых атомов водорода, кислорода, углерода и азота. В следующей фазе молекулы адсорбируются на твердой поверхности, и при активном участии солнечного излучения происходит образование органических молекул. По этой модели получается, что образование вторичного пропилового радикала (предшественника изопропилцианида) — доминирующий процесс, а это означает, что сложные органические структуры в космическом пространстве совсем не редкость.

Открытие разветвленного изомера в газопылевом облаке Sagittarius B2 подтверждает тот факт, что химическая активность в межзвездном пространстве выше, чем в других областях космоса. Ученые надеются обнаружить следующий член ряда изонитрилов — бутилцианид, а также три его разветвленных изомера.

Выпуск подготовила
В. Барановская

Нейропротезы

С.Б.Ястребова

Экзоскелет выходит в свет

Нейропротезирование и нейроинтерфейсы (интерфейсы мозг-компьютер) хорошо знакомы любителю научной фантастики, особенно если он тяготеет к жанру киберпанк. Нейроинтерфейс — это система, с помощью которой головной мозг может обмениваться сигналами с компьютером или каким-либо другим электронным устройством.

Сообщения о новых бионических руках, сетчатках и прочих искусственных частях тела, контролируемых сигналами мозга, регулярно появляются в научных новостях. Бывают и недоразумения: например, сайт вымышленной компании — производителя высокотехнологических протезов Sarif Industries (детища разработчиков компьютерной игры Deus Ex: Human Revolution) — одна из британских газет приняла за страницу реальной корпорации и рассказала о нем в заметке об искусственных глазных яблоках. Но такая ошибка была бы невозможной, если бы реальность не догоняла фантастику. Пожалуй, самая впечатляющая демонстрация подобного изобретения прошла этим летом. Не во время научного симпозиума и не на съезде компаний-разработчиков роботов, а на открытии чемпионата мира по футболу.

Двенадцатое июня 2014 года. Возможно, когда-нибудь этот день войдет в руководства по нейробиологии или (как знать?) в учебники истории. Первый, пусть и весьма короткий, пас мяча на чемпионате мира сделал не именитый игрок, не политик и не кинозвезда, а 29-летний Хулиано Пинто, бывший бразильский атлет, в 2006 году потерявший способность управлять собственными ногами из-за аварии. Экзоскелет, созданный совместными усилиями нескольких сотен ученых из Бразилии, Германии, Швейца-

рии и США в рамках проекта Walk Again, вернул Пинто эту возможность.

Как это работает?

Экзоскелет проекта Walk Again — это каркас из металла и пластика, в который встроены гидравлические двигатели и сочленения (рис. 1). Они расположены на том же уровне, что и естественные коленный, тазобедренный и голеностопный суставы. Кстати, у механизма есть имя: BRA-Santos Dumont I. Забавно, что отцу пионера авиации Альберта Сантоса-Дюмона, в честь которого назван экзоскелет, это изобретение наверняка пригодились бы: у него развился паралич нижних конечностей после неудачного падения с лошади.

BRA-Santos Dumont управляется с помощью интерфейса мозг-компьютер.

Сигналы об электрической активности мозга собирают электроэнцефалографические (ЭЭГ) электроды, объединенные в удобную шапочку. В этом, кстати, отличие нейропротезов для людей от «звериных»: в последних информацию о работе нервных клеток получают с электродов, помещенных прямо в глубь мозга. Сигнал ЭЭГ усиливается и передается на преобразователь в рюкзаке на спине пользователя. Этот преобразователь переводит частоту и амплитуду мозговых волн в команды экзоскелету передвинуть тот или иной элемент в заданном направлении. В итоге несколько таких команд сливаются в полноценный шаг.

Надо отдать должное тем, кто заявляет: пара движений в экзоскелете, да еще и при физической поддержке людей по обе стороны от бразильского добровольца,



Компьютер за спиной преобразует сигналы ЭЭГ в команды для экзоскелета

32 электрода для ЭЭГ в шапочке на голове испытуемого регистрируют активность его мозга

Сенсоры CelluiARSkin на подошвах позволяют человеку чувствовать, как и куда он наступает

Аккумуляторы, гидравлические приводы и гироскопы помогают перемещать каркас из легких сплавов и стабилизируют его

1
Хулиано Пинто в экзоскелете BRA-Santos Dumont I

возможно, не стоила тех временных и денежных затрат, что пришлось на долю проекта Walk Again. Ведь прошла же двумя годами ранее Лондонский марафон женщина с парализованными ногами! (Она использовала израильский экзоскелет ReWalk, который управляется не силой мысли, а прибором на поясе, распознающим и усиливающим движения человека.) Есть еще экзоскелет Rex, которым можно управлять с помощью разработанного специально для него прибора для снятия показаний электроэнцефалограммы — NeuroRex. По словам разработчиков, его производство намного дешевле, чем у «футбольного» аналога. Да и помощники человеку при использовании NeuroRex не нужны.

В чем же тогда особенность бразильской разработки? Экзоскелет, спроектированный в рамках Walk Again, может не только получать сигналы от мозга пользователя, но и давать ему обратную связь. На поверхности подошв BRA-Santos Dumont находятся датчики прикосновения. Они сделаны по технологии «искусственной кожи» CellularSkin. Сенсоры в виде шестиугольников размером с монетку в 50 евроцентов передают сигналы от поверхности ступней к той части устройства, которая соприкасается с пальцами пациента. Человек в экзоскелете чувствует движения ног руками и может включить устройство в собственную схему тела, ощутив его как часть себя, а не как инородный предмет. Говорят, что передвижение в BRA-Santos Dumont ощущается так же, как хождение на своих двоих. Это выгодно отличает его от продвинутых механизированных костылей, какими, по сути, являются все остальные модели.

Макака и телекинез

Теперь надо отдать должное участникам проекта Walk Again, разработавшим экзоскелет для чемпионата мира. Их руководителю Мигелю Анжело Лапорта Николелису — в особенности. В лаборатории этого нейробиолога, бразильца по происхождению, в Медицинском центре Университета Дьюка в США раньше никто не разрабатывал интерфейсы мозг-компьютер, которые управлялись бы сигналами ЭЭГ. Большинство исследований лаборатории Николелиса сосредоточено на записи электрических сигналов от отдельных нейронов, а не обобщенных ритмов мозга с поверхности скальпа. Одной из первых знаковых работ коллектива в этой области стало создание интерфейса мозг-компьютер, который позволил обезьяне перемещать механическую конечность, не двигая собственными (см. «Химия и жизнь», 2014, № 8).

Одна из первых статей об этом достижении вышла 11 лет назад в электронном журнале открытого доступа «Public Library of Science» (Carmena J.M. et al., «PLoS

Biology», 2003, 1: 193—208, doi: 10.1371/journal.pbio.0000042). Нейроинтерфейс, созданный лабораторией Николелиса, использовал тот факт, что наши движения управляются несколькими областями мозга на разных уровнях организации. А это значит, что, если одно из звеньев цепи управления сломается, его можно будет обойти, задействовав только те элементы, которые в этой цепочке расположены ближе к исполняющему концу. Например, движения руки задают и теменная кора, и лежащие под ней подкорковые ядра, и спинной мозг, и нервы, идущие от него к конкретной мышце. Если участок спинного мозга, отвечающий за движения руки, поврежден, можно регистрировать активность нейронов коры или подкорковых ядер и передавать ее по проводам сразу к нужным мускулам.

Фактически так и было сделано в экспериментах 2003 года. Вот только вместо мышц родной конечности сигналы направлялись роботизированной «руке». Двум макакам макаки-резуса вживили десятки проволочек-электродов (если быть точным, 96 — одной и 320 — другой) в дорсальную премоторную кору, первичную моторную кору и дополнительную моторную область обоих полушарий. Все эти зоны находятся под теменем и отвечают за выполнение задуманных животных движений. Такое большое количество электродов — не роскошь и не демонстрация возможностей нейробиологии, а необходимость, вызванная тем, что за большие движения и нейронов отвечает немало. К тому же некоторые клетки могут погибнуть в ходе эксперимента, и на замену им никакие другие уже не придут.

После того как животные оправались от операции, экспериментаторы обучили их выполнять три типа заданий, сидя перед монитором компьютера и держа левой рукой палочку-джойстик. Левая рука была выбрана потому, что у обеих макак сигналы от нейронов правого полушария были лучше различимы, а движениями той или иной конечности управляет противоположное полушарие. В качестве первого задания обезьяне несколько раз показывали два диска — большой и маленький. Они каждый раз появлялись в новой, случайной точке на экране. Большой диск служил целью, на которую надо было максимум за 5 секунд передвинуть маленький кружок — аналог курсора — и задержать его там чуть меньше чем на 0,2 секунды. При этом обезьяны пользовались джойстиком, а датчики в коре и на поверхности руки регистрировали электрическую активность нейронов и мышц, задействованных при его перемещении. Вознаграждением за верно выполненное задание для макак служили небольшие порции сока. Если животное оставляло курсор у цели недостаточно долго, большой круг исчезал и награды не следовало.



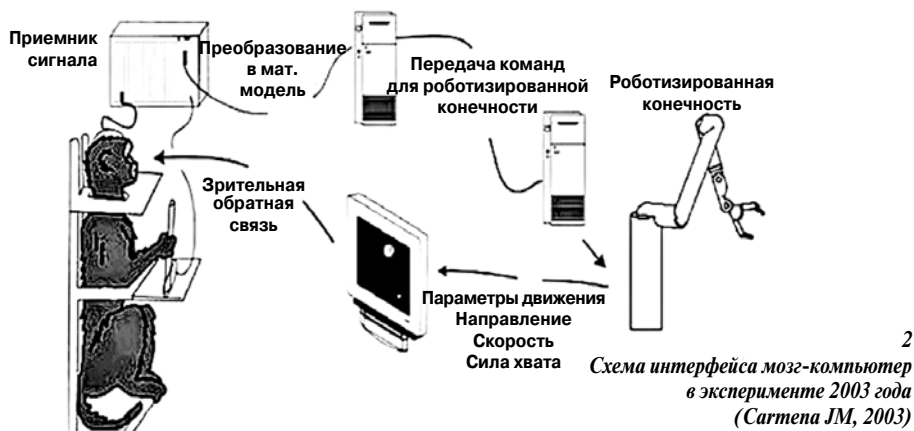
ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

В другом варианте задания передвигать джойстик не требовалось, однако нужно было сжимать его с определенной силой. С какой именно, можно было понять по размеру курсора, который на сей раз неподвижно стоял посередине экрана, окруженный двумя концентрическими кругами. Чем больше становился курсор, тем сильнее нужно было вдавить руку в джойстик.

Наконец, последняя задача включала в себя элементы первой и второй. Сначала обезьяны должны были привести курсор к цели, а потом, задерживая его на одном месте, сжимать пальцы вокруг джойстика. Как и в предыдущем задании, сила такого сжатия зависела от того, насколько большой указатель видело на экране животное.

Сравнив данные, полученные от мозга и мышц в каждом конкретном случае (а было несколько десятков попыток!), экспериментаторы создали математическую модель соотношения быстроты и силы движений руки с активностью нервных клеток в моторных областях коры. Затем они проверили, соответствует ли эта модель действительности, попробовав на ее основе предсказать, куда животное передвинет джойстик, исходя из последовательностей нейронных сигналов. Когда математические приближения показали себя дееспособными, экспериментаторы добавили в интерфейс возможность двигать курсор не только джойстиком, но и за счет одной только активности нейронов. Впрочем, при нескольких первых испытаниях в новой серии «ручное управление» сохранили и убрали лишь тогда, когда обезьяны поняли, что без него вполне можно обойтись, и стали двигать курсор только за счет сигналов нервных клеток. Эти сигналы сначала передавались на роботизированную конечность, а курсор перемещался уже исходя из ее движений (рис. 2).

Конечно, у макак не сразу получалось идеально передвигать курсор силой мысли. В процессе обучения работа одних и тех же нейронов изменялась: из десятков клеток, которые сначала работали со средней и примерно одинаковой у всех частотой, выделились единицы, чья активность заметно повысилась. По словам исследователей, мозг оказался еще более пластичным, чем они думали.



От мозга к мозгу

В отличие от печально известного исследования «передачи душ» под руководством К.В. Судакова («Химия и жизнь», 2012, № 9), результат работы команды Мигеля Николелиса, о которой сейчас пойдет речь, выглядит вполне проверяемым и научно обоснованным. Через десять лет после интерфейса мозг-компьютер, который позволял обезьянам двигать курсором без рук, сотрудники лаборатории Николелиса создали интерфейс мозг-мозг и смогли с его помощью передать сигналы нейронов от одной крысы к другой (Vieira M et al., «Scientific Reports», 2013, 3:1319, doi:10.1038/srep01319). Метод работал даже тогда, когда животные находились в разных странах: одно в Международном институте нейронаук города Натал в Бразилии, другое — в Университете Дьюка в США.

Расшифровать электрические сигналы мозга животного и на их основе построить математическую модель — дело непростое, но возможное. А как насчет другого мозга? Сможет ли он распознать, что закодировано в импульсах нейронов собрата?

В экспериментах под руководством бразильца — смог. В первой серии опытов крыс разделили на две категории: «кодировщики» и «расшифровщики». И у тех, и у других микроэлектроды в виде тончайших проволочек были встроены в моторную кору. Они могли регистрировать сигнал от нейронов или, наоборот, стимулировать эти клетки. Каждое животное сидело в отдельной экспериментальной камере. Кодировщиков обучали простому условному рефлексу: нажимать на тот рычажок из двух, над которым загоралась лампочка. Если животное выбирало правильный рычаг, оно получало капельку сока. Расшифровщики не знали, как действовать в такой ситуации. Но их цель была другой: научиться воспринимать электрические сигналы от микроэлектродов в коре.

В тот момент, когда животные научились справляться со своими задачами почти безошибочно, в дело включался интерфейс мозг-мозг (рис. 3). На сей

раз в каждом эксперименте грызуны, которым перед этим несколько часов не давали пить, работали в паре. Кодировщик вновь нажимал на рычаг под включенной лампочкой и получал за это свой сок. В этот момент электроды регистрировали активность его нейронов, а преобразователи переводили ее в последовательность сигналов, которую затем передавали животному-расшифровщику. Крыса-расшифровщик в это время сидела в другой камере и видела перед собой два рычага и сразу две зажженные лампочки. Сигналы от микроэлектродов побуждали животное нажимать на левый или правый рычаг. Если расшифровщик выбирал рычаг с той же стороны, что и кодировщик, то обе крысы получали награду.

Грызун-кодировщик в этом опыте выполнял львиную долю работы, зато и подкрепление получал в двойном объеме. Правда, только тогда, когда товарищ понимал его правильно, — а так было в 70% случаев. Если расшифровщик ошибался и нажимал не на тот рычаг, при следующей попытке крыса-кодировщик каким-то образом подавала более четкие сигналы без «нейронного шума», которые второму животному было проще понять. И действительно: после провальной попытки расшифровщики всегда исправлялись и почти никогда не ошибались дважды.

Оказалось, что помимо сигналов движений животные могут передать и распознать ощущения, притом точно таким же способом. Во второй серии

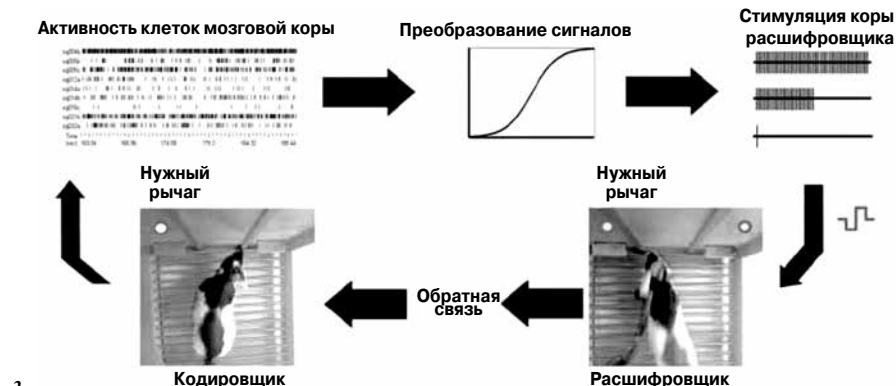
экспериментов кодировщик пользовался своими вибриссами. Как известно, вибриссы (усы) у млекопитающих — это органы чувств, и ощущения, которые они воспринимают, похожи на те, что дают нам подушечки пальцев. В опыте крыса-кодировщик должна была оценить с помощью вибрисс ширину отверстия и в зависимости от того, широкое оно или узкое, повернуть голову направо или налево. Если грызун поворачивал голову в нужную сторону, ему, как и в опыте с рычажками, давали капельку сока. На сей раз электроды находились в сенсорной коре животных, которая анализирует информацию о прикосновениях от вибрисс. Суть опыта оставалась той же: сигналы нейронов коры кодировщика преобразовывались в электрические стимулы, которые подавали на ту же область мозга расшифровщика. И в этом случае второе животное с вероятностью 65% правильно выбирало, в какую сторону повернуть голову, руководствуясь только командами от стимулятора. В эксперименте расшифровщик не видел перед собой норки и не трогал ничего вибриссами.

Сам Мигель Николелис отмечает, что мозг крысы-расшифровщика реагировал не только на сигналы непосредственно от коры больших полушарий кодировщика, но и на прикосновение к вибриссам другого животного. Это значит, что в мозге грызуна-расшифровщика сложился образ тела товарища.

Если уж у нас получилось объединить два мозга, то теоретически ничто не запрещает сделать сеть из множества животных и множества органов. Скорее всего, система, которая получится при таком объединении, будет иметь собственные уникальные свойства. Какие, мы пока сказать не можем. Но о потенциале такой мозговой сети вполне можно пофантазировать, учитывая то, что людей на планете 7 миллиардов, а нейронов в мозге каждого из них — в 10 раз больше.

Наука без проводов

Нобелевский лауреат Эрик Кандель в своей книге «В поисках памяти» (она вышла на русском языке в переводе П.Петрова) признается, что когда он в





4

Устройство для записи электрических сигналов клеток коры мозга обезьян: а — модель одного кубика микроэлектродов; б — вид сверху устройства, объединяющего кубики; в и г — общие схемы устройства электродных «шапок» (Schwarz D. et al., «Nature Methods», 2014)

1960-х стал изучать нервную систему моллюсков, то почувствовал облегчение. Ведь записать электрическую активность даже нескольких нейронов гиппокампа кошки — а именно этим занимался Кандель до исследований на аплизиях — тогда было очень сложно. Многие эксперименты не получались совсем, а те, которые приносили хоть какие-то результаты, могли длиться сутками.

Сейчас ситуация изменилась. Микроэлектроды, которые погружают в толщу мозга животных, часто объединяют на пластинке по несколько десятков штук. Если бы в Книге рекордов Гиннесса была подходящая номинация, то в ней, безусловно, победила бы одна из недавних работ лаборатории Мигеля Николелиса (Schwarz D. et al., «Nature Methods», 2014, doi: 10.1038/nmeth.2936). Ученым удалось подключиться к максимальному числу клеток мозга макаки-резуса (1874 нейрона!) и при этом одновременно записать активность 500 нейронов. А самое интересное то, что во время записи обезьяна не находилась под наркозом, как кошки Канделя, а могла двигаться совершенно свободно: ее голову и регистрирующую установку не связывали никакие провода.

Как удалось зарегистрировать сигналы от стольких клеток сразу? Одна из причин — особое расположение микроэлектродов. В этом опыте они не находились на пластинке, а входили в состав кубика из полиамидных трубочек (рис. 4). В первых версиях кубика электроды не могли двигаться друг относительно друга. Позже они стали подвижными, что позволило уменьшить повреждения мозговой ткани, вызванные проникновением микропроводов. За счет этого срок работы электродов увеличился по сравнению с предыдущими исследованиями: животные жили с имплантированными кубиками-регистраторами минимум год, максимум пять лет. Такое время эксперимента, конечно, не сравнить с опытом по падению капли битума («Химия и жизнь» писала об этих опытах, иллюстрирующих относительность понятия о твердом теле: такой капле, чтобы упасть, нужны десятилетия). Но для живого организма, внутрь которого вторглись пока еще до-

вольно грубыми методами, срок вполне приличный.

Всего в эксперименте использовали пять обезьян с разными вариантами строения кубиков электродов и шапочек, эти кубы накрывающих. Все модели были напечатаны на 3D-принтере. В самой сложной версии устройства в мозг макаки внедрили четыре кубика, в каждом из которых было 448 каналов записи. На некоторые из каналов пришлось больше одного нейрона, поэтому в сумме удалось зарегистрировать активность 1874 клеток, а не 1792 (448*4). Кубики располагались в первичной моторной и первичной сенсорной зонах коры в обоих полушариях. (У других животных электродов было меньше, а области коры, в которые поместили кубики, немало отличались.) Это разнообразие и тот факт, что животное во время эксперимента двигалось совершенно свободно, помогли зарегистрировать активность коры во множестве вариантов поведения макаки. В частности, в одном из опытов обезьяна ходила вперед и назад, оборачивалась, брала в руки виноградины, сидела и стояла. У всех этих действий, как показала запись с микроэлектродов, различные нейронные корреляты — режимы активности клеток мозга в той или иной области.

Конечно, эта работа не дала каких-то невероятных прорывных выводов. Да и не для того она задумывалась. Цель такой масштабной записи нейронной активности — proof-of-concept, доказательство возможности. А уж что с этой возможностью дальше будут делать, решать ученым (или их грантодателям).

Вопросы этики

Применение интерфейсов мозг-компьютер, вживленных в кору подопытного животного или больного человека, во многом будет зависеть от этических норм. Как известно, сейчас внедрение электродов в мозг человека проводят крайне редко — только по медицинским показаниям, если все остальные способы лечения не помогли. Поэтому испытание интерфейсов мозг-компьютер почти



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

всегда проводят на животных в моделях конкретных заболеваний, например болезни Альцгеймера или Паркинсона (Yadav A.P. et al., «Scientific Reports», 2014, 4: 3839. doi: 10.1038/srep03839). Впрочем, даже с такими опытами могут возникнуть проблемы, если учесть, что в США уже запретили использовать человекообразных обезьян как лабораторных животных. В других странах роковую роль может сыграть недостаток финансирования, когда покупать и содержать крупных млекопитающих (макак, собак и крыс) станет невозможно.

Как бы то ни было, модели заболеваний — это не сами заболевания, и мы не можем быть до конца уверенными, что изучаем те же самые процессы, которые происходят в организмах людей-пациентов. Особенно это верно для всего, что касается психики. Мы пока не можем сказать точно, какие структуры отвечают за развитие шизофрении или депрессии, хотя предположений довольно много. Другое дело, что все они останутся только догадками до тех пор, пока на больных не будут проведены инвазивные исследования — такие, в ходе которых в работу мозга будут вторгаться извне, нарушая его целостность. Скорее всего, работа экзоскелета BRA-Santos Dumont I была бы еще более впечатляющей, если бы он управлялся не сигналами ЭЭГ, а активностью отдельных нейронов человеческого мозга.

Все же ярым сторонникам прогресса есть на что надеяться, ведь спрос рождает предложение. Самые первые разработки интерфейсов мозг-компьютер прошли 40 лет назад в американских военных лабораториях. Статья группы Мигеля Николелиса об обезьянах, научившихся передвигать курсор только нейронными сигналами, запустила в массовую культуру мысль о том, что возможности нейропротезирования, описанные фантастами вроде Уильяма Гибсона и Нила Стивенсона, вполне реальны. Возможно, демонстрация Walk Again Project на чемпионате мира по футболу станет еще одним «маленьким шагом человека» на этом пути: понимание огромной пользы для людей, которую способны принести интерфейсы мозг-компьютер и нейропротезы, пересилит страхи.



Болезнь Альцгеймера – новая пандемия

В. Благутина

– Внучек, как зовут того немца, от которого я без ума?
– Альцгеймер, бабушка, Альцгеймер.

21 сентября 2014 года в двадцатый раз 70 стран отметили Всемирный день борьбы с болезнью Альцгеймера. Она вполне заслуживает названия чумы XXI века — сегодня число больных во всем мире перевалило за 26 миллионов (чума в XIV веке унесла 25 миллионов); ожидается, что к 2050 году их будет больше 100 миллионов. Если до 65 лет болезнь Альцгеймера поражает одного человека из 1000, то после этого возрастного рубежа — примерно двух — четырех из ста, а после 75 лет — чуть ли не каждого пятого. Это огромные экономические затраты, тяжелейшая нагрузка на близких и общество: ведь с какого-то момента больные становятся совершенно недееспособными, и бремя ухода за ними ложится на семью. Целая армия ученых пытается найти лекарство от этой напасти, но пока его нет, а есть только препараты, немного смягчающие симптомы.

Сначала надо определиться в терминах. Болезнь Альцгеймера называют также старческим слабоумием (по-научному сенильная деменция), а в простонародье «старческим маразмом». На самом деле сенильных деменций несколько, их различают по тому, какую именно зону мозга они поражают. Согласно данным ВОЗ, во всем мире 35,5 миллиона людей страдают старческим слабоумием, а болезнь Альцгеймера — самая распространенная причина слабоумия, 50—70% всех случаев.

В данный момент деменции подразделяют на сосудистые — те, что связаны с атеросклерозом сосудов головного мозга, и атрофические, к которым и относят болезнь Альцгеймера. Однако, возможно, через какое-то время придется признать, что причина у всех деменций одна.

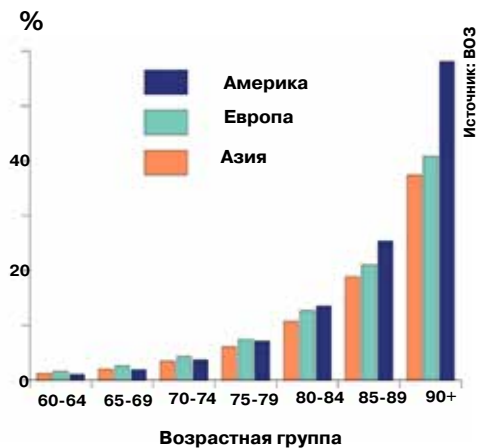
До XX века ее не было?

Конечно, уже в древности старость связывали с ослаблением рассудка.

Греческий врач Аретей из Каппадокии (II век н. э.) отмечал, что психический распад — беда пожилого возраста, причем неизлечимая. Персидский врач и философ Разес (865—925) писал, что у старых людей меланхолия неизбежна. Швейцарский врач Феликс Платер (1536—1614) утверждал, что память пожилых людей неисправна, особенно в том, что касается последних событий, а французский психиатр Жан Эскироль (1772—1840) описал психические изменения, происходящие с возрастом: ухудшается память, внимание удерживается только на короткий промежуток времени, нарастает усталость, движения становятся медленными, увеличивается раздражительность и неразумность.

В 1906 году немецкий психиатр Алоис Альцгеймер (1864—1915) выступил с докладом о случае из своей практики. Пациентка, Августа Детер, скончалась в возрасте 51 года, причем в ее мозге обнаружился дефицит нейронов и в нем сформировались странные отложения, а также волокна, которые выявляло специфическое окрашивание. Позднее аналогичные изменения были обнаружены у других пациентов, как самим Альцгеймером, так и другими врачами. Впервые эти описания появились в учебнике по психиатрии Эмиля Крепелина в 1910 году, и тогда же был официально зафиксирован термин «болезнь Альцгеймера». До 1950 года это название лишь изредка появлялось в индексах медицинских изданий, а диагноз ставили в основном молодым — тем, кто заболел до 65 лет. Почему же до середины XX века сенильная деменция (включая болезнь Альцгеймера) привлекала так мало внимания? И что произошло во второй половине XX века, отчего количество больных с этим диагнозом начало существенно и прогнозируемо расти?

Одни полагают, что болезнь была всегда, просто теперь ее признали и научились диагностировать. Другие говорят, что ответ очевиден: увеличилась продолжительность жизни, население постарело, болезнь получила время, чтобы развиваться. Возрастной фактор в



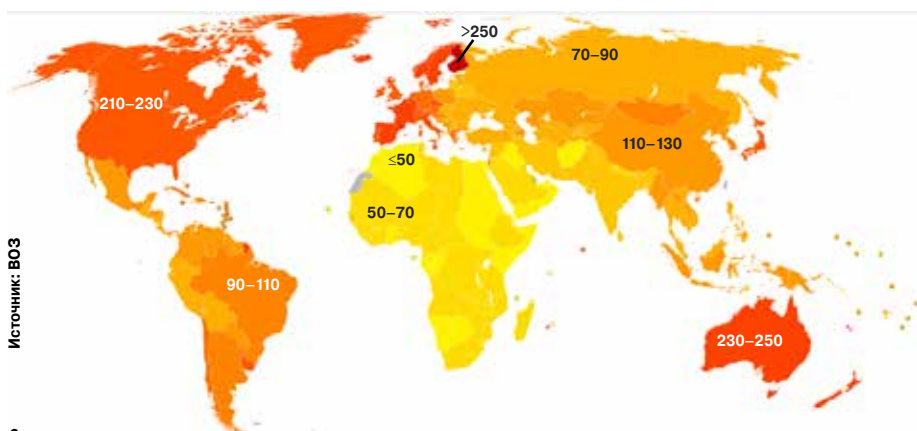
1
Разница в заболеваемости в разных возрастных группах по континентам подтверждает, что возраст — не единственная причина болезни Альцгеймера. В Европе больше больных по сравнению с Азией (может быть, все дело в генетике?) а в возрастной группе после 80 лет лидирует Америка

самом деле налицо: вероятность заболеть болезнью Альцгеймера сильно возрастает после 65 лет (см. таблицу). Но статистика преподносит и сюрпризы. Если сравнить число умерших от болезни Альцгеймера на 100 тысяч человек в развитых странах с их ожидаемыми сроками жизни, то в США при ожидаемых сроках 75,6 лет — смертность 24,6, в Швейцарии при 79,3 — только 20, в Финляндии ожидаемый срок жизни, почти как в США, 75,9 лет, но смертность 34,9, а в Швеции при 78,9 лет от Альцгеймера умирает сравнительно немного — 21,9 человек (рис. 1). Значит, не везде продление жизни увеличивает частоту этого заболевания?

Возраст явно не единственная причина. Так, известно, что высокоразвитая Япония — исключение из правил, в ней почти в десять раз меньше страдающих болезнью Альцгеймера по сравнению с Францией, но зато так же много больных

Заболеваемость у лиц старше 65 лет

Возраст	Заболеваемость (новые случаи) на тысячу человеко-лет
65-69	3
70-74	6
75-79	9
80-84	23
85-89	40
90+	69



2
Годы жизни, потерянные по нетрудоспособности при болезни Альцгеймера и других деменциях на 100 000 населения в 2004 году

сосудистой деменцией, то есть другими видами старческого слабоумия. В США — стране, где вообще повышенный процент таких больных (их там 5,4 млн.), — среди афро-американского и испанского населения их в два раза больше, чем среди англо-саксонского (рис. 2).

Можно строить теории о генетической предрасположенности тех или иных народов, но генетика пока не дает ответ на этот вопрос. Идентифицированы десятки генов, ответственных за раннее начало заболевания, но распространенную возрастную форму пока не могут объяснить найденными мутациями. Показательно, что у большинства страдающих болезнью Альцгеймера в роду не было других больных, а значит, гены могут давать только повышенный риск, не более. Самый известный генетический фактор риска — наследуемая аллель E4 гена APOE, с ней связывают до половины случаев поздней болезни Альцгеймера, но при этом генетики полагают, что многие другие гены могут в какой-то степени способствовать либо препятствовать ее развитию.

Ученые склоняются к тому, что на болезнь Альцгеймера могут сильно

3
Ферменты разрезают трансмембранный белок APP на кусочки, один из которых играет ключевую роль в формировании амилоидных бляшек при болезни Альцгеймера



влиять факторы окружающей среды. Это подтверждает статистика по японцам, которые после эмиграции через несколько десятилетий показывают такой же высокий процент заболеваемости, как в среднем по стране, в которую уехали. Вообще говоря, теорий происхождения болезни Альцгеймера довольно много. В числе ее возможных причин называли алюминиевую посуду, которую активно использовали после Второй мировой войны, отупляющий телевизор, тяжелый рок, сейчас пытаются выяснить, не находятся ли в группе риска больные ожирением, сахарным диабетом, гипертонией, те, кто ведет малоподвижный или малообщительный образ жизни, и т. п. Но пока что статус пандемии, присвоенный Всемирной организацией здравоохранения, у этой болезни уже есть, а с причинами все еще не очень понятно.

На уровне клеток

Напомним основные признаки болезни Альцгеймера: мозг теряет нейроны и в этих участках происходит атрофия и дегенерация участков мозга. Также в мозге формируются амилоидные бляшки и нейрофибриллярные клубки. Многие исследователи делают упор именно на изучение этих биохимических изменений, а амилоидная гипотеза, предложенная Харди и Хиггинсом в 1992 году, остается ведущей в развитии болезни Альцгеймера (Hardy J.A., Higgins G.A., «Science», 1992, 256, 5054, 184—185).

Амилоидные бляшки — это плотные белковые отложения внутри и снаружи

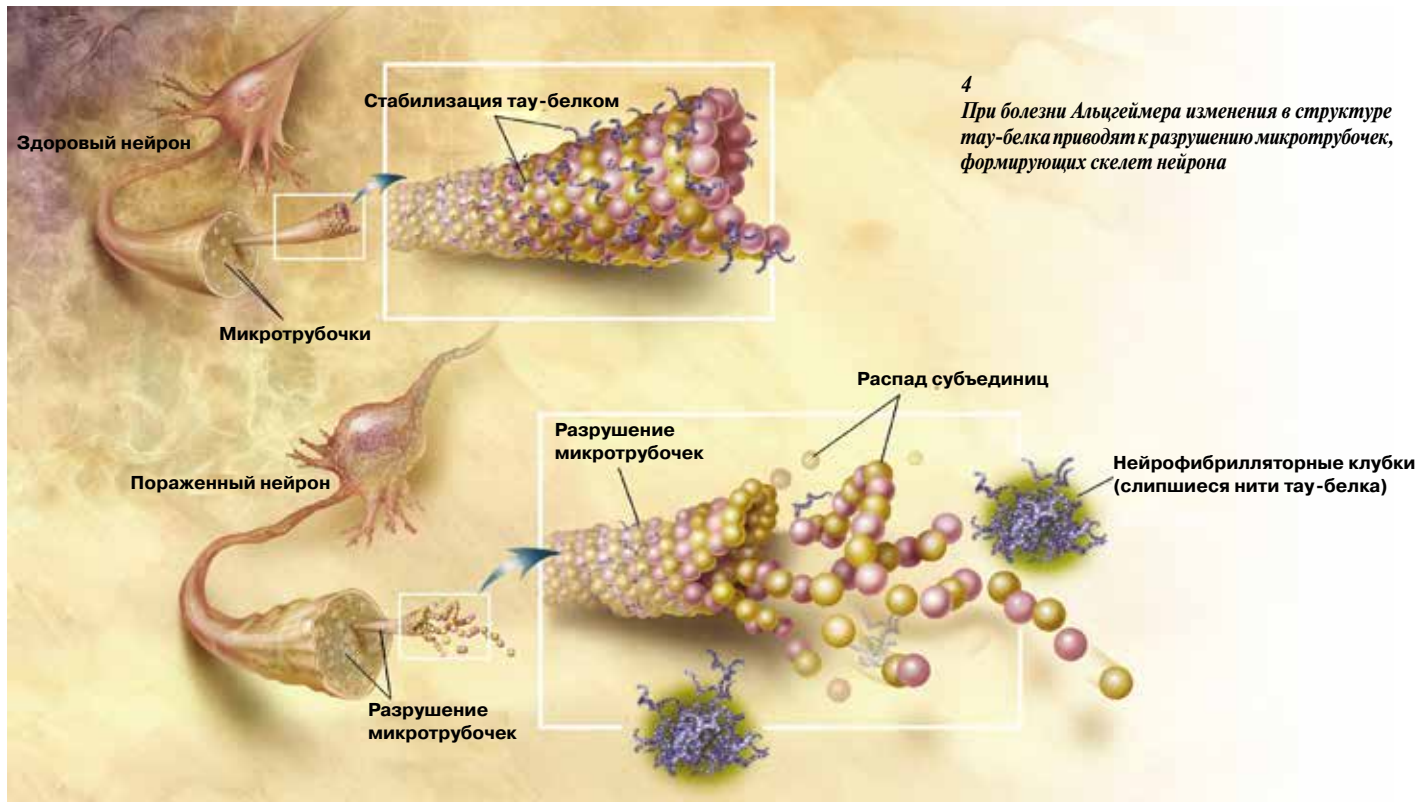


нейронов, содержащие, в частности, так называемый бета-амилоидный белок (он же бета-амилоидный пептид, или просто бета-амилоид). Образование бляшек изучено довольно хорошо. Есть такой трансмембранный белок APP, играющий важную роль в росте нейрона и его восстановлении после повреждений. При болезни Альцгеймера по неясной причине ферменты разрезают APP на пептиды, которые и слипаются в бляшки. Эти образования влияют на нейроны напрямую, повреждая их, нарушая их нормальное взаимодействие и вызывая воспаление. Кроме того, они влияют и косвенно, производя свободные радикалы и вызывая окислительный стресс, который также приводит к дегенерации и гибели нейронов (рис. 3).

Второй характерный признак — образование клубков тау-белка. В норме этот белок наряду с другими входит в состав микротрубочек, формирующих цитоскелет нейрона. При болезни Альцгеймера тау-белок избыточно фосфорилируется, из-за чего его нити начинают взаимодействовать друг с другом, слипаться в нейрофибриллярные клубки и разрушать транспортную систему нейрона (рис. 4).

Проблема в том, что до сих пор неясно, первично или вторично образование этих бляшек и клубков в болезни Альцгеймера и как именно они вызывают патологические отклонения. Например, есть больные с явно выраженными скоплениями амилоидных бляшек, но без клинических проявлений болезни. А не так давно появилась гипотеза, согласно которой ско-





4

При болезни Альцгеймера изменения в структуре тау-белка приводят к разрушению микротрубочек, формирующих скелет нейрона

пления тау-белка не губят клетку, — это, наоборот, ее защитная реакция.

Болезнь Альцгеймера пытались исследовать с самых разных сторон. Множество работ посвящено дефициту ацетилхолина в мозге больных сенильной деменцией, а также избытку глутаминовой кислоты в их нервных клетках. Проверялась теория о том, что алюминий, железо и ртуть, попавшие в организм тем или иным способом, катализируют образование свободных радикалов и вызывают окислительный стресс. Кроме того, в мозге страдающих болезнью Альцгеймера зафиксированы окисление белков, перекисное окисление липидов и другие биохимические отклонения, а также изменения в капиллярах и глии (вспомогательных клетках нервной ткани)... При огромном количестве экспериментальных статей, обзоров и монографий до сих пор не существует общей теории, которая объединяла бы исследования по генетике (определяющей состояние мозга), влияние внешних факторов риска и непосредственных причин (дефекты сосудов и прочее).

«Сосудистая» гипотеза

Профессор Чарльз Амброуз (университет Кентукки, США) считает, что причиной болезни Альцгеймера может быть уменьшение плотности капилляров в мозге, которое, в свою очередь, вызывается самыми разными причинами (Ambrose C. T., «Neuroangiogenesis: A vascular basis for Alzheimer's disease and cognitive decline during aging. «Journal of Alzheimer's Disease», 2012, 32, 773—788). С возрастом не только сокра-

щается количество капилляров, но начинает также не хватать факторов нейроангиогенеза — веществ, ответственных за обновление старых и формирование новых капилляров.

На этот вывод профессора Амброуза натолкнули исследования концертирующих пианистов, которые упражняются по многу часов в день. Многочисленные экспериментальные данные говорили в пользу того, что исключительная ловкость дающих регулярные концерты пианистов, виртуозно управляющих своими руками и ногами, связана не только с увеличением синаптических связей в их моторной коре, но и с увеличением локальной плотности капилляров. Логично было предположить, что уменьшение той же плотности может приводить к угасанию функций мозга у пожилых людей.

Исследование микрососудов головного мозга началось в начале 1920-х годов — пионером в этой области был биолог из университета Торонто Эдвард Хорн Крейджи (1894—1989). Он измерял плотность капилляров (то есть сосудов диаметром меньше 12 мкм) в различных частях мозга самцов крыс-альбиносов, делая его тончайшие срезы (2—6 мкм). Это и многие другие исследования позволили составить картину роста и деградации капилляров мозга.

У крыс капилляры активно формируются во всех областях коры больших полушарий (лобной, теменной, затылочной, височной и островковой) с рождения до 21-го дня, потом рост идет медленно. В височной доле плотность капилляров начинает уменьшаться уже

после трех месяцев, а в островковой после пяти. В трех остальных областях максимум плотности достигается в 13 месяцев, а потом также постепенно падает. У старых крыс (28—33 месяцев) число капилляров на кубический миллиметр примерно на треть меньше по сравнению с молодыми (830 против 577). Исследователи измеряли и другие параметры коры (число нейронов, глиальных клеток, состояние сосудов), причем оказалось, что эти «комбинированные показатели» с возрастом тоже снижаются.

Когда мозг полностью сформировался, состояние микрососудов зависит от того, как сменяются эндотелиальные клетки, выстилающие внутреннюю поверхность капилляров. Насколько часто обновляется эндотелий в мозге животного и человека, точно не известно, но можно с уверенностью сказать: обновление капилляров происходит, и руководят им ангиогенные факторы в головном мозге.

У человека церебральные капилляры быстрее всего растут и формируются от 3 до 6 лет — в лобных долях и от 6 до 15 лет — в височно-теменной. Так, плотность капилляров в лобной доле новорожденных — 98,4 капилляра на квадратный миллиметр, а у взрослого — 290. Примерно после 50 лет при нормальном старении плотность начинает понемногу уменьшаться. (Конечно, на людях проводить подобные исследования не так просто. Кое-что известно благодаря биопсиям, которые берут в специальных случаях.) Но что происходит с капиллярами у страдающих болезнью Альцгеймера?

В среднем у них мозговых капилляров меньше, чем у здоровых людей того же возраста. При этом снижение их числа неодинаково в разных областях мозга. Больше всего разница для базальных отделов переднего мозга (расположенных рядом с лобными долями) — там у здоровых по сравнению с больными того же возраста в два раза выше плотность микрососудов (87 и 43). Также у тех, кому удалось избежать деменции, почти на треть больше плотность капилляров в гиппокампе — 82 к 50 (гиппокамп расположен в глубине височных долей, участвует в формировании эмоций и памяти), а вот для других отделов (префронтальная, моторно-сенсорная) разница меньше, хотя тоже есть. Получены данные, что процентное соотношение поверхности капилляров к поверхности коры для молодых людей — 26,32 %; пожилых — 18,95 %; и пациентов с Альцгеймером — 16,50 %.

А что же с фактором, способствующим росту новых капилляров? Британский офтальмолог Айзек Сезар Михаэльсон (1903—1983) много лет изучал рост капилляров в сетчатке кошек и человека и первым в 1948 году заявил о существовании фактора роста сосудов. Образование новых сосудов — нормальный процесс в организме. Без него невозможны развитие эмбриона и плода, формирование фолликулов яичников и желтого тела во время овуляции, развитие плаценты, заживление переломов и ран. Наконец, ангиогенез определяет плотность капилляров в мозге, их «техническое обслуживание» и старение.

После 70-х годов XX века довольно быстро были выделены различные эндотелиальные факторы роста. Например, фактор роста фибробластов (FGF), один из самых распространенных — фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), эпидермальный фактор роста (EGF) и другие. Какой из них ключевой? Непонятно. Но есть данные, что при болезни Альцгеймера понижена активность VEGF и его молекулы локализуются вокруг сосудов, как бы пытаясь скомпенсировать свою недоработку. Есть также исследования, в которых показано, что эндотелиальный фактор роста концентрируется у больных вокруг амилоидных бляшек и, возможно, это приводит к его дефициту в остальных отделах мозга.

Возможная терапия

На поиски лекарства от болезни Альцгеймера потрачены миллиарды долларов, сотни препаратов находились на стадии клинических испытаний, а положительных результатов все еще нет. Почему бы не рассмотреть и эту возможность? Подход с использова-

нием факторов роста сосудов может быть перспективен не только для этого заболевания, но и для заживления ран, переломов и во многих других случаях.

Мышам не один раз пробовали ввести очищенные ангиогенные факторы, и результаты получились интересные. Так, три лабораторные группы вводили крысам с закупоркой самой крупной артерии мозга — средней мозговой, сонной артерии — рекомбинантный фактор роста VEGF двумя путями: наносили на поверхность мозга или вприскивали в боковой желудочек головного мозга. У тех, кто получил фактор роста, область поражения была существенно меньше, чем в контроле. Исследователи констатировали образование новых капилляров, у испытуемых улучшались моторные функции и память. Другие исследователи вводили тот же эндотелиальный фактор роста мышкам с черепно-мозговой травмой в боковой желудочек мозга — после этого сокращался объем пораженной зоны и наблюдался рост делящихся клеток в этой области. У животных с повреждениями мозга после введения VEGF в желудочек, прилегающий к травме, на время несомненно уменьшался церебральный дефицит. Инъекции VEGF трансгенным мышам, моделирующим болезнь Альцгеймера, вызвали временное формирование сосудов и увеличение числа микрососудов.

Конечно, мозговые травмы и закупорка сонной артерии, описанные выше, не идеально моделируют медленно развивающееся слабоумие. Тем не менее такие исследования на животных позволяют предположить, что факторы роста сосудов могут помочь человеку замедлить или смягчить возрастные процессы.

На самом деле поврежденному мозгу нужен не один фактор роста, а целый «коктейль» из разных веществ, чтобы правильно сформировать капилляры и починить старые. Вводить их можно внутривенно или через поверхность мозга, а также давать больному вдыхать их. Такие пробные эксперименты уже проводились. Правда, при внутривенном введении VEGF есть риск, что рост сосудов начнется в другом, ненужном месте. Необходима адресная доставка в мозг. Для этого можно факторы роста связать с антителами, специфичными к поверхностным антигенам на эндотелиальных клетках капилляров. Мышкам вводили связанный с антителами фактор роста нервных клеток NGF и действительно обнаружили его потом в мозге. Также факторы роста можно внедрять в мягкую мозговую оболочку, покрывающую кору, специально связав эти соединения с медленно рассасы-



ГИПОТЕЗЫ

вающимися полимерами. Для этого достаточно прокрутить несколько дырок в голове, что делается сейчас довольно просто за 20 минут. Такой подход также уже использовали, чтобы адресно доставить противораковый препарат после удаления глиальной опухоли в мозге. Здесь есть где разгуляться фантазии, если понятно, как именно можно «починить» угасающий мозг.

Сосудистая гипотеза имеет немало преимуществ. В ее рамки аккуратно укладываются многие уже известные данные. Например, капиллярная плотность в мозге со временем уменьшается у всех, но у людей с генетической предрасположенностью это может происходить быстрее. Плюс ко всему естественный процесс может ускоряться любыми неблагоприятными факторами окружающей среды. Если эта гипотеза окажется верной, появятся новые пути профилактики и лечения болезни Альцгеймера и других сенильных деменций.

А пока истинной причины не нашли, надо не лениться заниматься профилактикой. Правда, не доказано, что от болезни Альцгеймера могут спасти диета, работа, социальная активность, движение и регулярный сон, хотя об этом много пишут в Интернете. Возможно, скорее помогут интеллектуальные занятия — настольные игры, кроссворды, игра на музыкальных инструментах (вспомните пианистов!). Есть данные, что владение двумя языками способно замедлить наступление болезни либо смягчить ее развитие. И конечно же нужно больше читать — хорошие стихи и прозу, а также научно-популярные журналы. Тот, кто прочел эту статью и теперь может рассказать друзьям о гипотезе профессора Амброуза, свою антивоозрастную гимнастику выполнил.

Статья подготовлена по материалам публикации в «American Scientist» (2013, 101, 3, 194).

Легко ли быть миниатюрным

Доктор биологических наук

А.А.Полилов,

кафедра энтомологии биологического факультета
МГУ им. М.В.Ломоносова

Цена миниатюризации

Миниатюризация (уменьшение размеров тела) — одно из основных направлений эволюции. Крошечным существам нужно совсем немного пищи и энергии, проще найти укрытие. Паразитам миниатюрные размеры дают возможность развиваться в яйцах других животных, в том числе несколькими особям в одном яйце. В некоторых случаях меньшие размеры позволяют ускорить жизненный цикл и смену поколений.

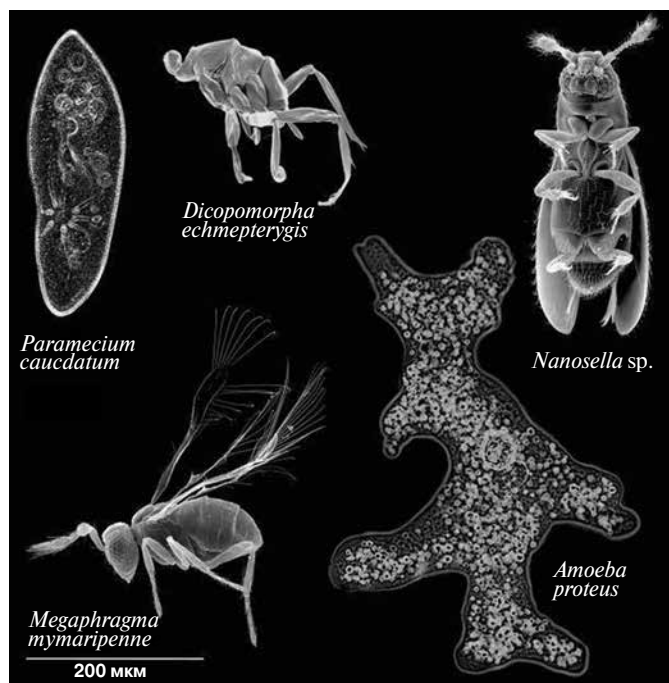
Насекомые продвинулись по пути миниатюризации дальше других животных. Длина тела крупнейших и мельчайших представителей таксона порой отличается в 2000 раз. У млекопитающих этот разброс меньше, голубой кит длиннее карликовой бурозубки всего в 800 раз. Крошечные насекомые разнообразны и многочисленны. Виды с длиной тела меньше 2 мм встречаются в 220 семействах, менее 1 мм — примерно в сотне семейств. Многие из них сравнимы по размеру с одноклеточными животными (рис. 1).

Сейчас известно несколько тысяч видов микронасекомых, и любая экспедиция приносит несколько десятков новых. Сколько их всего, сказать трудно. Десятки тысяч — точно.

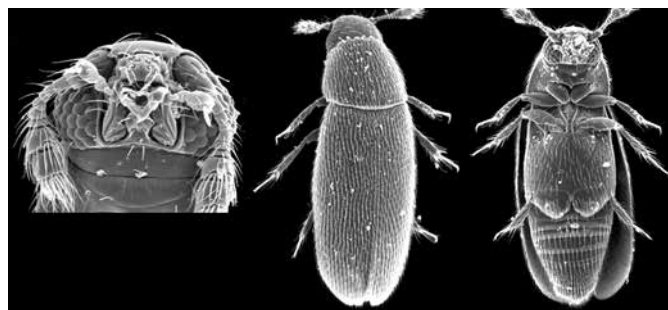
Самые маленькие из свободноживущих насекомых — жуки семейства Ptiliidae (перокрылки), обитающие в лесной подстилке, трухлявой древесине, гниющем сене, трутовых грибах. Длина жуков *Nanosella* sp. и *Scydosella* sp. всего 0,3 мм. Еще мельче паразитические перепончатокрылые (Hymenoptera), которые откладывают яйца в яйца других насекомых. У крошечного паразитического наездника *Dicopomorpha echmepterygis* из семейства Mymaridae длина тела всего 0,14 мм, у наездника-яйцеда *Megaphragma caribea* (семейство Trichogrammatidae) — 0,17 мм.

Для исследования мельчайших насекомых не годятся традиционные методы энтомологов. Такое крошечное существо невозможно анатомировать, а плотная непрозрачная кутикула мешает рассмотреть его внутреннее строение. Поэтому нам приходится использовать методы, чаще применяемые для исследования микроорганизмов. Это фазово-контрастная микроскопия (метод оптической микроскопии, позволяющий видеть прозрачные объекты) и электронная микроскопия, изучение срезов в твердых полимерных средах, микротомография. С их помощью можно получить трехмерные модели насекомых и на их основании изучать сравнительные объемы внутренних органов.

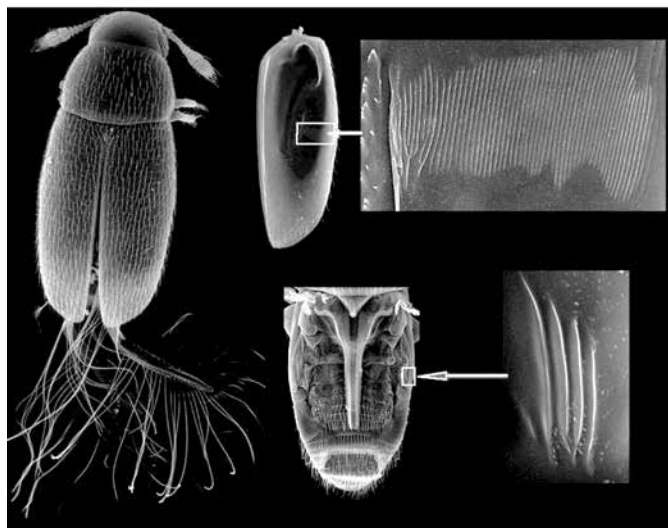
Размер — одна из фундаментальных характеристик живых объектов и во многом определяет их морфологию, биологию, физиологию и, может быть, даже биохимию. Подавляющее большинство известных мельчайших насекомых внешне устроены так же сложно, как и их более крупные собратья по таксону. На рис. 2 видно, что жук *Nanosella*, хотя его длина 0,3 мм, имеет все, что положено жуку нормального размера: антенны, ноги,



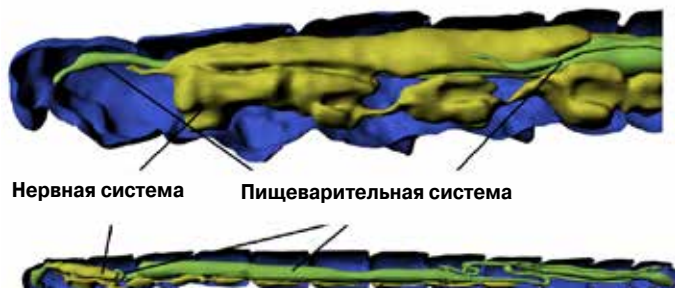
1
Мельчайшие насекомые сравнимы по размеру с одноклеточными животными



2
Так выглядит под электронным микроскопом мельчайшее свободноживущее насекомое, жук *Nanosella* (слева — голова крупным планом)



3
Nanosella и ее стрингуляционный орган: складки на внутренней стороне надкрыльев (сверху) и гребни на склеритах грудного отдела (внизу)



Нервная система Пищеварительная система

4

Личинка жука Mikado (Ptiliidae) первого (вверху) и последнего возраста. У личинки первого возраста нервные ганглии, которые должны быть в голове, смещаются в грудной отдел, чтобы освободить место для мышц ротового аппарата. Когда личинка подрастает, место в голове освобождается, и нервные ганглии возвращаются туда, где должны находиться.

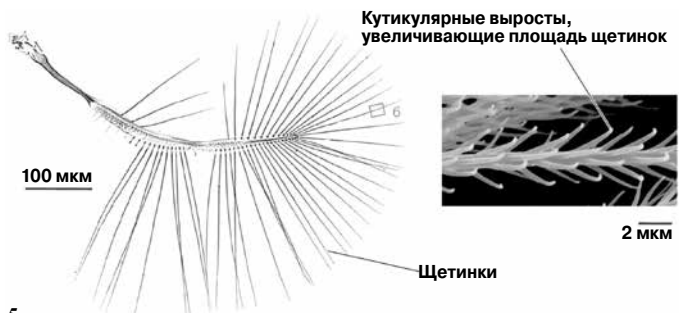
крылья, надкрылья. Ротовой аппарат таких жуков иногда устроен сложнее, чем у крупных. Есть, правда, отдельные слияния и упрощения в скелете, но общей картины они не меняют.

Крошечные перокрылки имеют структуры, которых нет у других насекомых. В частности, у них были обнаружены поля складок с внутренней стороны надкрыльев и соответствующие им гребни на склеритах (хитиновых щитках, покрывающих каждый сегмент тела насекомого) грудного отдела (рис. 3). Это абсолютно точная копия стрингуляционного органа кузнечика, только в тысячу раз уменьшенная. Во Вьетнаме нам удалось записать звук, который, видимо, издают жуки с помощью этого органа. К сожалению, качество записи таково, что проанализировать ее нельзя. Не удастся пока найти органы слуха, но они должны быть, если насекомые издают звуки. У крупных жуков ничего подобного нет.

Личинки перокрылок устроены так же сложно, как и личинки крупных насекомых, за исключением того, что у них отсутствуют оформленные элементы скелета — все покровы мягкие. Благодаря этому личинка может хотя бы частично переходить к кожному дыханию: оно необходимо, потому что вместе с редукцией скелета происходит редукция трахейной системы.

Кишечник у личинок миниатюрных жуков типичный для насекомых обычного размера, а нервная система своеобразна (рис. 4). Головной мозг у личинки первого возраста перемещается в грудные сегменты, освобождая голову для более важных органов — мышц, управляющих ротовым аппаратом.

Вторая группа объектов, с которыми мы работаем, — паразитические перепончатокрылые, наездники-яйцееды. Взрослое насекомое свободно летает и практически не питается, а яйца откладывает в яйца насекомых, где и развиваются личинки. Внешнее строение взрослых наездников достаточно сложное, без следов упрощения, а во внутреннем не обошлось без сюрпризов. У них, как и у других миниатюрных насекомых, сохраняется почти полный набор мускулатуры, сотни мелких мышц. Одна из летательных мышц, которая обычно относительно невелика и находится в одном из грудных сегментов, у всех представителей семей-



5

Слева крыло жука Primorskiella (Ptiliidae), справа увеличенный фрагмент одной из щетинок

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

ства Trichogrammatidae огромна, она доходит до сегментов брюшка и по объему больше, чем вся остальная мускулатура, вместе взятая, больше мозга или пищеварительной системы. Непонятно, зачем этому насекомому такая большая мышца там, где все упирается в экономию места (длина мышцы не влияет на ее силу).

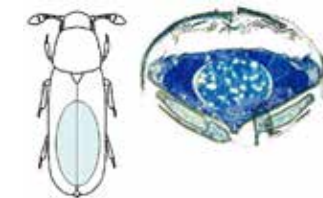
У всех миниатюрных насекомых удивительные крылья (рис. 5). Если у обычных насекомых они представляют собой пластинку, поддерживаемую сетью жилок, то у микро-насекомых от этой пластинки остается лишь узкая полоска, и основную машущую плоскость крыла образуют щетинки. На них есть выросты, которые увеличивают площадь крыла. В процессе миниатюризации крылья сужаются, щетинки удлиняются. Щетинки можно уподобить бородам первого порядка птичьего пера, а выросты на них — бородам второго порядка. Благодаря такому удивительному строению крыльев получили свое название жуки-перокрылки. У этих жуков есть специальные механизмы, позволяющие убирать, чистить и защищать крылья.

У многих миниатюрных насекомых отсутствует сердце, а гемолимфа вытеснена жировым телом, и транспорт питательных веществ осуществляется за счет диффузии. Такое же изменение встречается у некоторых мелких нематод и клещей.

Масштабирование при миниатюризации

Поскольку разброс размеров внутри класса насекомых велик, на них удобно рассматривать не только проблемы миниатюризации, но и вопросы, связанные с масштабированием органов, тканей и клеток, то есть с тем, пропорционально ли меняются объемы органов при изменении объемов тела.

Проанализировав трехмерные модели 22 видов насекомых из 11 семейств из 5 отрядов, мы выяснили, что часть органов, например наружный хитиновый скелет, при уменьшении размеров тела сохраняет относительный объем. У других органов и тканей, таких, как мускулатура и кишечник, относительный объем при миниатюризации уменьшается. Это возможно потому, что эффективность работы мышцы зависит от площади поперечного сечения, а кишечника — от площади его всасывающей поверхности, но поскольку площадь меняется медленнее, чем объем, их эффективность при миниатюризации даже увеличивается.



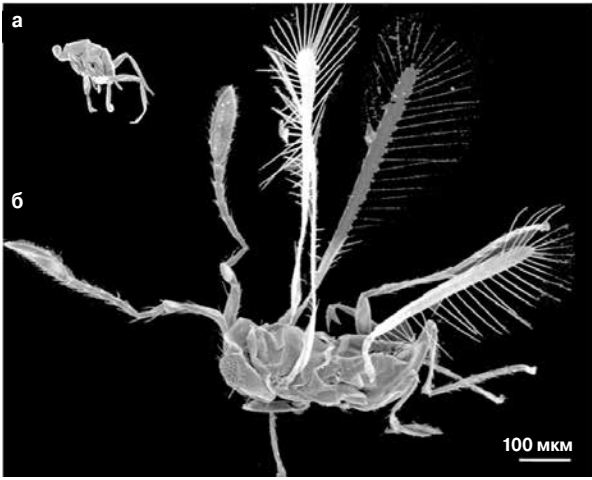
6

Жуки-перокрылки откладывают очень большие яйца. Слева — поперечный срез тела самки Nanosella, в центре яйцо. Справа — относительные размеры яйца и взрослого насекомого

Наибольший интерес представляют половая и нервная системы, объем которых возрастает в разы. Начнем с половой системы. У миниатюрных свободноживущих насекомых относительный объем яйца увеличивается по сравнению с большими. Миниатюрные перокрылки откладывают только одно яйцо, и оно занимает более половины тела самки (рис. 6). Для

Число нейронов в мозге взрослых насекомых

Отряд	Крупные и примитивные	Мелкие	Мельчайшие
Psocoptera (сеноеды)	62 000	9100	
Coleoptera (жуки)	49 000 – 60 000	12 000 – 26 000	8 000 (<i>Nanosella</i>)
Хymenoptera (перепончатокрылые)	43 000 – 153 000	8 000 – 17 000	4 600 (<i>Megaphragma</i>)



7
Самец (вверху) и самка *Dicopomorpha echmepterygis*

формирования такого яйца необходим колоссальный объем половой системы. Эти жуки живут долго, несколько месяцев, потому что им нужно отложить определенное количество яиц, но они обитают в питательных субстратах и могут быстро наесть массу, необходимую для формирования яйца.

Еще одна проблема, с которой сталкиваются при размножении миниатюрные жуки, — размещение сперматозоида. У некоторых жуков он гигантский, в два раза длиннее самца, подвижный, с настоящим хвостом. Как он помещается в половой системе самца, еще можно представить, но как происходит копуляция и как он переползает в самку — большая загадка. Непонятно, зачем одному из самых маленьких насекомых такой сперматозоид, хотя многие обычные жуки обходятся бесхвостыми спермиями, в разы меньшими.

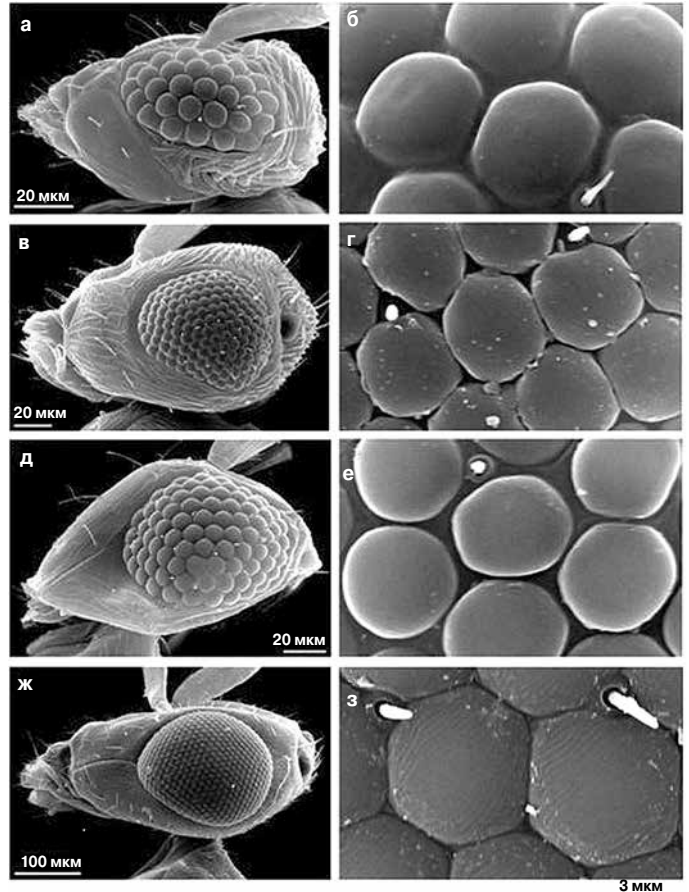
Крошечным паразитическим перепончатокрылым нет необходимости так увеличивать относительный объем половой системы. Связано это с тем, что их личинки живут в яйце хозяина и им не нужны ни органы движения, ни запасы желтка в собственном яйце, потому что они пользуются запасами хозяина. По сути, личинки паразитических перепончатокрылых — это мешочки с кишечником, поэтому размеры яиц и половой системы у них меньше, чем у свободноживущих.

В некоторых случаях миниатюрные насекомые отказываются почти от всего, за исключением половой системы. Самец мельчайшего наездника *Dicopomorpha echmepterygis* предельно минимизирован (рис. 7). У него нет ни крыльев, ни ротового аппарата, ни кишечника, ни глаз, всего четыре сенсиллы (простейшие наружные органы чувств) на голове, вместо лап — присоски, только половая система полноценная. Он ждет, когда его найдет самка, у которой есть все положенные насекомым атрибуты, и выполняет свою задачу. Это, пожалуй, предел миниатюризации для организма, который может отказаться почти от всего, кроме половой системы.

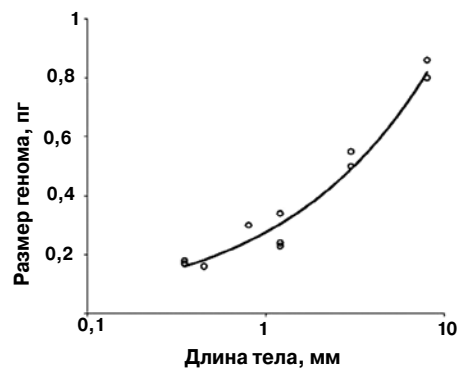
Таким образом, для свободноживущих насекомых объем половой системы служит фактором, ограничивающим миниатюризацию, а паразитических лимитирует скорее объем нервной системы.

Их крошечные нервы

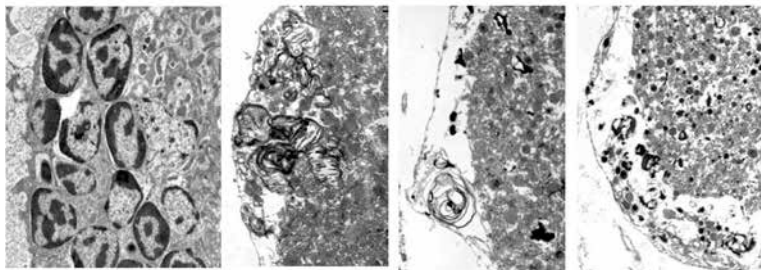
Органы чувств очень плохо переносят миниатюризацию, особенно органы зрения. У насекомых фасеточные глаза, фасетки устроены сложно, их размер почти нельзя уменьшить, и миниатюрные насекомые уменьшают количество: у самых мелких глаз состоит всего из 29—30 фасеток нормального размера (рис. 8). Глаз насекомого подобен цифровому фотоаппарату, каждая фасетка — это одна точка, то есть



8
Глаза перепончатокрылых насекомых, от мельчайших (наверху) до относительно крупных (внизу): а, б — *Megaphragma tugaripenne*; в, г — *Trichogramma evanescence*; д, е — *Anaphes flavipes*; ж, з — *Hemiptarsenus* sp. При миниатюризации уменьшается не размер фасеток, а их количество



9
Размер генома насекомых уменьшается при миниатюризации



10

Лизис тел нейронов головного мозга у *M. mymaripenne* на стадии куколки

фактически эти насекомые летают с камерой в 29 пикселей. Невозможно представить, как они обходятся такими глазами: у летающего насекомого должно быть хорошее зрение.

Насекомым удается уменьшить количество нейронов, составляющих центральную нервную систему, в частности головной мозг. У обычной мухи или пчелы миллионы нейронов, у человека — в тысячу раз больше, у миниатюрных насекомых около 20 тысяч нейронов на головной мозг, а у некоторых и того меньше (см. табл.). Но при этом относительный объем нервной системы у них возрастает. У человека объем головного мозга 2% от объема тела, у колибри 8%, у личинки *Liposcelis* (книжного сеноеда) — 12%, самый высокий церебральный индекс.

Миниатюризация существенно влияет на объем нейронов: он сокращается за счет компактизации хроматина. Эти конструктивные ограничения поставили вопрос о размере генома как лимитирующем факторе при миниатюризации. У близких видов жуков абсолютный размер генома сокращается при уменьшении размеров тела (рис. 9).

Удивительно, что при сокращении числа и размера нейронов строение нервной системы не меняется. Все зоны мозга, все оболочки и типы синапсов такие же, как у крупных видов родственных групп. Однако и из этого правила мы обнаружили исключение.

Обычно центральную часть нервной системы насекомых образует нейропилль, сформированный отростками нейронов, а периферическую — корковый слой из тел нейронов. У мельчайших летающих насекомых *Megaphragma mymaripenne* нервная система устроена необычным образом. Центральная нервная система куколки состоит из 7199–7396 клеток, на долю мозга приходится около 4600 нейронов. Его структура типична для насекомых на этой стадии развития, то есть

каждый ганглий состоит из нейропиля, окруженного кортикальным слоем тел нейронов. На финальной стадии развития куколки, когда нервная система взрослого насекомого уже сформирована, происходит лизис тел и ядер примерно 95% нейронов — по нашим подсчетам, их остается не более двухсот (рис. 10). Это снижает абсолютный и относительный объем нервной системы, особенно мозга, который имеет объем 93,600 мм³ у куколки и только 52,200 мм³ у взрослого насекомого. Изменения объема сопровождаются изменением головной капсулы. Огромная голова куколки сжимается, ее кутикула сворачивается, образуя мельчайшие завитки (рис. 11). Такая трансформация, видимо, широко распространена среди мельчайших паразитических перепончатокрылых.

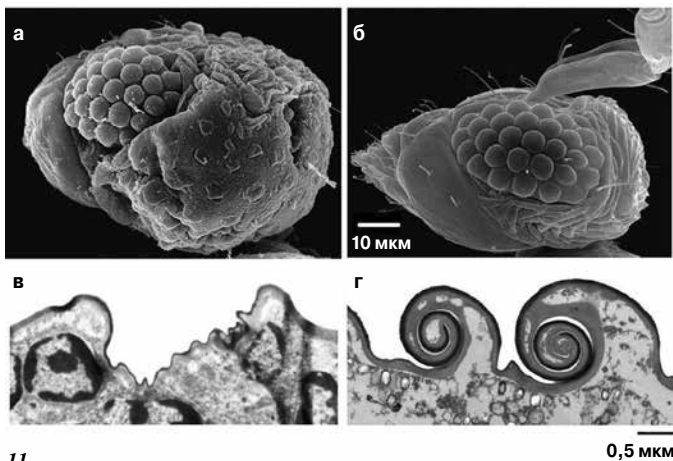
Мозг — крупнейший отдел ЦНС. Большинство мелких насекомых решают проблему большого мозга, смещая его, частично или полностью, в грудной отдел, а у некоторых личинок он «сползает» даже в брюшные сегменты. Однако у перепончатокрылых это невозможно, потому что голова у них очень подвижна и связь с грудным отделом тонка. Так что миниатюрные перепончатокрылые вынуждены производить экстремальные изменения в структуре нервной системы, такие, как описано здесь.

Самое удивительное, что у насекомого, практически лишенного тел нейронов, остаются неизменными объем нейропиля, его структура, плотность отростков и синапсов и отростки безъядерных клеток продолжают функционировать в течение пяти — девяти дней (примерно столько живут имаго *M. mymaripenne* при разных условиях). Это уникальное насекомое, единственное животное, у которого происходит лизис тел и ядер нейронов.

Открытие безъядерной нервной системы стало событием. Оно дает повод задуматься об изучении регенерации нервной системы, для которой принципиально важна возможность функционирования нейронов, отделенных от ядер.

Второй вопрос, который возникает в связи с этим, — проблемы поведения и памяти. У *Megaphragma* всего 4600 нейронов в головном мозге (95% из них безъядерные), у мух 340 тысяч нейронов, 850 тысяч у рабочей пчелы, даже у близкородственного вида *Trichogramma evanescens* 37 тысяч. Между тем взрослая *M. mymaripenne* отличается достаточно сложным поведением: она летает, ест, отыскивает хозяев, в яйца которых откладывает свои яйца. Неизвестно, есть ли у этих насекомых память и если да, то как она функционирует, ведь для нее необходим синтез белка.

Сейчас мы разрабатываем эксперименты, позволяющие оценить их способность к обучению и памяти. Пока сделать это не удается, но я почти уверен, что обучаться они могут. Просто мы пока не можем им предложить задачу, с которой могли бы справиться насекомые всего с 29 фасетками и 38 сенсиллами на каждой антенне.



11

Изменение головной капсулы после формирования мозга у *M. mymaripenne*. Сверху голова куколки (а) и взрослого насекомого (б); Внизу срезы кутикулы в окципитальной (затылочной) зоне куколки (в) и имаго (г)



Акулы-пигмеи, или Карлики среди гигантов

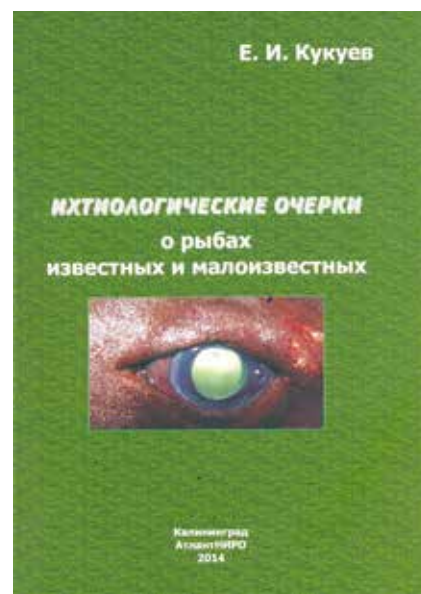
В Калининграде есть Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии Федерального агентства по рыболовству. АтлантНИРО издает научные и научно-популярные книги по ихтиологии. Среди них хочется отметить недавно вышедшие «Ихтиологические очерки о рыбах известных и малоизвестных» замечательного специалиста по редким акулам Е.И. Кукуева. Эта увлекательная книга пробуждает интерес и сочувствие к акулам-собакам Гаррика, и акулам-домовым, и даже к большим белым акулам, или кархародонам, которых после фильма «Челюсти» приходится спасать от истребления (см. «Химию и жизнь», 2013, № 6). А знаете ли вы, что морского угря никак не могут обнаружить в Саргассовом море, хотя во всех учебниках написано, что их цикл развития начинается именно там? Отдельный очерк посвящен проблеме атлантического осетра в Балтийском море. Возможно, эта практически вымершая в Балтике рыбина длиной до 5–6 метров усилиями ученых нескольких стран может снова появиться в наших водах.

Блестящая особенность рецензируемой книги состоит в том, что она формулирует актуальные задачи для будущих исследователей-ихтиологов — например, найти доказательства связи биоты подводных гор и островных систем с сопредельными участками шельфовых зон материков путем изучения дрейфа икры и молоди рыб на разных стадиях. Особой похвалы заслуживают тщательно подобранные иллюстрации. С обложки книги на читателя смотрит глаз акулы-собаки Гаррика, известной всего по двум экземплярам.

Кандидат биологических наук
Е.И. Кукуев

Что собой представляют акулы? В сознании человека, не связанного с ихтиологией, слово «акула» обязательно ассоциируется с гигантской зубастой тварью, главное назначение которой — пожирать все на своем пути, включая и человека. На самом деле акулы, как, впрочем, скаты и химеры, относятся к достаточно разнообразной группе рыб, принадлежащей к классу хрящевых (Chondrichthyes), который включает, по последней сводке известного канадского ученого Джозефа Нельсона, 970 видов из двух подклассов, 14 отрядов, 54 семейств и 184 родов (всего 3% видов рыб от всех ныне существующих в водоемах земного шара). Среди хрящевых рыб наряду с гигантскими и крупными формами есть рыбы средних и мелких размеров, зубастые хищники и мирные потребители планктона. Есть и любители пощелкать своими булыж-

Е.И. Кукуев. Ихтиологические очерки о рыбах известных и малоизвестных. Калининград: АтлантНИРО, 2014. Тираж 100 экз. Книгу можно заказать на сайте АтлантНИРО (<http://www.atlantniro.ru>).



виды, которых условно можно отнести к своеобразным «паразитам» крупных животных, в основном китообразных.

Хрящевые рыбы могут обитать как на мелководье у берегов, так и в верхнем слое воды в открытом океане. Есть группа видов, живущих на глубинах свыше 3000 м. Интересно, что первые хрящевые рыбы, включая и акул, появились в водоемах палеозойского периода около 500 млн. лет назад и дожили до настоящего времени, сохранив при этом основные особенности своего строения. (С девонского периода до наших дней дожила такая

С. ОРЛОВА

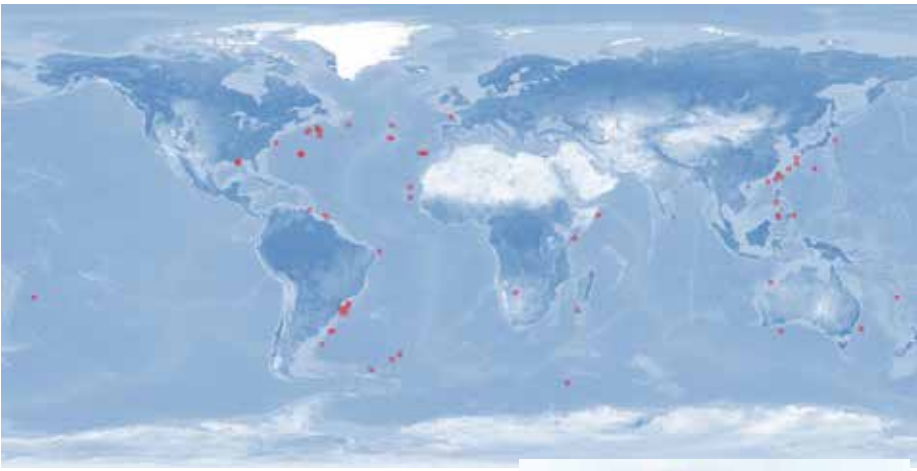
никообразными зубами моллюсков, ракообразных и других защищенных раковинной или панцирем беспозвоночных. Среди акул можно даже найти



1
Scymnodalotias garricki — акула-собака Гаррика, или азорская акула (Кукуев, 2006). Справа голова близкого вида из рода *Scymnodalotias* из юго-восточной части Тихого океана



фото Д.А. Козлова



2

Акула-пигмей (*Squaliolus laticaudus*) из коллекции АтлантНИРО (Саргассово море) (фото автора) и карта мест ее поимки в водах Мирового океана (*Fishbase.org*)



группа хрящевых рыб, как химеры.) Сохранив примитивные черты строения органов кровообращения и пищеварения, многие виды акул и скатов могут вынашивать и рождают детенышей, как высокоорганизованные животные. Их мозг и нервная система устроены достаточно сложно. Следует отметить, однако, что в современной фауне хрящевые рыбы значительно уступают в биологическом разнообразии и численности костистым рыбам.

В настоящем очерке речь пойдет об акулах-карликах, обитающих на больших глубинах открытого океана. Самые маленькие акулы (имеются в виду взрослые особи) принадлежат к семействам далатиид (*Dalatiidae*) и сомниозид (*Somniosidae*), входящих в отряд катранообразных, или колючих, акул (*Squaliformes*). Эти семейства включают не только самых мелких акул, к ним относятся и наиболее редко встречающиеся виды. Причем не только среди рыб, но и среди представителей животного царства вообще! Так, например, акула-собака Шервуда *Scymnodalatias sherwoodi*, описанная по выловленному в 1921 году у Новой Зеландии экземпляру длиной 80 см, до сих пор известна только по одной-единственной особи. Автор этой книги и его коллега Иван Иванович Коноваленко в 1988 году описали из хорошо изученной Северной Атлантики (севернее Азорских островов) новый вид акулы, близкий к новозеландской акуле-собаке Шервуда. Этот вид, описанный по единственному экземпляру длиной 38 см, получил научное

название *Scymnodalatias garricki* — акула-собака Гаррика (рис. 1), в честь известного новозеландского ихтиолога Джека Гаррика, посвятившего свою жизнь изучению акул, в том числе и акулы-собаки Шервуда. В 2006 году мы обнаружили второй экземпляр этой редчайшей акулы из района Азорских банок (Кукуев Е.И. «Вопросы ихтиологии», 2006, 46, 6, 850—854).

Другой вид далатидной акулы — длиннорылая акула-пигмей *Heteroscymnoides marleyi*, описанная в 1934 году, — известна только по пяти особям длиной от 12,5 до 36 см. Каждая новая поимка акулы-пигмея — сенсация для ихтиологов. В соавторстве с известным специалистом по акулам и скатам из Германии Матиасом Штемманном мы опубликовали статью о новых поимках этой карликовой светящейся акулы в водах Юго-Восточной Атлантики и юго-восточной части Тихого океана, что говорит о ее широком распространении в водах Мирового океана (Штемманн М., Кукуев Е.И., Коноваленко И.И. «Вопросы ихтиологии», 1999, 39, 5, 631—641). И таких редких видов среди далатидных акул еще около десяти.

Позвольте привести вам пример, как палеоихтиология и ихтиология дополняют друг друга. В конце 90-х годов XX века итальянский палеонтолог Франко Гигала обнаружил на севере Италии, в провинции Парма, в отложениях возрастом 5 миллионов лет (нижний плиоцен) множество зубов глубоководных акул, похожих на современных, обитающих на больших

глубинах Атлантики. Среди них были и зубы редчайшей азорской акулы-собаки, обнаруженной и описанной нами только во второй половине XX века. Чтобы удостовериться в этом, Франко Гигала приехал в Санкт-Петербург и сравнил ископаемые зубы с зубами нашего экземпляра-голотипа из современной фауны, который хранится в коллекции Зоологического института РАН. Зубы современной и ископаемой акул оказались идентичными.

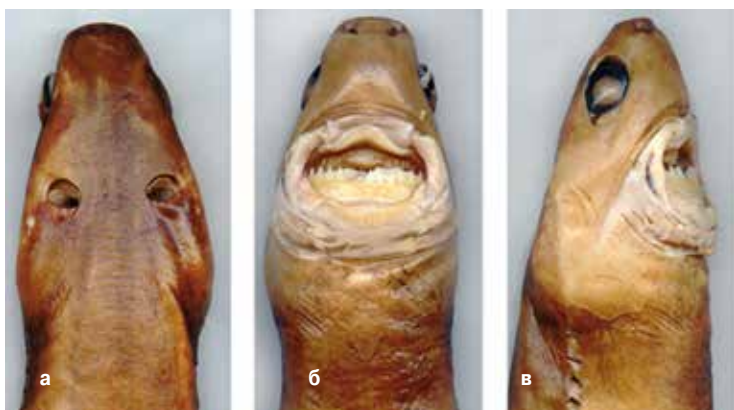
Интересно, что примерно 6,2 миллиона лет назад (в позднем миоцене) понижение уровня океана, вызванное сильным похолоданием в Антарктиде и образованием там мощного ледника, привело к полной изоляции Средиземного моря от Мирового океана и далее к его полному высыханию с полной гибелью всей биоты (мессинский кризис). Позже, в начале плиоцена (5 миллионов лет назад), в результате повышения уровня океана, вызванного потеплением и таянием ледника в Антарктиде, Средиземное море вновь стало постоянно заполненным. По образному выражению известного зоогеографа и выдающегося специалиста по головоногим моллюскам К.Н.Несиса, воды Атлантического океана грандиозным водопадом хлынули через Гибралтарский пролив в пустую котловину Средиземного моря и за короткое в геологических масштабах время заполнили ее. С водами Атлантики в котловину Средиземного моря проникли атлантические виды рыб и других животных, сформировав его современную фауну. Таким образом, вследствие потепления в эпоху нижнего плиоцена уровень океана значительно повысился, и современная Италия оказалась под водой на большой глубине, о чем свидетельствуют зубы глубоководных атлантических акул, проникших из Атлантики в Средиземное море. Подобные открытия на стыке ихтиологии, палеонтологии и палеоокеанологии



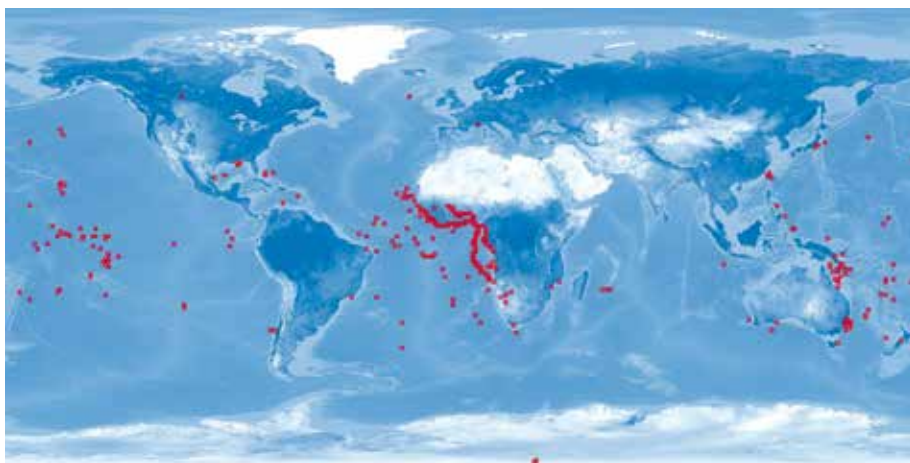
позволят понять, как формировалась фауна в современных океанах и морях в связи с изменением климата на планете.

Самая маленькая среди далатидных акул и акул вообще — акула-пигмей *Squaliolus laticaudus* (рис. 2). Крупнейший из обнаруженных взрослых самцов этого вида имел длину 22 см, а самка 24 см. Это один из самых широко распространенных и сравнительно часто встречающихся глубоководных (мезопелагических) видов далатидных акул — пример приспособления к глубоководному образу жизни. Маленькие размеры — это результат обитания вида в течение многих миллионов лет в малокормных условиях больших глубин. Нижняя часть тела глубоководных акул оснащена большим числом светящихся желез, вызывающих довольно яркое свечение. Пищей акул-пигмеев, как правило, служат мелкие глубоководные рыбы и беспозвоночные. Обитают эти акулы в верхней тысячеметровой толще океанских вод — ночью поднимаясь ближе к поверхности океана, днем опускаясь до 1000 м.

Совершенно уникальны по способу питания некоторые карликовые далатидные акулы из рода изистиусов (*Isistius*), или большезубых, акул (рис. 3, 4, 5). Этот род включает только три



3 Голова акулы изистиуса *Isistius brasiliensis* из коллекции АтлантНИРО, юго-восточная часть Тихого океана (фото автора): а — вид сверху (видны очень большие дыхальца); б — вид снизу (присоскообразные губы и мощные нижнечелюстные зубы); в — вид сбоку (крупные глаза и маленькие жаберные щели)



4 Голова большезубой акулы *Isistius plutodus* (длина тела 35 см) из коллекции АтлантНИРО, тропическая Восточная Атлантика. У этого вида мощные нижнечелюстные зубы и очень слабые верхнечелюстные (фото автора)

вида. Первый, бразильский изистиус *Isistius brasiliensis*, широко распространен в тропической зоне Мирового океана (рис. 3) и достигает в длину до 50 см. Второй — очень редкий вид, большезубая акула *Isistius plutodus* (рис. 4), известный только по четырём поимкам (Мексиканский залив, Атлантическое побережье Северной и Южной Африки и побережье Японии). Длина тела этой акулы не превышает 40 см. Третий вид рода был описан в

5 Карта мест поимки и регистрации акулы изистиус *I. brasiliensis* в водах Мирового океана (Fishbase.org)

1985 году из вод западной части Тихого океана и Южно-Китайского моря. Это самые глубоководные из пелагических акул, нижняя граница обитания которых лежит на глубине до 3000 м. Большезубые акулы — единственные представители высших позвоночных, которые ведут паразитический образ жизни, питаются поверхностными тканями крупных рыб и китообразных. В ночное время эти акулы поднимаются с больших глубин в верхние слои океана; найдя жертву (кита или крупную рыбу), прикрепляются к ее телу присоскообразными губами. Далее они вонзают в кожу жертвы непомерно большие нижнечелюстные зубы и, вращаясь по оси, как консервный нож, откусывают кусок кожи, оставляя на месте укуса овальную ранку. Когда рот акулы погружен в плоть жертвы, в акте дыхания принимают участие необычно большие дыхальца, расположенные на спинной части. Множество таких заживших ранок китобой обнаруживали на теле китов в тропической зоне. Такие же овальные ранки часто находят на теле крупных океанических рыб. Интересно, что подобные следы встречаются и на таких несъедобных объектах, как рыболовные буи, и даже на резиновых частях корпусов подводных лодок, которые акула, вероятно, принимает за добычу. Как и другие глубоководные рыбы, далатидные акулы способны к сильному свечению.



Птицы

Н.Анина



ДНЕВНИК НАБЛЮДЕНИЙ

Пнутые казуаром

У одного австралийца во дворе росло фиговое дерево. И повадился к нему казуар лакомиться фигами. Однажды, когда птица наслаждалась плодами, к хозяину пришел приятель. Мужчины тоже стали собирать упавшие фиги и есть. Так продолжалось с четверть часа, а потом гость захотел сфотографировать казуара, отступил назад, но потерял равновесие и упал. И тогда казуар бросился к упавшему, вскочил ему на спину и раз десять на ней подпрыгнул.

Эта история — одна из многих, собранных сотрудником Квинслендского парка дикой природы Кристофером Кофроне. Он проанализировал 221 случай агрессивного поведения казуаров, из которых 150 нападений совершено на людей, в том числе 105 на пешеходов и 45 — на людей в машинах или на велосипедах, 35 — на собак, 35 — на окна пустых автомобилей, 3 — на лошадей и 1 на корову («Journal of Zoology», 1999, 249, 375—381, doi: 10.1111/j.1469-7998.1999.tb01206.x).

Этот список впечатляет. Года не проходит без того, чтобы казуары не нападали на людей и домашних животных, и за ними закрепилась репутация опасных птиц, один журналист даже назвал их велоцирапторами Квинсленда. (Велоцираптор — род хищных двуногих динозавров, как и у казуара, на одном из пальцев нижней конечности у него был очень длинный и острый коготь.) Исследование Кофрона, однако, реабилитирует казуара, во всяком случае, снимает с него обвинение в немотивированной агрессии.

Южный, или шлемоносный, казуар *Casuarius casuarius johnsonii* — самый распространенный и наиболее изученный из трех видов казуаров, австралийских нелетающих птиц, плодоядных обитателей тропических лесов. К сожалению, от этих лесов в наше время сохранилось не более 25%, и большая их часть испытывает сильнейшую антропогенную нагрузку. Леса прорезаны дорогами, соседствуют с фермами и деревнями. Птицы заходят в сады полакомиться фруктами, люди гуляют по лесным дорогам и встречают казуаров.

Несмотря на то что взрослая птица выше большинства людей и весит от 50 до 80 кг, она умеет быть незаметной, порой только следы и экскременты указывают на то, что здесь

был казуар. И внезапно он материализуется. Некоторые истории о встрече с ним именно так и начинаются: иду я себе по тропинке, иду, и вдруг, откуда ни возьмись, казуар. Я ему дорогу уступаю, а он меня как пнет! Глубокие раны на бедре (груди, ягодице), пришлось их зашивать. Когти у казуара действительно страшные и наносят глубокие раны, бывает, что казуар ломает человеку кости. Впрочем, такие серьезные повреждения редкость.

По данным Кристофера Кофрона, в 71% столкновений казуары бежали к человеку или за ним, толкали, а пинали только в 15% случаев. Инцидентов, потребовавших серьезной медицинской помощи, исследователь насчитал семь и один смертельный («Memoirs of the Queensland Museum», 2003, 49, 339—347). Убийство произошло давно, в 1926 году. Два брата, 16 и 13 лет, науськивали своих собак на казуара, зашедшего к ним на ферму, и били его палками. Они хотели убить птицу. Казуар лягнул младшего мальчишку и его собаку, и они убежали, но старший брат со своей собакой продолжали травить казуара. Тот бросился на него, подросток побежал,



Южный казуар *Casuarius casuarius johnsonii*. Обратите внимание на его ноги с острейшими когтями на внутренних пальцах

Велоцирантор (Velociraptor) — хищный оперенный когтистый динозавр, с которым сравнили казуара. Динозавр был в два — два с половиной раза ниже птицы



но споткнулся и упал, и тогда казуар своим острейшим когтем пробил кровеносный сосуд на шее. Подросток умер от потери крови. В данном случае казуар защищал свою жизнь, и каждый на его месте поступил бы так же. А вот еще случай. Некий прохожий увидел двух собак, нападавших на казуара. Человек оттащил собаку, а казуар его лягнул, не поняв, видимо, что человек хотел помочь.

Понятно, когда казуары нападают, защищая себя или своих птенцов. Но зачем они бегают за людьми? Оказалось, что в 75% случаев казуаров, нападавших на людей, когда-то подкармливали. Кормление, по мнению Кофрона (и с этим мнением соглашаются другие специалисты по казуарам), изменяет поведение птиц, они перестают бояться человека, покидают свои естественные места обитания и становятся агрессивными. По данным исследователя, 90 нападений на людей, произошедших за несколько лет в одном районе, совершили всего четыре птицы, а серьезные повреждения нанесла одна. В большинстве случаев казуары терзают людей, выпрашивая еду, или обороняют ее от посягательств человека. История, рассказанная в начале статьи, как раз о защите кормового участка. А вот еще одна. Турист повстречал в парке казуара, который стал попрошайничать. Человек, вместо того чтобы угостить птицу, присел на корточки, желая ее сфотографировать. Получил пинок в живот, с точки зрения казуара вполне заслуженный. Другой турист набрел на казуара, который стоял и прихорашивался. Пешеход отступил, но казуар не давал ему уйти и пихал в спину. Пришлось скормить ему с руки два яблока. Третье, последнее, прохожий бросил, и казуар побежал за ним. Тогда и человек смог уйти.

Кофрон опроверг устоявшееся мнение, что казуары нападают на людей, бегущих трусцой, воспринимая их топот как угрозу. Птицы из-за соседства с человеком страдают гораздо больше, чем люди от встреч с казуарами: они регулярно гибнут под колесами автомобилей и от нападения собак.

Проанализировав многочисленные случаи столкновений с людьми и животными, Кристофер Кофрон выработал меры предосторожности, необходимые при встрече с казуаром. Ни в коем случае нельзя ложиться на землю или садиться



Солдатский чибис *Va nellus mile*

на корточки: в таком положении жизненно важные органы оказываются ближе всего к казуаровым ногам. Серьезные травмы получают как раз люди, принявшие подобные позы. Принцип «лежачего не бьют» неведом этой птице. Лучше выпрямиться, спрятаться за дерево или покинуть зону влияния казуара, не поворачиваясь к нему спиной.

Собак же, вторых по численности жертв казуара, необходимо держать на привязи. Увидев казуара, собака с лаем бросается на него, и для одного из животных дело обычно заканчивается плохо.

Казуаров надо беречь, их осталось мало. Между тем эта фруктоядная птица выполняет важнейшую роль — распространяет семена деревьев. До 12% древесных пород обязаны своим расселением казуарам, причем, что ценно, птицы переносят семена вверх по склонам. Не будет казуаров — изменятся тропические леса, и кто знает, что станет с его обитателями.

У дороги чибис

Не только казуары донимают австралийцев, точнее, жители этой страны конфликтуют не только с казуарами. Еще одна агрессивная птица — солдатский чибис *Vanellus miles*. Чибисы гнездятся на земле, их птенцы начинают кормиться самостоятельно уже через несколько часов после появления на свет, но остаются под родительской защитой шесть-семь недель, пока не оперятся. Чибисы активно защищают свою кладку и птенцов, кружат над всяким потенциальным хищником и пикируют на него. А поскольку они сейчас гнездятся в непосредственной близости от человеческого жилья, в пригородных зеленых районах, то, естественно, человек тоже попадает в число хищников и порой получает серьезные травмы. Согласно различным данным, 73% пар чибисов нападают на людей, приближающихся к гнезду.

Спрашивается, что делать человеку, которому необходимо подстричь газон или привести в порядок сад, а на него бросаются разъяренные птицы, потому что под ближайшим кустом у них гнездо? И ладно бы это был собственный сад, уход за ним можно отложить на месяц-другой, но ведь страдают и парковые рабочие. Доходит до того, что людям приходится перемещать гнезда или калечить птиц, потому что житья от них нет. Причем чибисы, которые гнездятся в городе, более агрессивны по отношению к людям, чем сельские.

Специалисты задумались над тем, как сделать неизбежную встречу с чибисами менее болезненной, поскольку нападение на них с секатором не соответствует современным представлениям об охране животных. Они, в частности, предложили работающим в саду надевать велосипедный шлем или наклеивать на головной убор сзади или сверху изображения глаз. Действенность этих рекомендаций проверили биологи из Университета Дикина и других исследовательских центров Австралии под руководством Майкла Вестона. Ученых интересовало, различают ли чибисы, чем конкретно заняты люди вблизи их гнезда, или нападают на всех проходящих без разбора, и могут ли защитить от их атак ложные глаза («Animals», 2013, 3, 754-766; doi: 10.3390/ani3030754). В населенных пунктах, где живет много чибисов, ученые разыскали несколько десятков гнезд и приступили к экспериментам. Исследователь целенаправленно шел к гнезду просто так или притворяясь газонокосильщиком. Вместо двигателей на косилку установили динамики, воспроизводившие рев этого агрегата. Человек одевался в костюм пешехода: темная одежда и серая кепка, а когда шел с косилкой, дополнительно надевал сверху флуоресцирующий желтый жилет, какой обычно носят садовые рабочие. Дойдя до гнезда, исследователь останавливался и стоял там две минуты. К каждому гнезду он подходил всего один раз и в одном образе (пешеход или газонокосильщик). Реакцию птиц фиксировали.



Чибисы прекрасно различают, чем занят человек, и на косильщика реагируют более агрессивно, чем на обычного прохожего: раньше поднимаются из гнезда, кружат над разрушителем, пока он не уйдет, чаще пикируют, причем нападают они именно на человека, а не на его газонокосилку. Возможно, птицы понимают, что человек с косилкой причинит им больше вреда, чем пешеход; другая возможная причина столь бурной реакции может быть в том, что настоящие садовые рабочие обычно продолжают трудиться, несмотря на атаки чибисов, в то время как прохожие стараются уйти от рассерженной птицы.

Что касается «глаз на затылке», то наклейки помогают только пешеходам, а агрессию, направленную на человека с косилкой, увеличивают. На «четырёхглазого» косильщика с наклейками нападали даже чаще, чем на пешехода без стикеров. Исследователи отмечают, что нельзя давать рекомендации по безопасному общению с птицами, не проверив их предварительно во всех возможных ситуациях, иначе можно навредить людям. Проблема безопасности садовых работ в соседстве с чибисами остается нерешенной.

Как стать злоумышленником

У австралийцев особый талант осложнять отношения с местной фауной. На них частенько нападает черноспинная певчая ворона *Gymnorhina tibicen*, она же ворона-свистун, напоминающая окраской европейскую сороку. Певчие вороны широко распространены в Австралии и стали типичными городскими птицами. Они там, где есть вода и газоны. Эти вороны действительно неплохо поют, австралийцы искренне их любят и считают одним из неофициальных символов Австралии. Агрессивность этих птиц в сезон размножения считается неотъемлемой частью австралийской жизни, однако в последнее время столкновения происходят столь часто и последствия столь значительны, что ответственные лица сочли необходимым исследовать этот вопрос и принять какие-то меры. Вопрос об агрессивности певчих ворон много лет исследовали сотрудники Университета Гриффита под руководством Деррила Джонса (D. Jones, «Wildlife management in the extreme: managing Magpies and mothers in a suburban environment»). In: «Too close for comfort: contentious issues humanwildlife encounters», 2008, 9—14, ed. by D. Lunney, A. Munn and W. Meikle, Royal Zoological Society of NSW).

Прежде всего исследователи выяснили, что вороны нападают лишь в определенный период, приближение которого можно предсказать по поведению птиц. Сначала вороны скандалят с соседями на границах территории, потом пары выют гнезда на высоком дереве, растущем примерно в центре участка, откладывают яйца и заботятся о птенцах, которые зависят от родителей около года. Когда появляются птенцы, вороны нападают на всех потенциальных злоумышленников, оказавшихся поблизости: собак, кошек, змей, людей, пикируют на них и стараются клюнуть, норовя попасть в лицо и глаза. Активность птиц увеличивается по мере роста птенцов и сходит на нет, когда они покидают гнезда. Таким образом, вороны агрессивны лишь несколько недель, причем эти сроки известны.

В пригородах, где много еды, да еще люди подкармливают птиц, их плотность особенно велика, противоречия между ними обостряются, и агрессивность возрастает. Однако вороны, а нападают почти всегда самцы, атакуют всех хищников без разбора, причем какую-либо активность по отношению к человеку проявляют не более 10% пар.

Вопрос в том, почему вороны принимают человека за хищника. Австралийцы, как правило, не разоряют гнезда певчей вороны. Чаще всего молодые птицы в городе гибнут на дорогах. Но вряд ли вороны понимают, что машиной управляет человек и если перебить всех пешеходов, то некому будет

сидеть за руль. Скорее, основная причина агрессии — человеческое участие. Когда человек спасает выпавшего из гнезда птенчика (а такое ведь случается), ворона воспринимает его как хищника и запоминает.

Ученые выяснили, что певчие вороны нападают на прохожих избирательно. При этом их не раздражает определенный стиль или цвет одежды, цвет и длина волос. Птицы опираются исключительно на личный опыт. В районах гнездования ворон один из исследователей стал изображать злоумышленника. Он подходил к дереву на расстояние 10 м и бродил вокруг, пристально глядя на гнездо. Вторжение повторяли несколько раз у шести гнезд, удаленных друг от друга на 1,5—5,5 км. После 6—9 повторов почти все вороны пары воспринимали исследователя как агрессора. На десятый раз он вызвал бурную реакцию у всех шести пар, едва выйдя из машины в 200 метрах от гнезда. Спустя пять лет «злоумышленник» снова посетил эти места и был немедленно атакован предположительно теми же птицами, которые запомнили его по предыдущим визитам. (О том, как преследуют подозрительных людей наши серые вороны, «Химия и жизнь» писала в 2006 году, № 3 — «К вороне с уважением».) При этом других людей вороны не трогали. А вот на кого певчие вороны кидаются без разбора, так это на велосипедистов, бегунов и курьеров, развозящих почту.

Эти простые эксперименты показали, что вороны — не враги человечества в целом, но возбудить их подозрения и попасть в черный список очень легко. Вороны хорошо запоминают «злоумышленников» и, увидев, норовят клюнуть в лицо и глаза. Эти особенности необходимо принимать во внимание, планируя борьбу с вороньей агрессией.

Проведенный опрос показал, что более 70% людей, пострадавших от ворон, не желают их уничтожения. И местные власти все чаще переходят от отстрела птиц к более осмысленным и гуманным действиям: переносят гнезда или удаляют особо агрессивных самцов. Их отлавливают и выпускают за 35 и более километров от дома. Самцы, увезенные на такое расстояние, почти никогда не возвращаются, а вернувшихся легко снова поймать. Удивительно, но самки быстро находят замену пропавшему самцу, нередко всего за несколько часов. Новый партнер сразу начинает играть роль примерного отца и почти никогда не проявляет агрессии. Ученым удалось проследить за судьбой 22 перемещенных самцов из 141, на новом месте они образовали пары или слились с сообществом холостых птиц.

В австралийских парках появляются предупреждающие щиты, которые сообщают, что впереди территория ворон. Ее надо миновать быстро, но не бежать, велосипедистам спешиться, по возможности надеть головной убор или раскрыть зонт. А главное — не беспокоить птиц. И этот совет, по-видимому, универсален для любых случаев агрессии по отношению к человеку, она редко бывает немотивированной.



К чему стремятся летуны

С.Анофелес

Гигантские летающие животные появлялись в небесах нашей планеты не раз и не раз исчезали. Первыми, чье существование подтверждает палеонтологическая летопись, стали древние гигантские стрекозы. Один их вид, *Meganeura tonyi*, с размахом крыльев 65 см, жил в самом конце каменноугольного периода, 300 млн. лет назад. Другой, *Meganeura permiana*, с размахом крыльев 71 см, самое большое насекомое в истории Земли, — в начале следующего, пермского, периода, то есть 299—270 млн. лет назад. Есть мнение, что последующее снижение содержания кислорода в атмосфере сделало невозможным существование таких гигантов, поскольку у них не было легких и жизненно важный газ перемещался за счет диффузии по гемолимфе, скорость же диффузии определяется разностью

концентраций. Однако в конце пермского периода, 260—251 млн. лет назад, все еще жили гигантские меганевры с размахом крыльев 45 см. Поэтому в 2004 году появилась гипотеза, что причиной гигантизма было соревнование в размерах с пищей — растительноядными насекомыми того же периода, которые в лучшие свои времена достигали размера голубя. Это соревнование кончилось во время великого вымирания на границе пермского и триасового периодов 251 млн. лет назад.

В следующий раз гиганты поднялись в небо уже к концу мезозоя. Это были беззубые птерозавры кетцалькоатль и хатзегоптерикс. Первый из них — огромное всех, с размахом крыльев 11—15 метров, а разброс оценок веса еще больше — от 70 до 250 кг, то есть это было что-то вроде жирафа с крыльями как у кукурузника У-2 или даже больше.

Второй был ненамного меньше — размах крыльев 10—11 метров. По поводу того, чем они питались, есть несколько идей. Кто-то считает их хищниками или стервятниками, но проблема данной версии в том, что у этих гигантов не было зубов. Кто-то отмечает, что они питались рыбами, вылавливая их с поверхности, однако этому противоречат находки останков в глубине континентов. Жили кетцалькоатль и хатзегоптерикс в конце эры динозавров — 68—66 млн. лет назад. Напомним, что царство динозавров приходится на самый продолжительный период мезозоя, меловой: 145—66 млн. лет назад.

Следующие небесные гиганты освоили небо уже в середине нашей эры — кайнозоя. Это были ложнозубые птицы. Они получили такое название потому, что края их клювов имели выросты, один в один напоминающие зубы. Эти



Птерозавры — самые большие существа, поднимавшиеся в небо нашей планеты

гиганты принадлежат к семейству пелагорнисов, и есть мнение, что от них произошли современные пеликаны. Живший в начале миоцена, 20 млн. лет назад, *Pelagornis miocaenus* имел размах крыльев два-три метра, как у современных альбатросов. (Миоцен — теплая эпоха, 23—7 млн. лет назад.) К концу эпохи пелагорнисы заметно подросли: 5—10 млн. лет тому назад в Андах обитал *Pelagornis chilensis* с размахом крыльев 5,2 м.

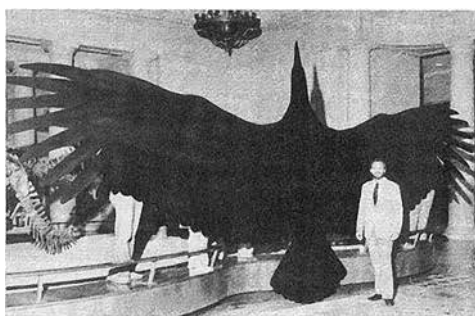
Гигантские пелагорнисы пережили изменение климата, когда в плиоцене стало всего на 2—3°C теплее, чем



У пелагорнисов края клюва испещрены выростами, похожими на зубы

сейчас, но размер их уменьшился — у *Pelagornis mauritanus*, чьи останки возрастом 2,2—2,5 млн. лет нашли в окрестностях Касабланки, размах крыльев был три метра. В плейстоцене же с его одиннадцатью великими оледенениями этих птиц уже не было. Впрочем, самый большой летающий пелагорнис, он же самая большая летающая птица Земли — найденный в 2014 году *Pelagornis sandersi*, — жил в самом конце предшествовавшего миоцену олигоцена, 25 млн. лет назад. Размах его крыльев мог достигать 7,4 метра.

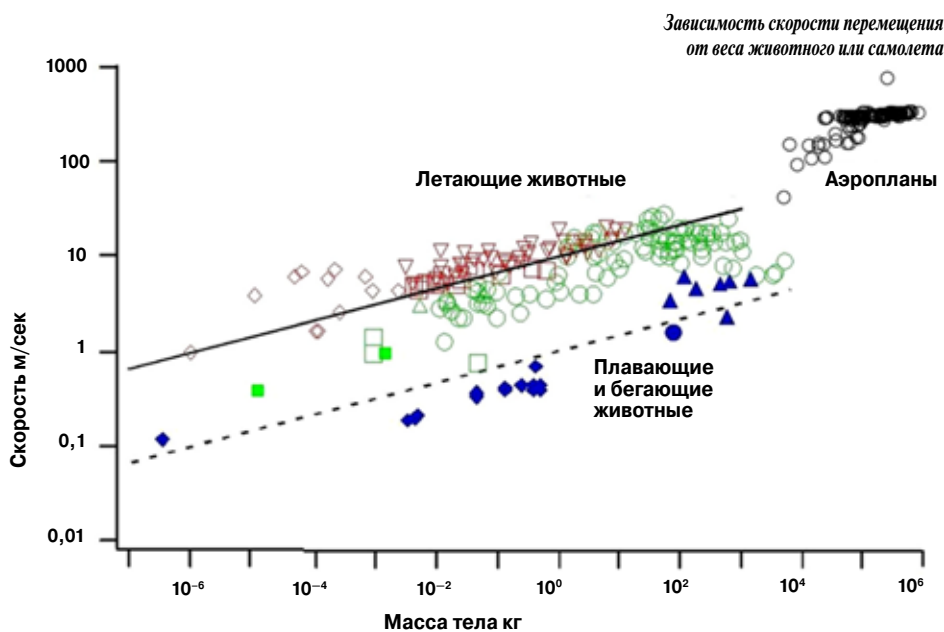
Миоцен был славен не только гигантскими пелагорнисами. Компанию им составлял хищник *Argentavis magnificiens* из семейства тераторнисов с размахом крыльев 6 метров и весом под 80 кг. А жила эта птица в конце миоцена — 6—8 млн. лет назад, в одно время и примерно в одном месте (как видно из названия) с чилийским пелагорнисом. Длина от кончика хвоста до острия клюва у аргентависа составляла 3,5 метра: человек рядом с ним не выглядел бы царем природы. Огромный тераторнис *Aiolornis incredibilis* дожил почти до наших дней: он исчез вместе со всеми плейстоценовыми гигантами 11 тысяч лет назад во время похолодания позднего дриаса, завершившего



Доктор Кеннет Кемпбелл, нашедший в 1980 году вместе с коллегами останки самого большого тераторниса *Argentavis magnificiens*, рядом с его реконструкцией в Лос-Анджелесском музее естественной истории

последний ледниковый период. Размах крыльев аилорниса достигал 5,5 метра, а вес — 23 кг.

Ныне же самая большая птица — странствующий альбатрос *Diomedea exulans*, размах крыльев до четырех метров. Глядя на эту птицу, а также на живущих в высокогорьях кондоров с размахом крыльев под два метра, ученые предполагают, как в древности летали гиганты. Согласно общему мнению, они использовали восходящие потоки воздуха для парящего полета. Для взлета же большинству из них требовался высокий утес — подобно стрижу, альбатрос не способен взлетать с плоскости. Сам же альбатрос не случайно именуется странствующим — он постоянно барражирует в небе над океаном, время от времени пикируя к его поверхности для охоты на рыбу и стремительно взлетая вверх. Считается, что так же вели себя и пелагорнисы. Тераторнисы, обитавшие на суше, могли использовать восходящие потоки вдоль склонов Анд. Попав в такой поток, распростершая крылья птица, кружась, достигала огромной высоты, а затем пикировала оттуда до тех



А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

пор, пока не достигала следующего потока, в результате за день перемещаясь на сотни километров. Не все согласны, что подобные модели применимы к полетам гигантских ящеров: некоторые исследователи находят способы, позволяющие им взлетать с лесной полянки. Есть даже мнение, что кетцалькоатли смогли перелетать через океан. Если все это было так, то получается, что птерозавры были самыми совершенными покорителями небесных высот — ничто не ограничивало их охотничьи угодья.

Приведенный выше перечень позволяет предположить: экстремальных размеров летуны достигают в результате длительного эволюционного пути, начиная с мелких экземпляров. Сбивают же гигантов с неба какие-то катастрофические события, обозначающие концы геологических эпох и периодов, поскольку естественных врагов у них нет. Случаен такой ход эволюции или нет?

Подсказка приходит от инженеров. Американец Адриан Беян из Университета Дьюка с коллегами из компании «Боинг» и Тулузского университета предложили пригласиться к эволюции самолетов («Journal of Applied Physics», 2014, 116, 044901; doi: 10.1063/1.4886855). За сто лет эта ветвь технического творчества породила бесчисленные формы, различающиеся и двигателями, и конструкцией фюзеляжа, и, естественно, размерами. Так, несущая способность самого большого воздушного гиганта — созданного в 1988 году для перевозки челнока «Буран» грузового самолета «Мрия», или АН-225, — составляет 640 тонн при размахе крыльев 88,4 метра, за ним следует летающий с 2007 года пассажирский гигант А-380, взлетный вес которого 560 тонн. А всего лишь сто лет назад первые самолеты хорошо если могли взять на борт одного пассажира в дополнение к пилоту. Пропорционально росту веса самолета растут и другие характеристики — вес двигателя, вес топлива, а также расстояние, которое этот самолет способен преодолеть на одной заправке: самые мощные самолеты и летают на дальние расстояния, 10—20 тысяч километров. Отсюда следует заключение: чем больше размер,



Самолет АН-225 «Мрия» — самый тяжелый транспортный самолет в мире; он способен перевезти космический челнок



Tu-144 — представитель вымершего семейства сверхзвуковых пассажирских самолетов



Солнечный самолет «Solar Impulse» — возможно, родоначальник нового самолетного семейства

тем выше эффективность самолета. Действительно, так и должно быть, если исходить из принципов термодинамики.

При полете, то есть движении сквозь среду, на объект действуют две противоположные силы. С одной стороны, это сила трения, которая рассеивает полезную энергию, превращая ее в энтропию. Чем больше объект, тем меньше удельные потери этой энергии. С другой стороны, чем больше вес объекта, который приходится нести воздухоплавателю, тем больше топлива надо израсходовать, то есть чем меньше объект, тем лучше. Компромисс между этими двумя факторами и определяет соотношение размеров оборудования: на маленьком самолете можно установить только маленькие крылья, двигатели с маленьким сечением воздухопроводов или лопастями винтов, малым размером теплообменников. Именно с этим обстоятельством связан тот факт, что существует прямая пропорциональность между весом самолета и весом двигателя: если построить такую зависимость по всем известным самолетам, то окажется, что вес двигателя должен составлять примерно 13% от веса самолета. Аналогичная линейная зависимость есть и между весами двигателя и топлива, которое самолет может поднять в воздух. А вес топлива определяет и расстояние, на которое летит самолет. Получается, что чем больше самолет, тем дальше он улетит. Правда, эта зависимость уже не линейная, а степенная: расстояние оказывается пропорционально примерно квадратному корню из веса самолета. Размах крыльев определяет размер фюзеляжа и соответственно вместимость самолета. Ну а чем мощнее двигатель и больше топлива, тем, очевидно, выше скорость полета: она оказывается пропорциональна массе самолета в степени 1/6. Это наблюдение справедливо не только для самолетов: приведенная Бьяном статистика свидетельствует, что чем больше размер животного или насекомого, тем быстрее оно перемещается — бежит, плавает или летит (см. график).

Важнейший показатель объекта техники или живого существа — топливная эффективность, то есть способность выполнять как можно большую работу за счет как можно меньших энергетических ресурсов — топлива или еды. Эволюция самолетов наглядно показывает, насколько важен этот фактор. Всего за пятьдесят лет расход топлива на единицу полезного веса снизился в десять раз, а сейчас снижение идет со скоростью 1,2%. Устаревшие модели самолетов исчезают, порой вымирают целые семейства. Так, из-за системного кризиса конструкторы советских самолетов упустили момент и не смогли вовремя их модернизировать: в результате и сама популяция самолетов семейств Ил, Ту и Ан, и их видовое разнообразие серьезно сократилось. Жертвами борьбы за топливную эффективность оказались сверхзвуковые пассажирские самолеты — Ту-144 и «Конкорд». При всей их огромной скорости — рейс Ту-144 из Москвы в Алма-Ату занимал два часа — эти самолеты расходовали слишком много топлива и, не выдержав соревнования с экономичными тихоходами, исчезли. При этом оба самолета были «уродцами», они опровергали все принципы самолетостроения — большой фюзеляж, малые крылья, мощный двигатель. Сложись обстоятельства по-другому, они бы породили новое семейство самолетов. Палеонтологи не имеют возможности проследить столь детально эволюцию животных, однако существование подобных высокоспециализированных, но недолговечных видов вполне возможно.

Замена винтовых двигателей на реактивные дала новое семейство, способное летать с большей скоростью и с высокой топливной эффективностью, что и привело к появлению современных гигантов. А вот винтовые гиганты вроде самолета АНТ-20 «Максим Горький», в крыле которого человек мог ходить не пригибаясь, а на борту была расположена передвижная типография, оказались неэффективными и почти вымерли.

Сейчас эволюция самолетов вступает на новый виток, причиной чего стала революция в области материалов. Появление пассажирских гигантов — Боинга-747 и А-380 — связано с тем, что значительная часть их фюзеляжей сделана не из алюминиевых сплавов, а из легчайших и прочных углепластиков. Аналоги в природе найти нелегко — существенно снизить вес костей и мышц вряд ли возможно, хотя можно заполнить объемный череп пустотами, как поступили птерозавры. Но вот переход на другой источник энергии — топливо или пищу — представить проще. Так, на наших глазах появилось новое семейство самолетов, питающихся энергией солнца. Вид такого самолета необычен, он больше похож не на птицу, а на стрекозу: ему требуются огромные крылья для размещения солнечных батарей, основной его груз — аккумуляторы, а фюзеляж — узкий, для снижения веса. У представленного публике в апреле 2014 года швейцарского самолета «НВ-SIB» размах крыльев 71,9 метра — почти как у А-380, а вес всего 2 тонны, в 250 раз меньше. Пока что такие самолеты слишком медлительны — расстояние от Мадрида до Рабата первый солнечный самолет «Solar Impulse» преодолел в 2012 году за 19 часов; никакой конкуренции с самолетами, потребляющими керосин. Но при внезапной «экологической» катастрофе — запрете на использование углеводородного топлива — все старые гиганты-фавориты приземлятся навечно, а солнечный уродец превратится в прекрасного лебедя, обеспечивающего быстрые перевозки по воздуху. Очевидно, что и в этом случае, как уже не раз было в истории техники, эволюция таких устройств пойдет знакомым путем — ставка будет сделана на увеличение размера.



О преобразованиях карет и воротников



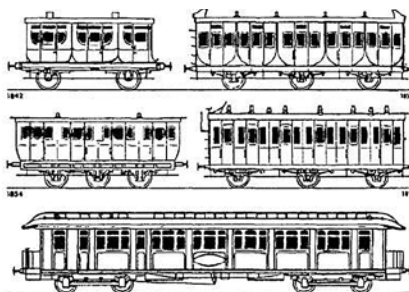
АРХИВ

О том, что эволюция техники отнюдь не всегда подчиняется рациональным соображениям, а бывает вызвана влиянием случайных факторов и отбора, как в живой природе, рассуждает знаменитый эволюционист Конрад Лоренц («Оборотная сторона зеркала. Опыт естественной истории человеческого познания». Пер. с нем. А.И.Федорова, Г.Ф.Швейника. Москва: Республка, 1998).

<...> Прежде всего я должен был показать, что когнитивная функция культуры, приобретение и накопление знания, осуществляется с помощью процессов, в принципе аналогичных приобретению знания в эволюции вида. Это кажется удивительным и неожиданным, поскольку интеллект и пронизательность отдельного человека входят как познавательные функции в процесс накопления сверхличного, традиционного знания. Таинственным и несколько жутким образом культура поглощает и переваривает эти отдельные вклады ее носителей и <...> превращает их в общее знание или, лучше сказать, в общественное мнение о том, что истинно и что действительно происходит. Впрочем, в этом процессе наряду с рассмотренными функциями, сохраняющими и разрушающими традицию, участвуют и многие другие, здесь не упомянутые, имеющие между собой лишь то общее, что они не управляются сознательно и разумно. Поэтому общественное мнение, господствующее в некоторой культуре, гораздо больше напоминает сокровище информации некоторого вида животных и основанную на ней приспособленность этого вида к среде, чем-то, что знает и умеет целесообразно применять отдельный человек.

Конечно, современное естествознание, представляющее собой новую форму коллективного человеческого стремления к познанию, сложившуюся лишь несколько столетий назад, в принципе организовано таким образом, что общепринятое требование объективности навязывает ему более строгую параллельность и согласованность мышления и формирования мнений; но и в естествознании формирование мнений отнюдь не свободно от нерациональных воздействий, определяющих господствующее в культуре общее мнение. Ученый тоже сын своего времени и своей культуры.

Полное отсутствие разумного планирования в развитии культуры и ее продуктов самым удивительным образом проявляется в тех случаях, когда можно было бы с наибольшей уверенностью ожидать такого планирования, когда инженеры сажаются за чертежный стол и, как они полагают, чисто рациональным способом проектируют какие-нибудь технические продукты, например железнодорожные вагоны. Кажется невероятным, что в этой деятельности существенную роль играет



1 *Инерция потерявших функции форм в развитии техники. Форма кареты, в которую запрягали лошадей, сохраняется как остаточный признак. Даже в американском сплошном вагоне, уже не имеющем боковых дверей, сохраняется расположение окон, характерное для карет. Как показывают даты, крайне нецелесообразное устройство купе с боковыми дверями сохранялось в Европе до конца столетия, тогда как в Америке сплошные вагоны строились уже почти 30 лет*



2 *а) Латы эпохи около 1500 года с «воротником» спереди и сзади; б) офицер Бранденбургского курфюршества (около 1690 года) с большим кольцеобразным воротником, по которому еще отчетливо видно его происхождение от латного воротника; в) офицер бранденбургской пехоты (около 1710 года) с уже уменьшившимся кольцеобразным воротником, ставшим знаком различия; г) Оцеола, вождь семинолов, с декоративным тройным кольцеобразным воротником, служащим для импонирования. Еще в последнюю мировую войну остаток кольцеобразного воротника был отличительным знаком немецкой полевой полиции*

так называемое магическое мышление, уже известное нам как один из факторов, поддерживающих постоянство культуры... Но, рассматривая ряд стадий развития, пройденных пассажирскими вагонами наших железных дорог всего лишь за одно столетие с небольшим, мы видим, с каким упрямством человек придерживается традиций. Трудно делаться от впечатления, что перед нами отражение процесса филогенетической дифференциации.

Сначала на железнодорожные рельсы попросту поставили карету; затем оказалось, что база — расстояние между осями колесных пар — недостаточно велика; ее увеличили и тем самым удлиненил весь вагон. Но вместо того чтобы, как было бы разумно, свободно сконструировать новую карету, подходящую к длинной базе, выстроили невероятным образом ряд обыкновенных карет, одну за другой. Эти кареты «склеились» друг с другом по торцовым стенкам и превратились в купе, но при этом остались без изменений боковые двери, с большими окнами в них, и меньшие окна спереди и сзади дверей. Стенки, разделяющие купе, остались в целости, так что кондуктору приходилось перемещаться снаружи, для чего были устроены ряд ручек и проходная вдоль всего поезда подножка. Такое в самом прямом смысле боязливое следование однажды испытанному и нежелание испробовать что-нибудь совсем новое типичны для магического мышления. Но нигде эти свойства не проявляются яснее, чем в тех технических изделиях, где они препятствуют очевидным решениям задач.

Еще более отчетливо, если и не столь удивительно, эта склонность людей к магическому консерватизму проявляется в таких продуктах культуры, форма которых в меньшей степени определяется их функцией и потому оставляет больше места другим факторам, например символическому значению, возникшему из ритуализации. Отто Кёниг предпринял в своей книге «Культура и исследование поведения» сравнительное изучение исторического развития военных мундиров, показав, что в этой области не только применимы в строгом смысле понятия гомологии и аналогии, но даже явления изменения функций, рудиментации и остаточных образований выступают точно так же, как в филогенезе. Из множества одинаково впечатляющих примеров приведем здесь развитие так называемого латного воротника, воспроизводимое на следующей иллюстрации. Оно показывает, как из первоначально функциональной части панциря получается путем изменения функции знак различия.

Все эти явления свидетельствуют об отсутствии предварительного планирования в развитии упомянутых продуктов культуры. Они служат определенным функциям точно так же, как органы животных, и параллели, существующие между их историческим развитием и филогенетическим становлением структуры органов, наводят на мысль, что в обоих случаях действуют аналогичные факторы и прежде всего, что главную роль играет при этом, безусловно, отбор, а вовсе не рациональное планирование.



Иоганн Вольфганг Гёте — естествоиспытатель

К.Г.Михайлов

Переводы биологических сочинений автора «Фауста» известны в России уже в течение столетия. Не забудем, что сам термин «биология» появился лишь в самом начале XIX века, а прижился в науке гораздо позднее, поэтому Гёте говорит в первую очередь о морфологии растений и животных. Термин «морфология» введен как раз Гёте. Ныне под морфологией понимают изучение наружных структур животных и растений, хотя исходно, у Гёте, речь шла о науке, исследующей динамику формы.

Из крупных изданий переводов Гёте по естествознанию можно назвать переводы В.О.Лихтенштадта (1920) и И.И. Канаева (1957, в академической серии «Классики науки»). Печальная история еще одного, несостоявшегося издания разобрана в комментариях к рецензируемой книге. В 1929 году Госиздат принял решение об издании 13-томного издания сочинений Гёте, и в последний, 13-й том предполагалось поместить научные сочинения великого немца. Редактировать этот том согласился В.И.Вернадский. Перевод текстов выполнил известный историк и педагог И.М. Гревс, а редактировали тексты специалисты-биологи, в том числе носитель немецкого языка (ботаник З.Ф.Руофф). Но вскоре некоторые редакторы были репрессированы, сам Гревс скончался в начале 1941 года. В том же году Госиздат расторг договор с В.И. Вернадским, и это издание не состоялось. Вводный очерк самого В.И. был опубликован уже посмертно, в 1946 году, в «Бюллетене Московского общества испытателей природы».

Нынешний трехтомник научных сочинений И.В.Гёте выходит по инициативе Фонда «Терапевтическая эвритмия» (Москва) под редакцией и с примечаниями С.В.Казачкова. Ему же принадлежат и несколько переводов. Некоторые биологические комментарии даны Г.Ю.Любарским. Ранее не опубликованные рукописи переводов были разысканы в Российском государственном архиве литературы и искусства и в Архиве Российской академии наук. Через несколько лет, надеюсь, следует ожидать томов по физике (учение о цвете, учение о звуке) и геологии с метеорологией.

Главное отличие нового издания — значительно более полная, многосторонняя подборка работ Гёте по биологии. Основной текст книги состоит из трех больших разделов — это сочинения, изданные при жизни автора, неизданные очерки, вместе с черновиками и набросками, и — в качестве приложения — пять вводных статей Рудольфа Штайнера к работам Гёте по естествознанию, написанные в 1880—1890-е годы. Справочный аппарат велик и занимает почти треть общего объема книги. Для первых двух разделов использованы переводы И.М.Гревса (в основном), В.О.Лихтенштадта, С.В.Казачкова и др. Некоторые материалы Гёте, а также статьи Штайнера публикуются на русском языке впервые.

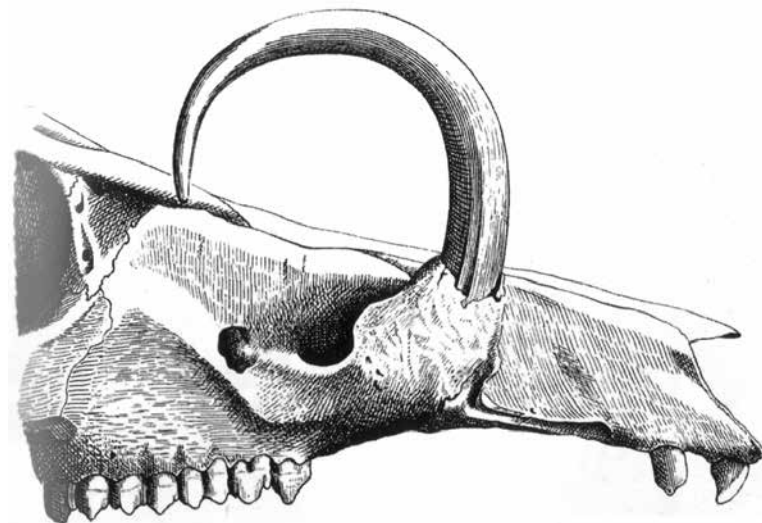
Справочный аппарат книги помимо подробных примечаний включает список изданий научных сочинений Гёте, краткий очерк о Гёте как биологе (по пунктам, с чисто немецкой аккуратностью), историю несостоявшегося тома под



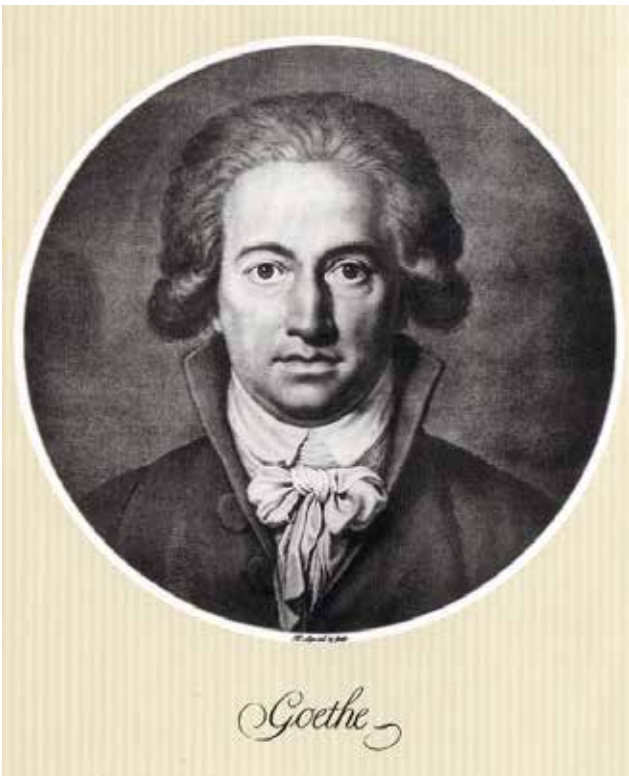
Гёте И.В. Научные сочинения. Том 1. Образование и преобразование органических существ (морфология). М.: Товарищество научных изданий КМК. 2014

редакцией В.И.Вернадского, хронологию работ Р.Штайнера над изданием научных произведений Гёте и обоснованием его идей, краткую биографию Е.С.Смирнова (энтомолога, автора одного из переводов), перечень публикаций в журнале Гёте «О естествознании вообще, преимущественно о морфологии», в серии «О морфологии», именной и терминологической указатели и список литературы. В комментариях Г.Ю.Любарского обсуждаются многие проблемы биологической систематики и морфологии XX и даже XXI века — это и гомеобоксные гены, и филогенетическая систематика В.Хеннига, и мерономия С.В.Мейена, и гомологические ряды Н.И.Вавилова...

Главное чувство, которое возникает при знакомстве с текстами, приложениями и комментариями, — вот, наконец, настоящий, аутентичный Гёте, очищенный от неокантианской и позитивистской шелухи. Посмотрите хотя бы обстоятельные комментарии к «Сомнению и смирению» (с.546—551). Фигу-



Челюсть бабирусы (здесь и далее иллюстрации из книги)



Гёте в возрасте 42 лет. Гравюра И.Г.Лунса, 1791

ра Рудольфа Штайнера воспринимается в наше время более чем неоднозначно, но его заслуги в деле анализа и развития естественно-исторических взглядов Гёте несомненны.

Прежде чем попытаться изложить суть научно-философских взглядов Гёте, приведу три цитаты: «...уровень воззрений современного человека измеряется его отношением к гётевскому мировоззрению» (Р. Штайнер); «Миросозерцание Гёте самое многостороннее, какое только можно себе представить» (Р. Штайнер); и еще: «Есть два Гёте: Гёте извне, почитаемый и не читаемый, а если и читаемый, то по всем правилам кабинетно-филологического этикета, и Гёте изнутри — открытая книга, чтение которой равно непрерывному соавторскому риску» (К.А.Свасьян). К сожалению, Гёте не оставил нам полного последовательного изложения своих биологических воззрений, хотя за такой труд он принимался как минимум трижды в течение своей долгой жизни, два раза в 1790-е годы и потом еще раз в 1806—1807-е...

Так или иначе, в 1790 году был издан лишь «Опыт объяснения метаморфоза растений» (позднее переименован автором в «Метаморфоз растений»), а основные морфоло-

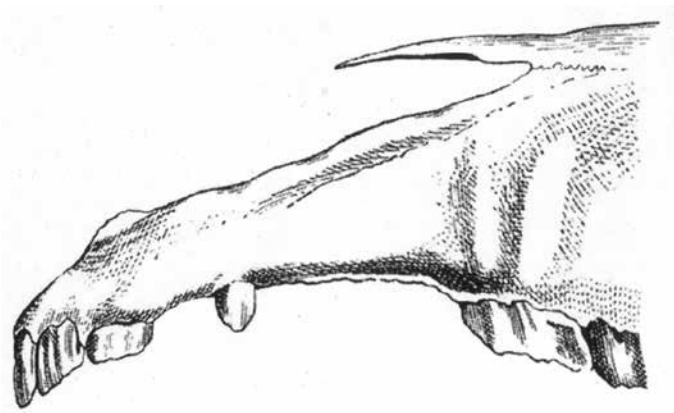
гические работы (среди них — важнейшие) стали выходить после 1817 года, в серии сборников «О морфологии» в выпусках журнала Гёте. Необходимо также различать собственно большие и малые биологические гипотезы и открытия Гёте (теория, согласно которой череп состоит из видоизмененных позвонков, открытие межчелюстной кости и т. п.) и его общую теорию органического мира, включая методы, приемы обобщения и логику работы. Отдельные открытия никогда не были для Гёте самоцелью. Хотя, читая его сочинения по ботанике или остеологии, нельзя не признать его превосходным специалистом в данных областях знания, и гипноз «Гёте-поэта» отходит в сторону.

Итак, в самом общем виде, тезисно.

1. Гёте понимает морфологию как науку о форме, об органической форме в первую очередь. Причем эта форма изменчива и динамична, подвержена метаморфозу. В этом отношении Гёте — полная противоположность Линнею с его систематизаторством. «У природы нет системы, у нее есть жизнь...» Перефразируя, система, как и форма, должна быть динамична, а не статична. То есть природа изменчива и способна к развитию. Отсюда можно несколько односторонне перекинуть мостик к трансформизму и даже к эволюционным воззрениям, победившим в середине XIX века.

2. Гёте выдвигает особый, антикантианский способ познания, который можно было бы назвать «рационально сверхчувственным». Он применим в первую очередь к органическим объектам. Великий немец, несомненно, некоторым образом «увидел» свое знаменитое «прарастение» (Urpflanze) во время путешествия в Италию. Но к мистике и иррационализму это никакого отношения не имеет, речь идет об интеллектуальном созерцании, интеллектуальной интуиции в правильном понимании этого термина (по Гёте, «созерцающая способность суждения»), понятии, чуждом современному естественно-научному сообществу и, как считается, дискредитированном всем развитием науки и философии XIX и XX веков. Гёте же полагал, что наш мозг, «духовные глаза», «мысленный взор» — это тоже некоторым образом орган восприятия мыслей. Эту точку зрения развивал в начале XX века известный немецкий философ Эдмунд Гуссерль.

Исходно опыт мысли и чувственный переживались как некая целостность, которая в исторических масштабах сравнительно недавно расчленилась на рассудочное (внеопытное) понятие и чувственный опыт (начиная примерно с XVII века мысли отказали в праве считаться опытом). Другими словами, наше «я» и внешний мир призваны снова составить некое единство. И приближаться к истине следует, чередуя чувственный и мыслительный опыты, улучшая один за счет другого. Будучи непознанной, природа некоторым образом и не существует: «Более того, внутреннее содержание природы проявляется во внешнем мире и актуально существует только в той мере, в какой познано нами» (комментарий С.В.Казачкова, с. 562). Соотношению мировоззрений Гёте и Канта посвящены многие и многие страницы комментариев



Челюсть лошади



С.В.Казачкова к рецензируемой книге.

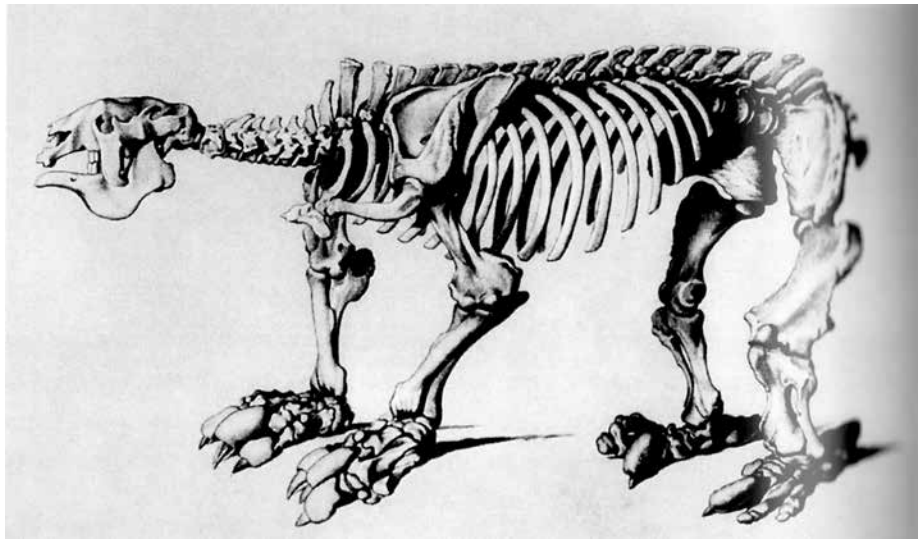
3. Наука Гёте идет от частного к общему и снова — к частному. Одним из ключевых понятий здесь служит понятие типа (проявляющейся в организме закономерности), который понимается как динамический архетип; «в качестве такого сравнительного канона ни одно отдельное животное предложить невозможно»; «опыт должен показать нам, какие части общи для всех животных и в чем эти части различаются. Идея должна управлять всей этой совокупностью и генетически выводить общий образ». Тип Гёте имеет очень мало отношения к филогенетическому предку той или иной группы животных или растений, на чем в 1860-е годы настаивал великий биолог-эволюционист Эрнст Геккель и с чем радостно согласились многие последующие исследователи научного творчества Гёте. Удивительным образом чистую теорию динамического архетипа, правда редко ссылаясь на Гёте, в середине XX века развивал российский биолог Б.С.Кузин; как водится, его работы были опубликованы лишь посмертно, в 1980—1990-х годах.

Как соотносить мировоззрение Гёте с современным естественно-научным мировоззрением? Философы и методологи науки признают, что тип для органического мира представляет собой то же, что закон — для неорганического. Мышление биолога насквозь типологично, но он не всегда это осознает, как мольеровский Журден не осознавал, что говорит прозой. Самый простой пример — типологическая экстраполяция. Глядя на любое млекопитающее, мы точно знаем, что его самка выкармливает детенышей молоком, а кровь у него теплая, и для этого вовсе не нужно исследовать каждый попадающийся нам экземпляр. Потому что это — часть характеристики класса млекопитающих.

У Гёте (и затем у О.П.Декандоля, в русском переводе в 1837 году) выражено понятие мерона, или гомологизированного признака, правда, без употребления самого этого термина. Здесь мы видим переключку с трудами советского ботаника, палеонтолога и теоретика биологии С.В.Мейена 1970-х годов, хотя сам Мейен на работы Гёте в этом отношении не ссылается (с. 572—573 и 581, примеч. Г.Ю.Любарского). Гёте говорит даже о фрактальности природы, хотя само это понятие было сформулировано лишь в 1975 году. Серьезный анализ типологического подхода в биологии был проведен Г.Ю.Любарским в его работе «Архетип, стиль и ранг в биологической систематике» (1995). Дальнейшее развитие этого направления в российской науке прослеживается очень фрагментарно. В англосаксонской же науке, ставшей теперь мировой, этот подход принят, к сожалению, игнорировать.

А дальше и глубже — предлагаю читателю исследовать данный вопрос самостоятельно.

Один из очерков Штайнера дан в переводе Е.С.Смирнова. Автору этого перевода посвящен краткий биографический очерк, вошедший в книгу. Евгений Сергеевич Смирнов



Скелет исполинского ленивца (американского мамонта)

(1898—1977) в течение 30 лет заведовал кафедрой энтомологии в Московском государственном университете; еще в своих ранних работах 1920-х годов он постарался применить теорию типа Гёте к зоологической систематике. Похоже, он состоял в теософских и антропософских кружках и даже в «темные» 1940-е и 1950-е годы сохранил свой интерес к этому направлению, хотя в те времена такого рода деятельность «решительно пресекалась» советскими органами внутренних дел. Но — тогда обошлось. В библиотеке Е.С. хранился ряд книг Штайнера (по-немецки и в русских переводах), а в архиве были обнаружены рукописи переводов таких сочинений, как «Философия свободы», «Мировоззрение Гёте» и др. Все это выяснилось после кончины его вдовы, Милицы Сергеевны, в середине 1980-х годов, при разборке архива на квартире ученого. Рукописи переводов, записанные Е.С. в школьных тетрадках и на листочках блокнотов, были затем усилиями Г.Ю.Любарского отпечатаны на пишущей машинке (добрая диссидентская традиция), а позднее, в 2000-е годы, набраны на компьютере при участии автора настоящей рецензии. Эти материалы были в свое время переданы редактору данного тома и пока опубликованы лишь фрагментарно. Насколько я понимаю, перевод «Философии свободы» Штайнера, написанный не занудно-дословно, а в художественном и при этом классически-научном ключе, особенно интересен для публикации.

Все издание очень тщательно отредактировано и откорректировано. Шероховатости в переводах ничтожны. Например, я бы сказал не «о компаративной анатомии», а все-таки «о сравнительной анатомии». В текстах Штайнера есть ссылки на так и не написанные им примечания — все эти места в книге заботливо помечены. Приятно удивляет использование для форзацев рисунка так называемой мраморной бумаги, характерной для обложек книг конца XVIII — начала XIX века.

Кажется, редактору тома остался неизвестен неопубликованный перевод «Метаморфоза растений», сделанный И.П.Бородиным. Он хранится в Санкт-Петербургском архиве РАН. В дальнейших историко-научных исследованиях его следует непременно учесть.

Интересно, как отреагирует российское «нормальное научное сообщество» (в ироническом смысле Томаса Куна) на появление этой, во всех отношениях яркой и интересной, но, увы, — «нематериалистической» книги. Неужели опять замалчиванием?..





Новая жизнь



Елена Карасева

НАНОФАНТАСТИКА

— Хочешь знать, каково это? Черт возьми, Говард, это лучшее, что случилось со мной в жизни!

Худой мальчишка с взъерошенными волосами стоял у огромного, во всю стену, окна, раскинув руки, будто собирался отправиться в полет над уходящим за горизонт городом. Его собеседник был далеко не молод. Он сидел в кресле и водил пальцами по резному набалдашнику деревянной трости. В поблекших, окруженных сеткой морщин глазах застыла задумчивая печаль.

— На прошлой неделе ты говорил о снах, — напомнил он.

— А еще взял большую ложку и умял торт с клубничным кремом, — рассмеялся мальчишка.

— Хватит дурачиться, Николас. Я пришел поговорить с другом, а не с десятилетним пацаном.

— Ты просто боишься, признайся. — Николас наконец оторвался от окна, но по-прежнему улыбался во весь рот. — Дурачусь ли я? О да! Хочу арендовать военный крейсер и устроить на нем вечеринку века, хочу наполнить шоколадом бассейн и запустить туда десяток обнаженных фотомоделей, хочу полететь на Луну! Скоро ты поймешь меня. Первая молодость естественна, мы не осознаем ее ценности. Вторая похожа на наркотик. Интересно, какой станет третья?

— Белая комната, цветные кубики на полу, так? Я беседовал с Симоной. Во сне она не чувствует себя собой. Эти люди живые. И после них что-то остается.

— Ты — старый зануда, Говард. Великие открытия совершаются для того, чтобы ими кто-то воспользовался. Настало время сделать последний шаг. Зачем иначе ты потратил такую кучу денег?

— Пошел на поводу у сумасброда-приятеля.

— И я еще устану слушать твои благодарности. — Николас в два прыжка оказался у кресла Говарда и со всего маха ударил

друга по плечу, от чего тот возмущенно крикнул. — Ну же, доллой сомнения! Забери, наконец, то, что принадлежит тебе, и мы вместе отметим начало новой жизни.

Человек в белом халате являл собой образец дружелюбия и понимания, говорил негромко, был готов ответить на любой вопрос. Все в нем заставляло проникнуться доверием, отдаться в его заботливые руки.

— Процедура будет проведена в самых комфортных условиях, — вещал он. — Вы погрузитесь в сон, который продлится около часа. Зачистка сознания клона проводится непосредственно перед переносом вашей личности в его тело.

— Зачистка может быть неполной? — спросил Говард.

— Ну что вы! Наша технология прошла многолетние испытания, она ни разу не давала сбой.

— А как же сны? Два моих друга, ваших клиента, упоминали о странных снах.

Улыбка на лице врача оставалась спокойной и располагающей. Вопрос пациента его ничуть не смутил.

— Мы называем это явление фантомными воспоминаниями. Оно возникает далеко не всегда. Сны продолжают не более недели. По сути, они — просто эхо, оставшееся в головном мозге, и никак не связаны с личностью клона. Ваше сознание будет принадлежать только вам.

— Кстати, о личности клона. Она ведь существует. Вы продаете только тела, так зачем позволяете развиваться сознанию?

— Издержки метода, — вздохнул врач. — Если выращивать не людей, а комнатные растения, то сознание пациента не приживется. Вы превратитесь в точно такой же овощ. Клон должен взаимодействовать с окружающим миром, развиваться, играть, учиться говорить. Пусть вас не беспокоит моральная сторона вопроса. Согласно постановлению Единого суда по правам человека, эти существа не могут считаться полноценными людьми. Созданные по заказу клиента, они представляют собой высококачественный медицинский материал.

— Я могу его увидеть? Своего клона.

— Хотите убедиться, что тело выращено без изъянов? Это ваше право.

Их держали на подземных этажах того же здания. Сквозь стеклянную стену Говард смотрел на самого себя. Темноволосый мальчик с щемяще знакомыми чертами лица раскладывал красные и синие кубики на белом полу.

— Они задают вопросы? — спросил Говард. — Хотят знать, что находится за пределами камеры?

— Редко. Чаще просят взять их с собой, не задумываясь, куда именно. Им не знакомо понятие «родители», но тяга к другим людям остается. Мы в свою очередь рассказываем, что однажды за ними придет «проводник». Он станет заботиться о них и заберет в большой мир. Они верят. И ждут.

Тоска и отвращение стали совершенно нестерпимыми. Решение, все это время зревшее в подсознании, показалось глотком свежего воздуха.

— Клон ведь принадлежит мне?

— Разумеется, так записано в контракте. Вы полностью оплатили его создание и выращивание. Напоминаю, что компания «Новая жизнь» предоставляет скидку десять процентов на каждого следующего клона...

— Откройте дверь, — прервал его речь Говард. Увидев полное непонимание на лице врача, повторил: — Откройте.

Белая комната давила холодом и одиночеством.

Когда Говард шагнул через порог, мальчик, ничего не знавший о человеческой жизни и человеческой жестокости, поднял голову.

— Ты мой проводник? — первым заговорил он.

— Нет, — губы Говарда тронула улыбка, — я твой отец. Иди-ка сюда.

Маленькая ладонь доверчиво коснулась его руки.

Говард осторожно сжал пальцы и прикрыл глаза, впитывая кожей и сердцем тепло своей новой жизни.

Как увидеть, что говорят люди

Е.Клещенко

Тем, кто жалуется на тотальную глупость интернет-пользователей, интересующихся только смешными картинками и котиками: нет правил без исключений. Кандидат биологических наук Георгий Юрьевич Любарский много лет ведет блог в Живом Журнале (ivanov-petrov.livejournal.com). Смешные картинки там бывают, однако главная особенность этого блога — тексты, по нынешним меркам не короткие и далеко не всегда простые. Проблемы современной теории эволюции, история науки, образование, общество, литература; тысячи читателей, сотни комментариев. Не помню, чтобы этот блогер беспокоился о рейтинге, бонусах и прочих важных для «тысячника» вещах, — он просто рассказывает интересное, а слушатели собираются сами.

Два года назад в блоге Г.Ю.Любарского появилась статья о разработанном им методе исследования общественного мнения — когнитометрии. На сайте polit.ru был опубликован результат его применения (что говорят блогеры о вере, религии и церкви и, не менее важное, — какие темы почему-то НЕ обсуждаются в связи с этими понятиями, хотя теоретически должны бы; http://www.polit.ru/article/2012/07/10/cognitometry_church1/). Некоторые другие результаты мы покажем в этой статье.

Устная письменная речь

С тем, как Интернет изменил жизнь человечества, еще долго предстоит разбираться. Это доступ к полезной и бесполезной информации, возможности для общения — то и другое в изобилии, которое сперва восхищает, потом пугает и подавляет, а затем вызывает адаптацию и/или зависимость со всеми характерными симптомами. Это шанс услышать и быть услышанным, достигнуть числа Данбара, а то и выйти за его пределы. (Робин Данбар, профессор эволюционной антропологии из Оксфорда, установил, что предельное количество устойчивых социальных связей, которое может поддерживать индивид, примерно

равняется 150. Существенно превысить этот предел, по-видимому, нельзя, однако у большинства людей в реале и 150 постоянных собеседников не набирается...) Общение происходит в новом формате, еще лет двадцать назад невозможном и невообразимом. Лучше самого Г.Ю.Любарского тут, пожалуй, не скажешь. (Здесь и далее цитаты курсивом из его статьи, посвященной данному методу.)

«Разговор в Интернете — это очень специфическая культурная реалия (при том, что чрезвычайно распространённая). Это новая и неустоявшаяся граница между приватностью и публичностью. Это разговор двоих или троих на ярко освещённой сцене перед совершенно темным зрительским залом — а в зале может никого не быть, а может быть несколько тысяч человек, которые внимательно слушают каждую реплику и следят за поведением говорящих. Это внепространственность — говорить могут люди из ЮАР, Москвы и Канберры — в одном разговоре. Это чрезвычайная разнесённость во времени. Иногда разговор заканчивается, а через пять лет приходит человек, обращается с вопросами к говорившим — и ему отвечают, разговор продолжается с паузой в пять лет. Это разговор на новом виде, новом формате языка — “устная письменная” речь, использующая как устные обороты, так и очень изощрённые литературные конструкции. Это разговор, подкреплённый огромным количеством глубоких примеров — даваемых ссылками, которые требуют многих часов для своего изучения».

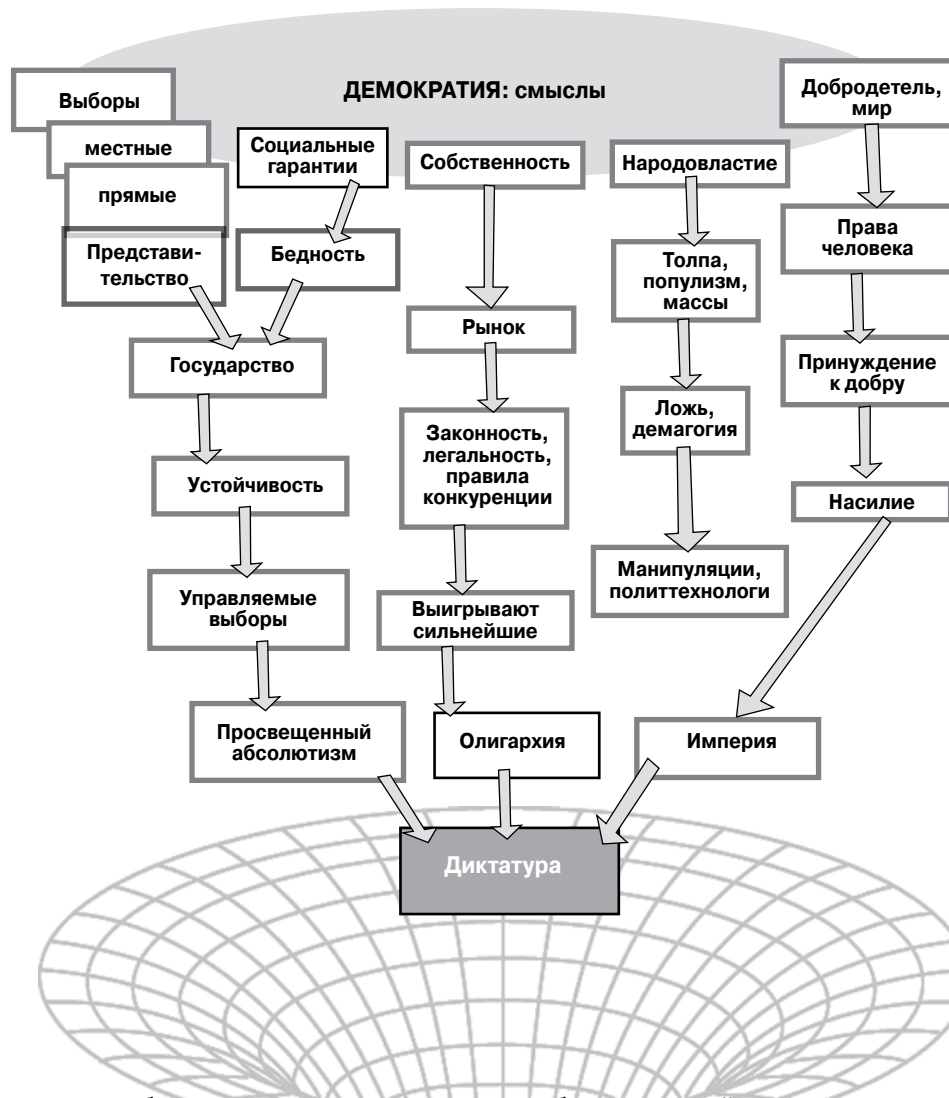
Выделим тут удобные условия общения. В Интернете меньше вероятность, что кто-то будет не услышан из-за тихого голоса или медленного подбора аргументов, что договорить будет некогда (некогда сегодня — продолжим завтра), что сказанное в начале забудется к концу разговора (все записано). При этом люди, как и в офлайне, стремятся высказать свою точку зрения, обсудить ее с другими, по возможности доказать свою правоту или — значительно реже, но все-таки бывает — признать

неправоту. И добавим «неустоявшуюся границу между приватностью и публичностью», что проявляется в том числе как «эффект палатки»: собеседники не всегда помнят, что их беседу в уютном виртуальном пространстве личного блога может услышать кто угодно «снаружи», если хозяин не озаботился сделать свою публикацию закрытой.

Из всего этого следует, что разговоры в Интернете — сокровище для социологов, вероятно, также и для других исследователей человека и общества. Почти домашний уровень откровенности; отсутствие вопросов интервьюера (а вопрос плох тем, что так или иначе подсказывает ответ); сниженное, хотя и не исчезающее полностью, стремление высказываться «как принято», соответствовать чьим-то ожиданиям; условия самовыражения, максимально комфортные для каждого; практически не ограниченный круг обсуждаемых тем... И огромное, сказочное изобилие этого нового материала. Словом, просто праздник. Как у ботаников в XVII—XVIII веках, когда человек мог отправиться в Ост-Индию или на Антильские острова по совершенно другому поводу, между делом собрать и привезти в Европу сотни доселе невиданных образцов и навсегда остаться в истории науки.

Но изобилие материала — оно же и недостаток. Тысячи, миллионы людей в эту самую минуту говорят о чем хотят и где хотят — на форумах, в личных блогах, в комментариях к статьям электронных СМИ. Как найти нужные нам разговоры — это еще полбеды, есть технические средства, но как анализировать сотни и тысячи сетевых разговоров, возникающих спонтанно и ведущихся в свободной форме? Может, не так уж наивны те, кто думают, что их никто не слышит. Лист прячут в лесу, камень на морском берегу, а голос — в шуме голосов.

На самом деле ничего невозможного в этом нет. Анализ неупорядоченных данных — задача, которую постоянно приходится решать и естественным, и гуманитарным наукам. Метод, предложенный Георгием Любарским, позволяет составить на основе сетевых разговоров



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Во многих случаях было бы полезно на этом этапе привлекать экспертов, которые определяют точнее, что и как будем искать, подскажут, «как люди это называют», — от точных словарных терминов до бытовых. И после того, как мы проведем поиск, необходимо, увы, вручную отфильтровать цитаты. Скажем, если нас интересует мнение людей о «перестройке» как периоде российской истории, придется отсеять разговоры об архитектуре и ремонте квартиры. Или возьмем любимый пример «Химии и жизни» — бытовое употребление слова «химия» в таких значениях, как «загрязнение окружающей среды» и «вредные пищевые добавки». Если мы захотим узнать, что говорят люди об экологической ситуации в мегаполисе, слово «химия» обязательно надо включить в поиск, но не как название науки о веществе.

Естественно, данный этап очень важен. Метод, как говорит Г.Ю.Любарский, следует отнести к «интеллектоемким», машина его не выполнит за нас. Но это нормально для научного исследования — хочешь получить умный ответ, спрашивай умно. И ЯМР-спектроскопия, и секвенирование ДНК требуют от пользователя солидных базовых знаний об изучаемых объектах, и всегда приветствуется наличие разумной гипотезы, которую можно подтверждать либо опровергать. К счастью, в когнитометрии число попыток практически не ограничено (разве что временем, которым располагает исследователь), и если первоначальная гипотеза явно не приводит к успеху, ее можно скорректировать.

Для сбора материала автор метода использовал поиск Яндекса по блогам (<http://blogs.yandex.ru>) — для русскоязычной блогосферы трудно предложить что-то лучшее. Машина ищет в разных социальных сетях, на форумах и в прочих «диалоговых ресурсах». Естественно, в эпоху всеобщего освоения функций «копировать» и «вставить» надо быть готовым к тому, что искомые слова окажутся внутри цитаты из книги или фрагмента журналистской статьи, которую один блогер показывает дру-

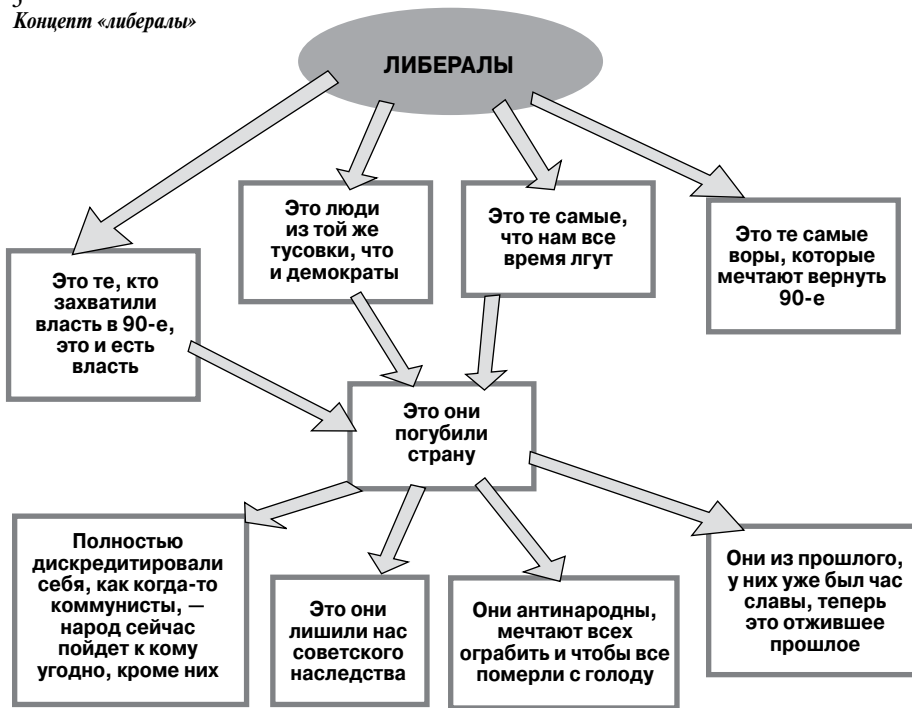
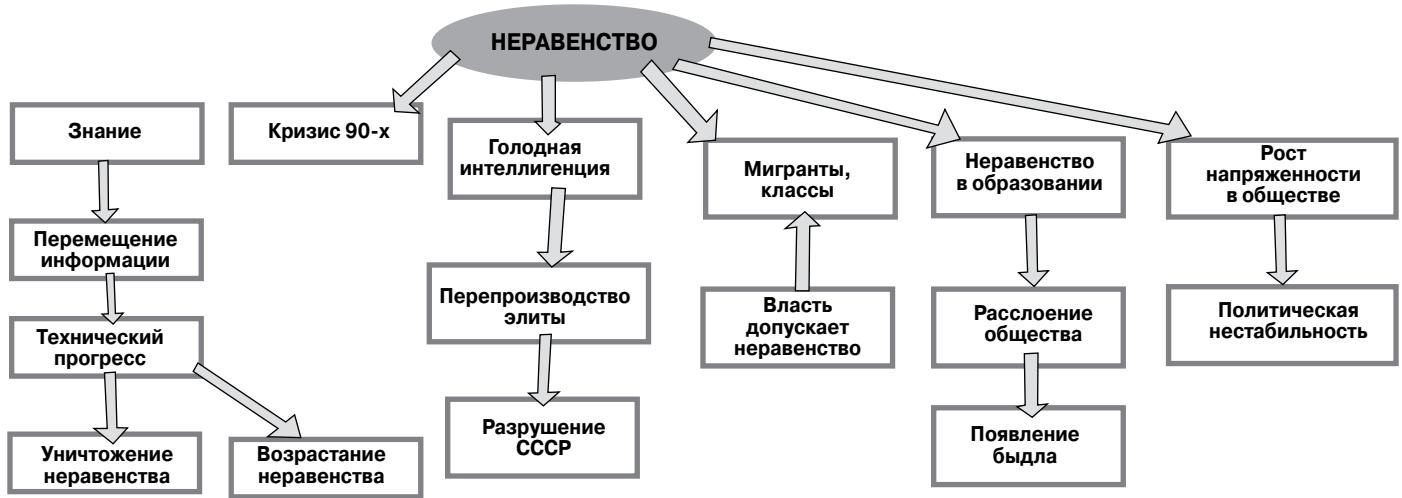
картину общественного мнения по тому или иному вопросу. Автор метода назвал его когнитометрией, а результаты исследований, посвященных конкретным темам, — «когнитивными схемами» (когнитивный — имеющий отношение к разуму, мышлению), «картами концептов», «картами общественного мнения». (Не путать с когнитивными картами Эдварда Толмена, см. статью о Нобелевской премии по физиологии или медицине в этом же номере. Здесь речь идет не о нейронных сетях, а о связях между понятиями.) Короче говоря, на выходе получается объективный, представленный в сжатой форме ответ на вопрос: «Что говорят люди о?..»

Удивительно или нет, но разнообразие людских мнений не так уж безгранично и в значительной мере сводится к повторению того же самого другими словами. Конечно, существуют люди, которые мыслят не как все, имеют мнения, отличные от общественного. Как отмечает автор метода, они оказываются вне поля зрения когнитометрии по объективной причине: носителям

необычных мнений труднее выразить свои мысли, быть понятыми и вступить в диалог, поэтому, исследуя разговоры, их редко можно встретить. Однако это действительно единицы, в прямом смысле слова. Если носители определенного мнения встретились в количестве, достаточном для беседы, — тем самым они становятся видимыми, по крайней мере в большой выборке.

Порядок действий

Чтобы запустить поиск, надо, как известно, задать ключевые слова, а чтобы сделать это — нужна предварительная гипотеза о том, что говорят люди. Не только о темах, но и о том, какие слова они могут употреблять, какие прилагательные подбирают к существительным и какими глаголами обозначают взаимодействия между ними. Можно использовать и другие возможности поиска — например, задать временные рамки, ведь бывает интересно узнать, что говорили люди до некоего события и после него, два года назад или прямо сейчас.



гому. Но это едва ли можно считать недостатком метода: ведь люди приводят цитаты в подтверждение своего мнения. И если поиск даст различные картины в зависимости от того, будут ли использованы книжные или разговорные синонимы одного и того же понятия, — это тоже интересно.

Итак, поисковый робот подобрал для нас ссылки на множество разговоров. Мы убрали явное не то, рекламу и прочий мусор, где нужно — раскрыли гиперссылки. (Еще одна особенность интернет-бесед: вместо обычного ответа на вопрос собеседника может стоять ссылка на реплику в другом разговоре, документ на сайте и т. п.; это не всегда считается дружественным поведением,

но иногда бывает необходимо.) Выберем интересующие нас фрагменты разговоров — как правило, именно те, которые содержат наши ключевые слова, и получим подборку высказываний блогеров. Уже и это, как правило, достаточно любопытное чтение. Автор этих строк делала аналогичные подборки — например, о том, что говорят люди о ГМО сразу после очередного закона или высказывания официального лица на данную тему. Даже если не стремиться к созданию полной картины, результаты бывают поучительными.

Но для когнитометрии это только предварительный этап. Теперь нужно вычленив в «устной письменной речи» структурные элементы — объекты

обсуждения, их свойства и функции: «что», «какое оно», «что оно делает». Естественно, с учетом того, что говорить об одном и том же можно различными способами. И снова это работа, которую нельзя передоверить машине: «в некотором разговоре слово “ж*па” может быть полным синонимом выражения “дела со здравоохранением в области обстоит неважно”». Структура, которую ищет исследователь, во многом определяется предварительной гипотезой и задачами: например, мы можем искать все возможные определения некоего понятия, его синонимы или эпитеты. Более сложный вариант — проследить, как, согласно утверждениям собеседников, одно влияет на другое, какие отмечаются причинно-следственные связи; какие встречаются противопоставления, устойчивые ассоциации, что в связи с чем вспоминают. Можно узнать, что из вышеперечисленного стереотипно — встречается часто, говорится на автомате, а что, напротив, оригинально. Мысли респондента (возможно, не все им высказанные, а только интересующие нас в данный момент; живой разговор редко бывает строго сосредоточен на одной теме) теперь можно представить в виде скелета, элементов и связей между ними, и затем фрагменты таких схем, проявившиеся в отдельных разговорах, объединить в общую сеть.

Метод новый, подобного до него не существовало (было бы удивительно, если бы существовал, ведь раньше не было и блогосферы). Однако подходы, позволяющие сводить безграничное разнообразие к постижимой схеме, применялись в других областях; один из примеров — классификация мифов по используемым в них сюжетам, разработанная Ю.Е.Березкиным (см. «Химия и жизнь», 2006, № 3).

И вот наконец получается некая обобщенная структура разговоров на интересующую нас тему, представленная графически, — необозримый материал становится обозримым. Посмотрим на примеры таких структур.

Результаты

Изумительно выглядит карта концепта «демократия». Все разговоры о демократии в Рунете, все «движения смыслов» идут от положительно оцениваемых понятий и явлений, связанных с демократией, к «плохим», негативным — и в конце концов к диктатуре. Начните рассуждать о демократии, и через некоторое время темой разговора станет диктатура. Это не шутка, не парадокс, а объективный результат исследования, проведенного по только что описанной методике (рис. 1).

Карта концепта «неравенство, обсуждаемого в связи с событиями 90-х годов (рис. 2), не так эффективна, но тоже довольно интересна.

Не все респонденты судят одинаково о причинах и следствиях того или иного явления, о вреде или пользе от него. Поэтому на картах концептов к одному и тому же узлу могут идти несколько стрелок (одни считают причиной экономического кризиса общемировые процессы или законы экономики, другие — действия конкретных правительств или даже отдельных личностей) или же две стрелки могут расходиться из одного узла (по мнению одних, технический прогресс уничтожает неравенство, по мнению других — усугубляет его, как мы видим на рис. 2). Это нормально: противоречия — часть картины мира, важная характеристика общественного мнения.

Конечно, противоречия могут быть разными. По какому-то вопросу можно проследить два противоборствующих мнения, причем представители каждого знакомы с позицией оппонентов и активно занимаются ее опровержением, тем самым включая оппонента в свою картину мира. А в каких-то случаях получается путаная карта, богатая развилками противоречий, взаимоисключающими утверждениями (которые могут встречаться даже у одного и того же респондента). Такой результат означает, что устойчивого мнения по данному вопросу в обществе нет.

А вот по концепту «либералы» оно есть или, во всяком случае, было в начале 2000-х, когда проводилось исследование. (Сейчас картина может оказаться иной — ландшафт мнений изменчив, как все живое.) На рис. 3 представлена карта концепта «либералы», полученная при анализе разговоров о событиях 90-х годов. Респонденты на редкость еди-

нодушны, давая резко отрицательную оценку либералам, при этом словарное значение слова «либерализм» не обсуждается вообще.

Отметим, что метод когнитивных карт не позволяет «доказать все, что угодно». Несмотря на кажущуюся свободу, которую он предоставляет исследователю, — из совокупности текстов нельзя извлечь то, чего в ней нет, или проигнорировать то, что в ней есть. (Конечно, если не жульничать, подделывая результаты.) Бывали случаи, когда когнитивная карта оказывалась совсем не похожей на стартовую гипотезу — люди говорили не так, как предполагал исследователь. И конечно, результаты поддаются проверке.

Методы работы с высказываниями можно описать достаточно четко, чтобы исследование повторил другой человек, показав воспроизводимость результата. Для этого полезно сохранять сырые данные — исходную совокупность текстов, предоставленную поисковиком, чтобы можно было к ним вернуться и перепроверить результаты. Возможно, какие-то высказывания были неверно поняты и соответственно неправильно представлены (в среде общения, где «дадада» не означает согласие, этого никогда нельзя исключать). Другой способ проверки, опять-таки общепринятый в науке, — увеличить выборку, например, с 2000—3000 ссылок до 10 000 ссылок. По опыту автора, если какого-то мнения нет в выборке на десяти тысячах, то, скорее всего, его не появится и на тридцатитысячной выборке. Другое дело, что 10 000 — это очень большой объем работы.

Как это можно использовать?

«После того как получен результат, сформулирована карта концептов, из нее можно сделать ряд рекомендаций для других методов исследования — например, для массовых опросов или глубинных интервью. Скажем, анализ блогосферы показывает, что многие люди полагают, будто перестройка не закончилась еще и в 90-х годах и говорят даже о 2000-х как о времени перестройки. Этого факта можно не знать, но можно его проверить, устроив массовый опрос и убедившись, что около 20% респондентов полагают, будто перестройка все еще продолжается». (Такой опрос проводил фонд «Общественное мнение», <http://soc.fom.ru/Proshloe/10704> в рамках проекта «Историческая память». Кстати, при подготовке этого проекта использовались когнитивные карты.)

Использовать метод построения когнитивных карт как предварительную стадию при подготовке массовых опросов, глубинных интервью и т. п.,



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

вероятно, было бы полезно. Традиционные социологические методы требуют серьезной подготовки и стоят дорого. Если перед выбором вопросов у исследователей будет возможность посмотреть на когнитивную карту по данной теме, такая «пристрелка» позволила бы подобрать более точные вопросы и при тех же затратах значительно улучшила бы результат.

Традиционные методы опросов респондентов и когнитивметрия, в сущности, прекрасно дополняют друг друга. О людях, чьи разговоры в Интернете мы видим, мы, как правило, не знаем ничего, кроме того, что они написали вот эти слова. Для некоторых можно найти их биографические данные, но для многих по очевидным причинам этого сделать не удастся. А значит, к тем сведениям, которые социолог легко получает при анкетировании (возраст, профессия, уровень дохода и т. п.), у когнитивметрии доступа нет. Схемы не показывают и количественного соотношения различных утверждений, ходов мысли — здесь нет привычных нам по соцопросам подсчетов «за», «против», «скорее за», «скорее против» и «затрудняюсь ответить» с точностью до долей процента. (То есть можно подсчитать, сколько каких высказываний встретилось, но трудно сказать, чему соответствует этот результат в реальной жизни, — к примеру, большему числу сторонников некоторого мнения или более активному обсуждению.)

Однако преимущества когнитивметрии, которые рассматривались в начале статьи — невысокая стоимость исследования, ширина охвата и «незаметность» для исследуемых и др., — делают ее полноправным партнером традиционных методов. Когнитивные карты нельзя использовать для численных прогнозов типа «кто победит на выборах», но они хорошо предсказывают качественный расклад мнений. Более того, карты показывают логику, которая порождает мнения, — каким путем люди от имеющихся у них фактов приходят к выводам, зачастую неожиданным.



Тушенка

Что скрывается под ГОСТом. Тушенка — самые непредсказуемые наши консервы. Открывая какие-нибудь «Бычки в томате», можно быть уверенным, что в банке именно они. Но тушенка! Интернет полон рассказов о тестировании тушенки разных марок, которые существенно различаются содержанием и консистенцией мяса, а в некоторых случаях изумляют его отсутствием — только кусочки ушей и какие-то непонятные обрезки соединительной ткани. И это при том, что тушенка, если верить этикетке, изготовлена по ГОСТу.

С 2010 года в России действует ГОСТ Р 54033-2010. Согласно ему, мяса и жира в банке должно быть не менее 58%, в том числе жира не более 17%. Тушеная свинина может быть жирнее, но не более 35%. Качество жира строго регламентировано, равно как и качество мяса: в консервах высшего сорта используют только первую категорию (мышечную ткань с содержанием не более 6% соединительной ткани и жира), в тушенке первого сорта — вторую, в ней соединительной ткани побольше. При этом из мяса должны быть удалены мелкие косточки, сухожилия, хрящи и кровеносные сосуды. Упитанность мяса также оговорена. Кроме того, нельзя использовать для изготовления тушенки мясо, замороженное повторно.

В заготовленное сырье добавляют соль (ее качество и помол определены ГОСТом), черный перец и лавровый лист, все герметично закатывают в банки и стерилизуют.

Для промышленной стерилизации используют автоклавы, в которых температура достигает 160°C. Для абсолютной стерильности нужна более высокая температура, однако нагревание до 180°C портит вкус и запах продукта, его консистенцию и цвет. Поэтому производители обходятся более низкими температурами, причем весьма успешно: известны случаи, когда тушенка, пролежавшая несколько десятков лет, оказывалась съедобной.

Не менее жесткие требования предъявляет Государственный стандарт качеству вскрытой тушенки. Она должна пахнуть тушеным мясом со специями и вкус иметь соответственный. Разогретый бульон прозрачный или слегка мутноватый, желто-коричневый, и никакие ошметки внутренних органов в нем не плавают.

Мясорастительные консервы. Если даже строгие правила ГОСТа производители выполняют не всегда, рискуя нарваться на неприятности, что говорить о тушенке, изготовленной по ТУ (техническим условиям). Строго говоря, это не тушенка. На этикетке мелкими буквами написано, что перед нами мясорастительные консервы, а среди ингредиентов указаны манка, желеобразующее вещество карриганан, питьевая вода (настоящую тушенку готовят в собственном соку). В мясорастительных консервах фактически присутствуют заменители мяса, в том числе соя, перемолотая соединительная ткань (жилы, шкурки и хрящи), субпродукты и ароматизаторы. Конкретно о молотых жилах этикетка не сообщает, но аббревиатура ТУ — предупреждение вполне достаточное. Мяса в таких консервах не более 10—20%, если оно есть вообще. Нет, мы не против мясорастительных консервов, голубцов или фаршированного перца например, но зачем же крупными буквами писать «Тушенка»!

Человека, который прочел лишь эту гордую надпись, не обратив внимания на мелкий шрифт, ждет большое разочарование и даже культурный шок. Вот, например, в начале 2000-х годов бригада рабочих из таджикской глубинки приехала в Подмоскovie строить дачи. Того, кто немного говорил по-русски, отправили в местный магазинчик за продуктами, и он купил там тушенку. Очевидно, рабочие увидели нечто совсем не похожее на тушеную говядину со специями, и, поскольку мясные консервы из манной крупы и сои не входили в их картину мира, они решили, что им подсунули свинину. Во всяком случае, именно под этим предлогом они возвращали не вскрытые банки. Продавщица уверяла, что это говядина, потрясала этикетками, которые почему-то не были наклеены на банку, а прилагались отдельной пачкой, и вообще была крайне раздражена. Переговорщик выдержал ее напор, был вежлив, но тверд и банки вернул.





Мясной боеприпас. Тушенка — мобильный запас мяса, необходимый прежде всего военным, и придумали ее для армейских нужд. Технологию изготовления тушенки разработал в 1810 году Николя Аппер по заказу Бонапарта, предложившего премию в 12 тысяч франков тому, кто придумает способ долгого сохранения пищи. Продукты (не только мясо) помещали в стеклянные бутылки, запечатывали и нагревали до 100°C. Эту технологию назвали аппертизацией, вскоре о ней узнали англичане, и Питер Дюран запатентовал этот метод в Англии, но вместо стеклянных бьющихся бутылок он предложил использовать жестяные банки. Они были очень тяжелыми, а дно и крышку припаивали вручную. Припой содержал свинец, поэтому консервы нельзя было считать вполне безопасным продуктом, во всяком случае, в больших количествах. Бывали случаи, когда участники полярных экспедиций, вынужденно сидевшие почти исключительно на консервах, получили тяжелое отравление свинцом. Еще одним существенным недостатком было отсутствие консервного ножа, его изобрел англичанин Роберт Йетс только в 1855 году. До того банки открывали долотом и молотком. Затем пошли модификации устройства: нож, на который накручивают прикрепленную к нему крышку, нож с режущим колесом. Конечно, эти усовершенствования стали возможными лишь после того, как банки научились делать из тонкой жести. Однако возникла другая проблема. При нагревании содержимое банки расширялось настолько, что они деформировались и в них могли возникнуть щели. Дело поправили рельефные концентрические окружности, гофры, которые выдавливают на донце и крышке. Они действуют как пружина, и благодаря им торцы банки выгибаются, не нарушая ее целостности. Остывнув, банка принимает первоначальную форму.

Бомбаж консервных банок. Однако же и сейчас встречаются вздутые банки. Такое явление называется «бомбаж» и может быть различной природы.

Если в консервах завелись бактерии, выделяющие аммиак, водород, сероводород или другие газы, это микробиологический бомбаж. Такая банка подлежит уничтожению.

Если продукт содержит кислоты, например уксусную, то между ними и металлом может возникнуть реакция, при которой выделяется водород и образуются соли олова, железа или алюминия. Это химический бомбаж. При этом стенки банки становятся изнутри шероховатыми, а содержимое приобретает металлический привкус. Можно ли есть такие консервы, решает специалист.

А бывает и физический бомбаж, когда банки набили слишком полно или они промерзли, а потом оттаяли. В этом случае их корпус деформируется. Когда на вздутые донце и крышку надавливают пальцами, они щелкают, поэтому физический бомбаж еще называют хлопушей. Такие консервы можно есть.

Итак, не всегда вздутая банка — показатель испорченных консервов, но и плоская не гарантирует качества. Специалистам известно так называемое плоское скисание, вызванное термофильными бактериями. Газов они не выделяют, но продукт дурно пахнет, покрывается слизью или плесенью.

Обед у Стивы Облонского. В России первый завод по производству консервов открыли в 1870 году. Сначала их производили для армейских нужд, потом и для гражданского населения. Но деликатесом они не были никогда.

Стива Облонский, персонаж романа «Анна Каренина», любил консервы: заказывал их в ресторане и угощал гостей на званых обедах: «Мужчины вышли в столовую и подошли к столу с закуской, уставленной шестью сортами водок и столькими же сортами сыров с серебряными лопаточками и без лопаточек, икрами, селедками, консервами разных сортов и тарелками с ломтиками французского хлеба». Нет, не тушенка была на этом столике. В то время консервами называли растительные соленья и маринады.

Солонина. Разумеется, люди консервировали мясо и до изобретения аппертизации. Его сушили, коптили или заливали смальцем (жиром, вытопленным из подкожного сала и нутряного жира). Но самым, пожалуй, распространенным методом было соление. До XIX века чаще использовали сухой способ: в мясо втирали соль с небольшим количеством селитры и сахара. Селитра позволяла сохранить красный цвет мяса, а сахар смягчал его остросоленый вкус и предохранял от затвердения. Посоленные куски укладывали в бочки под гнет.

Иногда, особенно при масштабных заготовках, мясо заливали рассолом с сахаром и селитрой. существовал и смешанный способ посола: куски сначала засаливали всухую, а потом заливали кипятком, в котором варили пряности.

В любом случае процесс занимал 20 дней, при этом мясо приходилось несколько раз перекаладывать. Затем его сушили, снова натерли солью и заворачивали в полотно. Чтобы солонина хранилась дольше, ее могли подкоптить.

Солонина не портилась несколько месяцев, но соль от микробов не защищает. Некачественная солонина гнивала, в ней заводились черви. Да и «нормальная» сильно отличается по вкусу от свежеприготовленного мяса. Сколько бунтов было в море из-за протухшей солонины, сколько драм на суше. «Я отравлюсь, — плакала барышня, — в столовке солонина каждый день»... То ли несостоявшаяся невеста Шарикова («Собачье сердце» Михаила Булгакова) собиралась покончить с собой от ежедневной солонины, то ли полагала, что этот продукт станет причиной ее скорой и безвременной кончины.

Промышленные заготовки солонины продолжались в СССР до начала 1930-х годов, потом появились промышленные холодильники и мясо стали замораживать. Но морозильник в обозе не потащишь и в поход не возьмешь. Так что спасибо Апперу.

Н. Ручкина





Танейкина заводь



ФАНТАСТИКА

Наталья Чернышева

Солнце плавит воздух, и тот стекает горячими каплями по лбу, спине, бокам. Над камышами снуют маленькие вертолетики стрекоз, а в неподвижной воде стоят большие темные тела древних карпов и щук. У самого берега, под молоденькими ивами, вольготно плавают широкие листья. Это кувшинки. Ишь, выставили наверх желтые бутоны, оглядываются, прикидывают, когда можно будет распуститься совсем.

Все, все вокруг знакомо до боли, до спазмов в горле, до рези в глазах. Сентиментальность — похвальна, но хороша она в меру...

Да, я — сторонник золотой середины. Тьма без меры — пожирает душу, но и свет без должной меры способен выжечь дотла!

Танейка сидит рядом, обхватив ободранные коленки тощими, исцарапанными ручонками. Маленькая, взъерошенная, больше всего она смахивает на сердитого вороненка, застывшего в непогоду на проводах.

— Зачем ты вернулась, Ольгуня? — не поднимая головы, спрашивает Танейка. — Зачем? Почему ты?

— Не знаю. — Я не тороплюсь отвечать, ищу нужные слова, но слова не находятся и потому говорю как есть:

— Не знаю, Таня. Вернулась, и все.

— Не надо было.

— Да уж, — вздыхаю. — Действительно, было не надо...

Она вскидывает голову, и я вижу на ее пыльных щеках дорожки от слез. Но глаза у Танейки сейчас сухие, карие. По всему видать, плакала она очень давно и с тех пор не удосужилась умыться.

— А помнишь, — говорю, — как мы плавали наперегонки во-он до того острова?

— Ага, — оживает она. — Чемпиону — крапива и пиявки. Там-от их дофига и больше!

— А ты знала и потому держалась позади, как тебя ни дразнили, — усмехаюсь я. — Я потом только поняла, что ты знала. А Сашка обзывался и насмешничал. Орал, что первый. Затем просто орал.

— А потом мы снимали с него пиявок и бросали их в воду, — подхватывает Танейка. — А потом он весь чесался! А потом случился вечер и налетели комары! А потом...

Тут она замолкает, ежится, обхватывает себя руками за плечи, ей неприятно, она не хочет вспоминать. Но я очень хорошо вижу тот, давний, вечер. Сиреневые сумерки и алую зарю, бросавшую на воду багровые блики. Знойный комариный звон, терпкие запахи трав, ивы, полоскавшие ветви у нас под ногами, долгий крик ласточек, гонявших молодняк...

— Потом Сашка решил наловить рыбы и испечь ее на костре, — задумчиво продолжаю я. — Все были голодные, а дым от костра отогнал бы комаров. Но ты устроила такую истерику!

Танейка утыкается носом себе в колени. Жаль ее, если честно. Очень жаль. Несмотря ни на что.

— Здесь все живое, — шепчет она тихо-тихо. — Нельзя жечь. И рыбу убивать нельзя тоже.

— И бабочку, — киваю я.

— И бабочку, — сухим шепотом отзывается Танейка.

Она смотрит на солнечный огонь, разлитый по воде, и говорит еще тише, я наклоняюсь, чтобы услышать:

— Скоро закат...

До заката еще очень далеко, но я киваю. Скоро закат, а после заката придет ночь. Вот ночью мне... Но об этом пока лучше не думать.

— Ольгунька, — жалобно говорит Танейка, — а давай сплаваем к острову? Как раньше, а? Туда и обратно. Жарко же, печет.

— Не, — отказываюсь. — Я лучше тут посижу. Пусть печет. Давно загореть хотела...

Танейка шмыгает носом, но молчит. Ага, не на ту напала! В движении время пролетает быстрее. Оглянуться не успеешь, и вот он, закат, тут как тут. Мне закат сейчас не нужен совсем. Танейке, может, не нужен тоже, но она привыкла, наверное. Сколько их было у нее, таких закатов? Если спрошу, она ответит, не будет молчать. Только я не спрошу.

— Тань, — тихо спрашиваю я, — а это больно, а? Больно? Качает головой, смотрит, глаза блестят синевой.

— Ты же заснешь на закате.

— Не засну.

Пожимает плечами. Наверное, каждый ей так говорит. Что не заснет. А сам потом все равно засыпает.

— Тань... отпусти, а? Просто — отпусти.

— Да кто держит-то? — мотает она головой. — Иди...

— Ходила уже! — не выдерживаю. — Полдня на твое болото убила! Ты же сама все тропинки запутала!

— Не путала я ничего, — сердится она. — Не умею я путать. Каб умела, тебя бы здесь не было. Я же видела, что идешь.

— Как... видела?

Молчит. А что тут скажешь?

Не возвращайтесь в памятные места, в места своего детства! Никогда не возвращайтесь обратно. В лучшем случае огребете ком разочарования и боли: родная, любимая, волшебная улица окажется унылым, загаженным переулком без асфальта, с безнадежными колдобинами посередине и пыльными бродячими псами самого что ни на есть лишайного вида. А в худшем...

В худшем случае вам под ноги ляжет тропинка. И уведет на знакомый с младенчества пруд (озеро, речку, заводь, болото — не важно). Окунет с головой в терпкую воду бывшего счастья. И обратно уже не выпустит, как ты ни бейся.



ФАНТАСТИКА

Как мы бегали сюда без передышки! Все лето! Танейка не была заводилой в нашей компании, верховодили оторва Сашка и пацанка Валюха. Валюха отчаянная была. На тарзанке такое вытворяла... вон она, та тарзанка. Там под ней та-акая глубина. Лично я туда лезть трусила страшно. И Танейка тоже только с берега смотрела. Где они теперь, Сашка и Валя? Поженились? Разъехались?

— Валя из города ребенка привезла, нянчит теперь, — тихо поясняет Танейка. — Сашка... сидит.

— Как сидит?

— Так. Убил кого-то по пьяни, говорят...

Убил по пьяни. Да. А какой был! Плечи в разворот, кудри, глаза с той самой безбашенной искринкой, которая нравится девчонкам. На гитаре играл, ах, как он играл на гитаре! И песни сам сочинял. Звался поэтом... Убил по пьяни.

— А ты-то, Ольгуня, как была? — вдруг спрашивает Танейка.

— Да никак... как все... нечего рассказать. Училась, работаю теперь. Мимо ехала, дай, думаю, загляну, проведу...

Проведала. Так проведала, что хоть топись. Реально утопиться, что ли?

Солнце плавит воду, бьет в глаза слепящими бликами. Нет, не утоплюсь. Уже вечереет. Уже все, уже я, пожалуй, больше не встану...

— Тань... а как...

Не договариваю, сжимает спазмом горло. Но Танейка понимает вопрос.

— На закате ты уснешь, — отвечает она рассеянно. — И я поцелую тебя. Вот сюда, — показывает пальцем на свой лоб. В этом месте, некстати вспомнилось, индийские женщины ставят себе точку...

— И все? — удивляюсь.

— И все, — печально и строго подтверждает Танейка.

Мы сидим какое-то время молча, каждая думает о своем.. Потом она начинает вдруг рассказывать, тусклым тихим голосом:

— Раньше ватаги были большие. Раньше возвращались по двое, по трое, иной раз и по четверо, смотря по тому, какой год. Теперь — уже давно — приходит только один. Не самый лучший, не самый худший, а никакой.

— О как, — говорю. — Я, значит, никакая...

— Ты очень даже какая, Ольгуня! — воскликнула Танейка. — Не знаю я, почему ты! Не знаю! Я на Вешку думала! По всему выходило, Вешка прийти должна! А пришла ты.

Вешка — Вероника — и впрямь никакейная была. Ни рыба ни мясо, ни нашим ни вашим. Таскалась за нами, что репей за хвостом собачьим. Мы ее едва замечали.

— Замуж вышла не пойми за кого, — поясняет Танейка. — Тот и увез ее... Далеко, не дозовешься.

— А ты звала. — Я даже не спрашиваю.

Танейка опустила голову, призналась тихо:

— Звала. А услышала, выходит, — ты.

— Тань, а ты кто? — спрашиваю тихонько. — Русалка?

Мотает головой, молчит. Потом кивает на небо:

— Закат...

И то верно, закат. Высокие перья облаков наливаются багровым румянцем. Скоро солнце насовсем нырнет за небоскат. И больше я его уже не увижу...

— Я не сплю, — говорю я поспешно.

Сна нет ни в одном глазу, но страх липнет к телу потной рубашкой, ворочается тяжелым комом в животе, высасывает силы. На редкость неприятное чувство.

— Кикимора я, — говорит вдруг Танейка, она тоже смотрит на небо, и в ее глазах отражаются огненные нити облаков. — Болотная кикимора. С детьми дружу, потому как светлые они. Отдают свой свет не задумываясь, без потерь, им в этом возрасте не страшно... а я греюсь при них. Тьма в них потом входит, когда взрослеть начинают. А к месту моему детством привязываются, сердцем, хорошо им тут летом. Да и зимой, когда сплю, тоже неплохо. Вот... вспоминают потом... иногда... и возвращаются, а у самих души посеревшие, сожженные. Пепел же — лучшее удобрение. Но это уже от человека зависит, что ему достанется. Пепел или... служение.

— Служение?

Кивает, смотрит в сторону. Говорит через силу:

— Тут... тут все живое, Ольгуня. Все.

— Вот почему ты костер не дала тогда развести... — понимаю я. — И рыбу ловить не давала...

Кивает, шмыгает носом. Девчонка-ровесница, о которой мы всегда знали: местная. Живет где-то за лесом. А где, чья, кто родня у нее, как-то никто и не спрашивал. Мало ли таких босоногих тогда в округе бегало? Это сейчас детей в селах немного. А тогда...

Лукавила моя кикимора, ох лукавила! Умела она тропинки путать, так умела, что заводь ее только детям найти удавалось, взрослые же ни сном ни духом. Ни одного рыбака я на берегу не припомню, ни одного охотника!

Потому что те редкие взрослые, что находили-таки дорогу...

...получали ровно все то же самое, что и я.

Сумерки сгущаются постепенно. Редким вечерним туманом над угасающей водой, заунывной песней сверчков, свежим дуновением в лицо... Танейка касается ладошкой моего плеча. Ладошка у нее холодная, влажная. Болотная.

— Я не сплю, — говорю я, вскидывая голову.

— Я знаю, — печально отвечает она. — Я... подожду.

Звезды зажигаются в бледнеющем небе одна за другой. Яркие далекие солнышки. Набрать бы их полные ладони и подарить этой грустной девочке-кикиморе... Да только на что ей холодный звездный свет? Когда есть под рукой живое?

— Я не сплю, Танейка. Я все еще не сплю...

Не сплю, но уже не чувствую мокрую холодную ладошку. Прикосновение скорее угадывается, чем ощущается. Скоро, совсем скоро Танейка поцелует меня.

Кем же я стану, когда проснусь? Пеплом или...



Московский Дом Книги

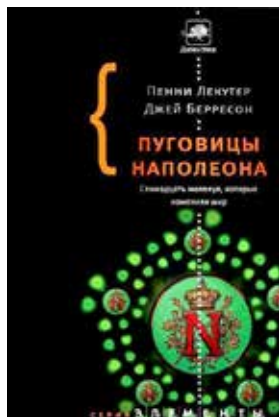
СЕТЬ МАГАЗИНОВ



КНИГИ

Пенни Лекутер, Джей Берресон

Пуговицы Наполеона:
семнадцать молекул,
которые изменили мир
АСТ, CORPUS, 2014



Сенсационное разоблачение! Пенни Лекутер, преподаватель химии из Канады, и американский химик Джей Берресон показывают изнанку всемирной истории. Не боги, не цари, не герои, не народные массы и даже не великие идеи — миром правит химия. Невидимые глазу молекулы приводят в движение народы, армии и флоты, рождают и обращают в прах города и целые цивилизации.

Джеймс Уотсон

Двойная спираль
АСТ, 2013



Установление структуры ДНК и в XXI веке остается самым значительным событием современной биологии. А книга об истории этого события, написанная одним из главных действующих лиц, Джеймсом Уотсоном, по-прежнему в списке бестселлеров.

Льюис Уолперт

Чудесная жизнь клеток:
как мы живем и почему
мы умираем
О стволовых клетках,
раковых опухолях,
старении — и о многом
другом...
ЛомоносовЪ, 2013



Что мы знаем о жизни клеток, из которых состоим? Скорее мало, чем много. Льюис Уолперт восполнил этот пробел, рассказав о клетках доступным языком, — и получилась не просто книга, а руководство, объясняющее, как функционирует наше тело. Как клетки зарождаются, размножаются, растут? Как они обороняются от бактерий и вирусов и как умирают?

Нил Шубин

Вселенная внутри нас:
что общего у камней,
планет и людей
пер. с англ. Т. Мосоловой
АСТ, 2013



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

Фрэнсис Эшкрофт

На грани возможного:
наука выживания
Альпина нон-фикшн,
2012



Сегодня экстримом увлекаются миллионы. Но многие ли знают, какие физиологические механизмы обеспечивают функционирование живого организма в самых суровых и неподходящих для жизни условиях? В жаре и в холоде, на горных высотах, где почти нечем дышать, и в морских глубинах, где «закипает» кровь? Все это автор знает не понаслышке.

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

В 1974 году, в № 7 «Химии и жизни», была опубликована замечательная статья И.А.Леенсона и А.П.Осипова «Очередь: кинетические и практические аспекты». Вот выдержки из их пионерской работы.

«Вопрос о времени, которое научные сотрудники проводят в очереди за обедом, представляет значительный интерес. Недавно в литературе появились сообщения на данную тему. Как отмечает автор одной из работ, с практической точки зрения наиболее важно определить время пребывания в очереди ее n -го члена. Однако трудность учета случайных факторов не позволила автору дать точное математическое решение поставленной задачи и должным образом согласовать теорию с экспериментальными данными. В настоящей работе предпринята попытка дать более подробное математическое описание проблемы с учетом ряда таких факторов. Результаты нашей работы позволяют, в частности, объяснить феноменальное явление, когда человек в очереди движется не вперед, к кассе, а назад».

Далее авторы пишут дифференциальное уравнение, интегрируют его, усматривают аналогию с кинетическими выражениями для цепных разветвленных реакций и делают вывод: существуют условия, при которых рост очереди идет со взрывной скоростью. Варьируя значения констант, авторы находят условия, когда «мы будем, также с возрастающей скоростью, удаляться от кассы, так как кассирша работает медленнее, чем растет очередь благодаря знакомым. В результате такого процесса мы скоро окажемся за пределами столовой и здания, в котором находится столовая; рассмотрение нашего поведения в подобных случаях в задачу авторов не входит. В редко встречающемся случае мы будем стоять на месте, довольствуясь лишь тем, что для стоящих сзади справедливо предыдущее условие и они один за другим исчезают из поля зрения, так как оказываются на улице».

Наконец, авторы обращаются к эксперименту и пишут, что «проверка предложенной теории была проведена нами в одной из столовых МГУ и получены значения констант... Если в очереди, например, 15 человек, то вы дойдете до кассы за 14 минут. Но уже при другом значении коэффициентов мы встречаемся с явлением, когда вы никогда не пообедаете. Налицо критическое явление, как в разветвленной цепной реакции. Практическая ценность разработанной нами теории очевидна. Если вы постоянно обедаете в одной и той же столовой, то следует определить для нее значения констант, наблюдая за очередью с секундомером в руках. Затем, приходя обедать, прежде всего посчитайте число людей в очереди. При определенном соотношении параметров вставать в хвост бессмысленно. В этом случае надо либо искать знакомого, для которого выполняется определенное соотношение, либо пойти в другую столовую с более благоприятным соотношением констант».

К вопросу о длине очереди

Итак, авторы ввели три параметра: константу, учитывающую скорость работы кассирши, константу знакомств (причем учли, что вероятность найти знакомого пропорциональна длине очереди) и константу, которая учитывает тех, кто вначале ест и потом платит без очереди, а также знакомых кассирши. Написав соответствующие уравнения, авторы построили корректную математическую модель очереди, которая позволила объяснить ряд эффектов, наблюдавшихся в эксперименте, но не имевших объяснения, например увеличения расстояния от «метки» до начала очереди с течением времени. Модель, построенная авторами, дала возможность правильно интерпретировать данные наблюдений и на этой основе оптимизировать стратегию. Насколько нам известно, эти результаты позже были внедрены в практику. Однако авторы прошли в

Художник Е.Станикова



миллиметре от еще одного интересного результата. В их оправдание заметим, что в исследовательской практике это происходит сплошь и рядом.

В работе И.А.Леенсона и А.П.Осипова специально выделен случай, когда состояние от «метки» до начала очереди с течением времени не изменяется, хотя и оговорено, что это случай редкий. Казалось бы, выделение этой ситуации носит чисто формальный характер, более того, с точки зрения прикладной математики оно не оправданно — мощность множества таких ситуаций равна нулю, и на практике они вообще не

должны наблюдаться! Психологически же выделение этого случая понятно: на практике, как интуитивно ощущали авторы, такие случаи наблюдаются. Точнее можно сформулировать так: при органолептической точности наблюдений такие случаи наблюдаются достаточно часто и в течение достаточного времени, чтобы оправдать их выделение.

Поставленные нами специальные наблюдения, которые длились 40 лет, показали, что в окрестности указанной ситуации действительно наблюдается статистически достоверная и весьма сильная концентрация наблюдений, слабо зависящая от остальных параметров эксперимента. Если, конечно, об-



УЧЕНЫЕ ДОСУГИ

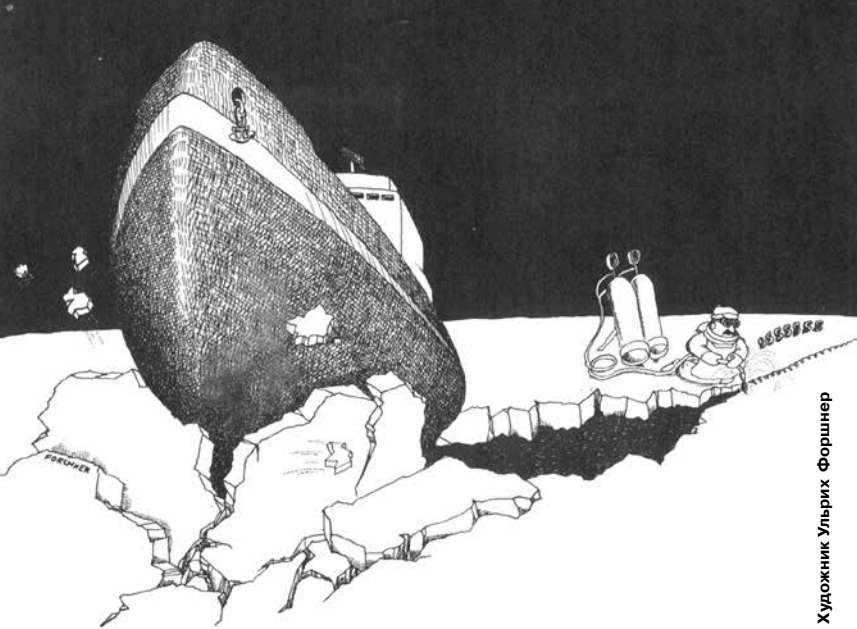
ласть равновесия вообще накрывается в исследуемой ситуации, условия чего исчерпывающе сформулированы в работе И.А.Леенсона и А.П.Осипова. Это позволяет сформулировать гипотезу о наличии в системе связи, которую мы предлагаем назвать «отрицательной обратной связью», — скорость работы кассира зависит от длины очереди. Причем с ростом длины скорость работы падает. Очевидно, что при достаточном значении коэффициента обратной связи эффект будет реализован.

Попутно наличие отрицательной обратной связи объясняет еще один эффект, вскользь упомянутый выше-названными авторами, — отсутствие случаев роста длины очереди до бесконечности и, добавим мы, крайне редко наблюдаемое уменьшение ее длины до нуля. Не исключено, что по аналогии с понятием отрицательной обратной связи может быть введено понятие положительной обратной связи, в социальной сфере этот эффект наблюдается так явно, что даже отрефлектирован: «аппетит приходит во время еды». Представляется также возможным распространение понятий отрицательной и положительной обратных связей на другие области человеческой деятельности, в частности на физику, радиотехнику и социальные науки.

В заключение отметим, что сам факт сверхстатистической концентрации наблюдений в окрестности указанного значения был отмечен нами примерно в те же годы, когда вышла публикация И.А.Леенсона и А.П.Осипова, и тогда же была высказана гипотеза о наличии связи скорости работы кассира и длины очереди. Но дальнейшее продвижение оказалось возможно лишь после ознакомления с работой указанных авторов, что еще раз указывает на пользу междисциплинарной коммуникации.

Л.Намер





Художник Ульрих Форшнер

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Гольфстрим-противоречия

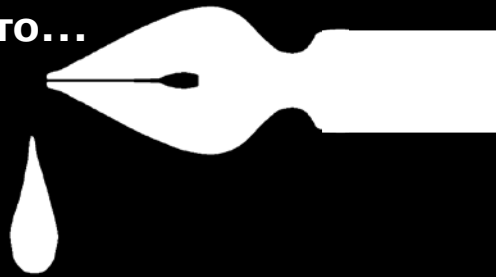
Течение, переносящее тепло из тропиков в Арктику, — один из основных факторов, формирующих климат современной Земли. И недаром внимание климатологов приковано к этой важнейшей проблеме: перекроют нам Гольфстрим или нет? Причина для беспокойства имеется — это распреснение Северного Ледовитого океана из-за таяния арктических льдов и увеличения стока текущих на север рек Сибири. Произойти, как считается, может вот что. Солёные теплые воды Гольфстрима текут на север по поверхности. Доходя до Новой Земли, они наконец охлаждаются, тяжелеют и ныряют вниз, возвращаясь в Мексиканский залив в виде холодного течения. Плотность пресной воды меньше, чем у солёной, поэтому если воды на севере опреснятся, то солёный Гольфстрим попросту утонет и унесет свои теплые воды вглубь. Такое уже бывало. По данным Мохамеда Эзата, аспиранта Арктического университета Норвегии из группы профессора Тине Расмуссена, во время ледниковых периодов температура воды в Атлантике на глубине 1200 метров составляла аж 5°C, тогда как в периоды между оледенениями — около 0,5°C («Geology», 2014, 42, 8, 663; doi: 10.1130/G35579.1). Точным градусником ему послужили раковины одноклеточных обитателей морского дна фораминифер: соотношение концентраций кальция и магния в них точно отражает температуру воды. Кстати, при таком нагреве может действовать механизм обратной связи: при нагреве морского глубоководья тают метановые газидраты, выделяя мощный парниковый газ. Подогрев атмосферы способен вызвать и конец ледникового периода.

Однако далеко не все согласны, что опреснение северных морей — а оно нарастает с середины 50-х годов — связано именно с таянием снегов и льдов на севере. Например, Тор Эльдевик из Бергенского университета в той же Норвегии проанализировал данные по солёности всего Гольфстрима за последние шестьдесят лет («Nature Geoscience», 28 сентября 2014 года; doi: 10.1038/ngeo2259). Выяснилось, что опреснение северных морей идет с той же скоростью, как и опреснение самого Гольфстрима на всем его пути по Атлантике. Более того, северные моря опреснены по всей глубине именно там, где протекают обе — прямая и обратная — ветви Гольфстрима. Но такой пресный Гольфстрим вовсе не обязан куда-то нырять в опресненных водах, и, значит, его не перекроют.

Причина свеженайденного опреснения Гольфстрима неясна, но, возможно, это дожди, интенсивность которых над Северной Атлантикой постоянно возрастает по мере того, как из-за глобального потепления увеличивается скорость испарения воды.

С.Анофелес

Пишут, что...



... журнал «Нейчур» призывает увеличить вклад науки в борьбу со вспышкой лихорадки Эбола, число новых случаев которой, по прогнозу ВОЗ, может достичь к декабрю 10 000 в неделю («Nature», 2014, 514, 7534, 535—536, doi:10.1038/514535b)...

...последняя смена магнитных полюсов Земли 786 000 лет назад произошла менее чем за 100 лет («Geophysical Journal International» 2014, 199, 2, 1110—1124; doi: 10.1093/gji/ggu287)...

...если судить по данным спектроскопии, проведенной космическим аппаратом «Розетта», комета Чурюмова — Герасименко пахнет тухлыми яйцами, кошачьей мочой и горьким миндалем («New Scientist», 2014, 2993, 6)...

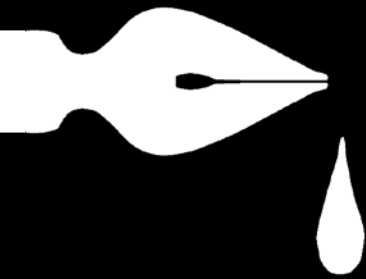
...исследователи из университета Рочестера сконструировали из четырех обычных линз устройство, делающее невидимыми предметы, на которые направлен взгляд (<http://arxiv.org/pdf/1409.4705v1.pdf>, публикация планируется в журнале «Optics Express»)...

...препарат для приема внутрь, предназначенный для лечения болезни Гоше, или глюкозилцерамидного липидоза, получил одобрение Агентства по контролю продуктов и лекарственных препаратов США («Nature Biotechnology», 2014, 32, 970—971, doi: 10.1038/nbt1014-970)...

...описан механизм, благодаря которому обнаруженный в костном мозге человека белок плейотрофин подталкивает к восстановлению стволовые клетки кровеносной системы после губительных для нее воздействий («Journal of Clinical Investigation», 2014; doi:10.1172/JCI76838)...

...печень людей с ожирением «стареет» быстрее, чем у людей с нормальным весом, и повернуть вспять этот процесс невозможно даже при помощи бариатрической хирургии («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2014, 111, 43, 15538—15543, doi: 10.1073/pnas.1412759111)...

...у 10—30% учащихся начальных классов наблюдаются устойчивые признаки дезадаптации, по-видимому, вследствие недостаточной зрелости фронтального неокортекса и несформированности подкорково-кортикальных отношений («Успехи физиологических наук», 2014, 45, 3, 66—78)...



...описаны первые палеонтологические свидетельства поражения растений бактериями по находкам из кампанского местонахождения Кундур в Амурской области («Палеонтологический журнал», 2014, 5, 110—116)...

...дельфины-косатки *Orcinus orca* «разговаривают» не только между собой, они успешно осваивают диалект дельфинов-афалин *Tursiops truncatus* («Journal of the Acoustical Society of America», 2014, 136, 4, 1990—2002; doi: 10.1121/1.4893906)...

...описаны многоклеточные животные, не принадлежащие ни к одному из известных типов и обладающие сходством с представителями древней докембрийской фауны; новый род называется *Dendrogramma* («PLOS One», 2014, 9, 9, e102976, doi: 10.1371/journal.pone.0102976)...

...выделены три штамма бактерий, способных утилизировать не только низкомолекулярные линейные олигомеры капролактама, но и сам капролактан, и близкие соединения — энантолактан и каприллактан («Прикладная биохимия и микробиология», 2014, 5, 50, 481—489)...

...листья лианы бокиллы трехлистной *Boquila trifoliolata* могут изменять свою форму, мимикрируя под листья растения-опоры; возможно, это защищает их от травоядных животных («Current Biology», 2014, 24, 9, 984—987, doi: 10.1016/j.cub.2014.03.010)...

...расшифрован геном кофейного дерева; установлено, что ген фермента, вовлеченного в синтез кофеина, дублировался независимо в геномах кофейного дерева, чайного куста и какао («Science», 2014, 345, 6201, 1181—1184, doi: 10.1126/science.1255274)...

...исследователи из Южной Кореи разработали электромеханическое зеркало — стекло, которое переключается из прозрачного в зеркальное состояние и обратно («Chemical Science», 2014, doi: 10.1039/c4sc01912a)

...широко распространенное представление о гидрофобной роли секретов различных желез не соответствует действительности: у выхухолей после их выхода на сушу самым мокрым всегда оказывается волосистой покров вблизи хвостовой железы («Доклады Академии наук», 2014, 458, 4, 486—490)...

Художник Михаил Златковский



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Свобода нравиться

Англосаксонское право прецедентное — коли было вынесено судебное решение, при аналогичных обстоятельствах другой судья может сослаться на это решение как на обоснование своих действий. Поэтому решение суда по делу «Блэнд против Робертса», объявленное 9 декабря 2011 года, сильно обеспокоило интернет-общественность, ведь оно напрямую касалось свободы слова в Сети. Разбору этого дела и его последствий посвящена целая статья Сюзанны Сарапин из Тройского и Памелы Морис из Висконсинского университетов в новом номере журнала «First Amendment Studie» (2014, 48, 2, 131—157; doi:10.1080/21689725.2014.962557).

Суть же дела такова. Служил некто Даниэль Картер помощником шерифа Б.Дж.Робертса в городе Хэмптоне. А шерифу предстояли перевыборы, где конкурентом был подполковник Джим Адамс из того же управления. Робертс выборы выиграл и сразу же уволил шестерых сотрудников, в том числе Картера. Последний же при подаче в суд заявил, что это гонения на свободу слова, поскольку его единственным прегрешением было оставление знака «лайк» («Мне это нравится») на страничке Адамса в Фейсбуке. Суд же Картеру в защите отказал, заявив, что «лайк» — это вам не прямая речь и, стало быть, под действие Первой поправки в Конституцию США о свободе слова не подпадает и ею не защищается. Получается, что за подобный знак можно теперь запросто человека и уволить, и в тюрьму посадить и это не будет нарушением его конституционных прав. А ведь поправка о свободе слова очень важна — именно она позволяет американцам свободно обсуждать тех же кандидатов в выборные органы и «обеспечивает возможность беспрепятственного обмена идеями для выявления социальных и политических изменений, желаемых людьми», — указывают авторы статьи. При этом даже такое нескромное выражение своего мнения, как известный жест средним пальцем, защищено Первой поправкой. А вот фейсбучный знак «лайк» с поднятым большим пальцем, оказывается, нет.

Но что же думает народ? Авторы провели многочисленные опросы завсегдаев Фейсбука и выяснили, что те четко воспринимают «лайк» как сообщение о том, что автор знака солидарен с позицией автора текста. Самая что ни на есть прямая речь, только выраженная знаком, а не словами. Более того, многочисленные юристы проанализировали ситуацию, другие прецеденты и пришли к выводу: судья в упомянутом деле погорячился.

Все закончилось хорошо. В мае 2013 года Апелляционный суд США вынес решение: «Если пользователь нажал на кнопку мышки в знак согласия с автором текста вместо того, чтобы написать буквами, это не имеет никакой разницы с точки зрения Конституции». По сути, «лайк» в политической дискуссии означает то же самое, что и вывешивание политического символа на фронтоне своего дома. Более того, и шериф Ричардс сам прекрасно понял, что означает этот знак, поставленный Картером. Итак, по крайней мере, в США, выражение своего мнения символическим жестом в Интернете теперь стало правом, защищенным основным законом страны.

А.Мотыляев



Открытие фуллеренов: взгляд Крото

«Симметрия, космос, звезды и C_{60} » — так назвал свою лекцию Харолд Уолтер Крото, второй из трех ученых, получивших в 1996 году Нобелевскую премию за открытие фуллеренов. Он родился в 1939 году в маленьком английском городке Уисбече. Предки его отца, Хайнца Кротошинера, были родом из польского города Кротошина, откуда и произошла фамилия. Хайнц и его жена родились уже в Берлине, но в 1937 году отцу-еврею пришлось бежать из Германии. У него был загранпаспорт, полицейские получили приказ снять его с поезда, но опоздали к отправлению. Из Голландии отец переехал в Англию, несколькими месяцами позже эмигрировала и мать. Во время войны их разлучили — отца, как подданного вражеского государства, интернировали на остров Мэн.

После войны Хайнц получил должность высококвалифицированного мастера по точным приборам, в 1955 году он основал небольшое предприятие по производству надувных шариков и сменил фамилию на Крото. Значительную часть школьных каникул Харолд работал на этой фабрике — смешивал краски, чинил оборудование, стоял на конвейере, занимался учетом товара. По его словам, для всего этого нужно было иметь, помимо старых весов, собственную голову и логарифмическую линейку, и это было полезно для развития способностей к решению различных задач, что так необходимо для исследователя. Дома он возился с конструктором «Меккано» — настоящим инженерным комплектом. А интерес к химии появился у Харолда в школе, его привлекали «специфические запахи и взрывы, которые придают химии слабый, но очень заманчивый оттенок некоторой опасности, который сейчас изгнан из класса». И далее: «Скучная химия, которую сейчас учат в школе, является одной из возможных причин того, что эта наука уже не привлекает множество талантливых и деятельных молодых людей, как это было раньше. Если кризис в преподавании практически важных естественных наук не будет преодолен, я сомневаюсь в том, что мы переживем XXI столетие».

Во время учебы в Шеффилдском университете Крото был членом университетской теннисной команды, президентом легкоатлетического совета, художественным редактором студенческого журнала, играл на гитаре и между делом получил в 1964 году докторскую степень по химии. Диссертация была посвящена спектроскопии свободных радикалов. «Было какое-то очарование в этих полосатых спектрах, из которых следовало, что молекулы умеют считать». Его руководителем был будущий нобелевский лауреат Джордж Портер (см. о нем в «Химии и жизни», 2014, № 8).

Со временем интерес Крото переключился на микроволновую спектроскопию: был изучен спектр цианазиды NCN_3 , затем он синтезировал и изучил частицу HC_5N с цепочкой из атомов углерода. Неожиданно молекулу HC_5N обнаружили в космосе. Последовали синтез HC_7N и обнаружение этой молекулы по ее спектру в темном облаке в созвездии Тельца; следующей была частица HC_9N . Оказалось, что подобные молекулы выбрасывают в межзвездное пространство углеродные звезды — красные гиганты. Посетив в начале 80-х Университет Райса в Хьюстоне, Крото предложил заменить в установке Ричарда Смоли металлический диск графитовым. Тогда можно было бы получать лазерным испарением не только металлические, но и углеродные кластеры и моделировать то, что происходит в космосе около углеродных красных гигантов. В августе 1985 года Кёрл (см. «Химию и жизнь», 2014, № 10) предложил Крото провести в этом направлении совместные работы. Бросив все дела, Крото уже через три дня был в Хьюстоне. Следующие десять дней изменили мир химии углерода.

По приезде Крото устроил с сотрудниками и аспирантами мозговой штурм по всем аспектам, связанным с молекулами в межзвездной среде и их спектрами. Опыты начались 1 сентября; почти сразу же были зарегистрированы линейные молекулы, содержащие от пяти до девяти атомов углерода, которые ранее были обнаружены в космосе. Подтвердилась идея, что такие карбоцепные молекулы в принципе могут получаться в звездах — красных гигантах. Но в спектрах обнаружился незванный гость с

ЛЕОНИДУ, электронная почта: *Метан на открытом воздухе трудно назвать опасным; ПДК для метана-пропана-бутана — 300 мг/кубометр по углероду; опасен он может быть только в шахте, где случаются смертельные отравления; однако соседя к порядку призвать надо — не стоит засорять окружающую среду и расходовать ценные ресурсы.*

А.П.ХАРКЕВИЧУ, Санкт-Петербург: *Если азотная кислота (или любое другое вещество) хранится в условиях, рекомендованных ГОСТом, то и по истечении ГОСТовского срока хранения с ней не произойдет ничего страшного.*

Л.П.КРАСИЛЬНИКОВОЙ, Москва: *Сероватый налет на поверхности желтка в яйце, которое слишком долго варили, — это сульфид железа, он образуется из соединений железа, содержащихся в желтке, и сероводорода белка; налет некрасивый, но для здоровья не вредный.*

М.М.СМИРНОВУ, Курск: *Озоны — соединения вида $R_3NHN=CR_1CR_2=NNHR_3$, где R_1, R_2, R_3 — органические радикалы или H (для R_1 и R_2); насколько нам известно, единственная польза от них — реакция образования озонатов углеводов, которую применяют для их идентификации.*

Н.М., Екатеринбург: *Проверенное домашнее средство извлечения воды из подмоченных часов или телефона — положить прибор в пакет с рисом (сухим, невареным).*

В.В.ЛАЗАРЕВОЙ, Ханты-Мансийск: *Мыльные пузыри замерзают в воздухе при температуре менее $-25^\circ C$, сидящие на твердой поверхности — менее $-15^\circ C$.*

А.П.МОРОЗОВОЙ, Пермь: *Съедобные сахарные кристаллы выращивают так же, как и любые другие: два-три объема сахара на объем воды перемешайте, осторожно разогрейте до растворения, ароматизаторы и пищевые красители добавьте по вкусу, охладите, перелейте в чистую посуду, опустите в раствор нитку с затравкой (например, с леденцом или просто покрытую кристаллами сахара) и оставьте на 3—7 дней.*

ЕЛЕНЕ, электронная почта: *К сожалению, наш журнал на другие языки не переводится; попытки организовать это были, но безуспешные.*



ПРОГУЛКИ ПО ИСТОРИИ ХИМИИ

60 атомами углерода и его менее заметный партнер с 70. О таких же спектрах, оказывается, уже были сообщения в литературе. Пришлось обратить пристальное внимание на этого гостя, чтобы найти условия, при которых его выход был бы максимальным. Воодушевленные аспиранты Джеймс Хит и Шон О'Брайен не отходили от установки все выходные, искали оптимальные условия, и к вечеру воскресенья 8 сентября появился спектр, на котором не видны были почти никакие другие кластеры, кроме C_{60} и более слабый пик C_{70} .

И тут Крото вспомнил выставку «Экспо-67» в Монреале, на которой все павильоны затмевал купол, сооруженный Ричардом Бакминстером Фуллером. Вспомнил он и о модели «небесного купола», которую сделал когда-то для детей, состоящей из шести- и пятиугольников. Смоли, который экспериментировал с вырезанными из бумаги шестиугольниками, обнаружил, что как только между шестиугольниками появляются пятиугольники, конструкция начинает сворачиваться и полное замыкание наблюдается после введения двенадцатого пятиугольника. Это был усеченный икосаэдр, форма которого теперь известна не только футболистам, но и каждому химику. Крото предложил назвать эту молекулу бакминстерфуллереном; суффикс -ен указывал на ненасыщенность в ней связей $C=C$. Немедленно была написана и послана в «Nature» статья об открытии; она поступила в редакцию 13 сентября — блестящий пример работы слаженной команды.

Вернувшись в Англию, Крото продолжил совместные исследования фуллеренов. Одна из наиболее привлекательных черт молекулы C_{60} состоит в том, что все атомы углерода в ней эквивалентны. Крото постоянно об этом думал; было очевидно, что спектр ЯМР на ядрах ^{13}C должен состоять лишь из одной линии. Проблема была в получении достаточного количества вещества. Задача казалась устрашающе трудной: на установке в США получали ничтожные количества. Поиск в литературе

выявил удивительные вещи. Оказывается, структура C_{60} уже была предложена Эйджи Осавой в написанной по-японски статье, опубликованной 15 лет назад. Еще раньше Д.А.Бочвар и Е.Г.Гальперн в СССР провели расчет такой молекулы методом Хюккеля. Дэвид Джонс в 1966 году выдвинул идею о возможности существования больших полых шаров из атомов углерода — в соответствии с правилом Эйлера гексагональную сетку произвольной величины можно замкнуть в многогранник, включив в нее 12 пятиугольников.

Дальнейшие исследования показали, что значительные количества C_{60} могут содержаться в саже. Джонатан Хэр, недавно защитившийся аспирант Крото, попытался растворить в бензоле возгон углерода. И к всеобщему удивлению, получил красный раствор. Но тут Крото прислали из «Nature» на рецензию статью Вольфганга Кречмера с сотрудниками, в которой описано не только получение красного раствора, но и выделение из него кристаллов C_{60} . Однако для идентификации они использовали метод рентгеновской кристаллографии, но не ЯМР. В лаборатории Крото хроматографически разделили красный раствор на два: ярко-розовый и красный. Первый дал тот самый уникальный сигнал от C_{60} , а второй дал спектр ЯМР из пяти линий — именно столько должен давать C_{70} .

В заключение уместно привести слова Крото, которые выражают ту же мысль, что и в нобелевской речи Кёрла: «Я сожалею о том, что вклад работавших с нами аспирантов — Джима Хита и Шона О'Брайена, а также Юаня Лю получил несопоставимо меньшее признание по сравнению с награжденными Нобелевской премией. Я сожалею также по поводу недостаточного признания заслуг Вольфганга Кречмера и Дана Хуффмана, а также их аспирантов Костаса Фостиропулоса и Лоуэла Лэма».

И.А.Леенсон



АНАЛИТИКА ЭКСПО

13-я Международная выставка
лабораторного оборудования и химических реактивов

14 – 17 апреля 2015 года
Москва, КВЦ «Сокольники»

Более 6000 посетителей

Свыше 250 участников



Забронируйте стенд на сайте

www.analitikaexpo.com

КОМПЛЕКСНОЕ ОСНАЩЕНИЕ ЛАБОРАТОРИЙ

Организатор:



Тел: +7 495 935 81 00
E-mail: analitikaexpo@ite-expo.ru

Соорганизаторы:

