

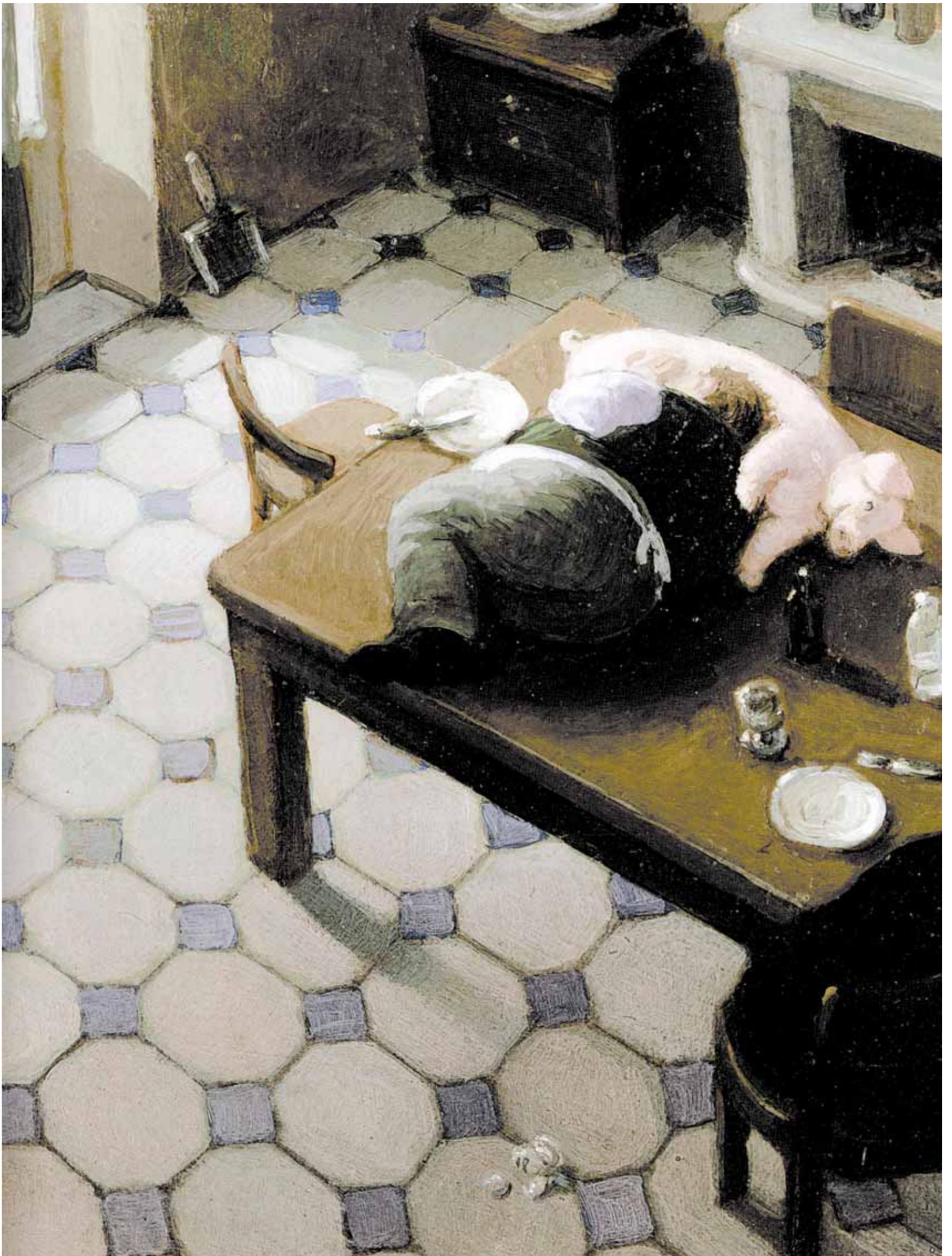


К

3
2010

ПНЗМЖ И ВМШМХ







Зарегистрирован
в Комитете РФ по печати
19 ноября 2003 г., рег. ЭЛ № 77-8479

НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:

Главный редактор
Л.Н.Стрельникова
Заместитель главного редактора
Е.В.Клещенко
Ответственный секретарь
М.Б.Литвинов
Главный художник
А.В.Астрин

Редакторы и обозреватели

Б.А.Альтшулер,
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 9.3.2010

Адрес редакции:
125047 Москва, Миусская пл., 9, стр. 1

Телефон для справок:
8 (499) 978-87-63
e-mail: redaktor@hij.ru

Ищите нас в Интернете по адресам:
<http://www.hij.ru>;
<http://www.informnauka.ru>

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

© АНО Центр «НаукаПресс»



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина

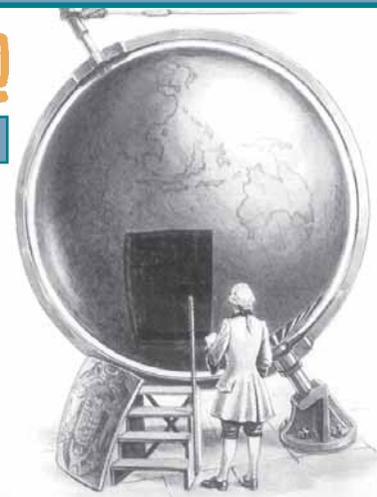
НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
картина Микаэла Сова. Свиной
грипп прошел по миру, до смерти
перепугав народонаселение. А было
чего пугаться? Читайте об этом
в статье «Итоги свиного гриппа»

*Ремесло журналиста
состоит в том,
чтобы успокаивать людей,
предварительно объяснив,
почему они
должны были волноваться.*

Терри Пратчетт

Содержание

Роснаука			
ЛАЗЕР И КЛОНИРОВАНИЕ	2		
ВОДА РЕАГИРУЕТ НА КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ	2		
ИНТЕРНЕТ-ДОМЕНЫ КАК ИНДИКАТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ	3		
Проблемы и методы науки			
ЖИВОЕ ИЗ НЕЖИВОГО. Е.Клещенко	4		
Эксперимент			
ЛЕКАРСТВО С ДОСТАВКОЙ. О.О.Максименко	8		
Технологии			
МИКРОРЕАКТОРЫ. Л.Л.Макаршин	14		
Вещи и вещества			
ГРОВЕРУ И НЕ СНИЛОСЬ. М.Ю.Корнилов	19		
Расследование			
ИЗМЕРЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ. А.И.Терехов	20		
Мифы нашего времени			
ИТОГИ СВИНОГО ГРИППА. Е. Котина	26		
Из писем в редакцию			
АЛЬТЕРНАТИВА КУРЕНИЮ — ВЫГОДА ДЛЯ НАРОДА, ХЛЕБ ДЛЯ ХИМИКОВ. В.Т.Каравосов	32		
Гипотезы			
КАК УЛУЧШИТЬ СОБОЛЯ ИЛИ С ЧЕГО НАЧАТЬ СЕЛЕКЦИЮ. Б.В.Андреанов	34		
Проблемы и методы науки			
АДАПТАЦИЯ К БЕЗДНЕ. Д.А.Афонников, К.В.Гунбин, В.В.Суслов	38		
Проблемы и методы науки			
ОТКУДА ДРОВИШКИ. С.А.Язев	44		
Вести из лабораторий			
БАНК ДАННЫХ АНТИОКСИДАНТОВ. Я.И.Яшин, А.Я.Яшин	49		
Что мы едим			
ОЛИВА, ОНА ЖЕ МАСЛИНА. Н.Ручкина	52		
Наша книжная полка			
ПУТЬ В ГЛУБИНЫ ВЕЩЕСТВА. ДЕСЯТЬ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Е.Лясота	54		
Фантастика			
БЕЛАЯ КОШКА В ЧЕРНУЮ КЛЕТКУ. Юлия Гофри	56		
Материалы нашего мира			
КЕРАМИКА: ЕГО ВЕЛИЧЕСТВО — ФАРФОР. М.Демина	64		
ИНФОРМАЦИЯ	13, 16, 51, 61	КНИГИ	48
В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	24	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ	33	ПИШУТ, ЧТО...	62
ВОПРОСЫ — ОТВЕТЫ	42	ПЕРЕПИСКА	64



ЛАЗЕР И КЛОНИРОВАНИЕ

Процедура клонирования сегодня хорошо известна, ее используют в разных лабораториях мира. Однако она плохо воспроизводится, а выживаемость клонов очень невелика. Одна из причин — сама операция пересадки ядер, которая травмирует клетки. Реконструкция эмбрионов млекопитающих — процесс сложный, состоящий из виртуозных микрохирургических манипуляций, который выполняют в три этапа. Сначала готовят клетку-реципиента — яйцеклетку, она же ооцит, или оплодотворенную яйцеклетку — зиготу. Из нее удаляют или инактивируют ее собственный геном. Затем под блестящую оболочку ооцита вводят ядро соматической клетки или саму клетку. И, наконец, с помощью электрического импульса провоцируют слияние нового ядра и клетки или двух клеток (соматической и ооцита). В этой процедуре так или иначе используют стеклянные микроинструменты, которые травмируют клетку. Не говоря уже об электростимулировании. При электрослиянии применяют специальные диэлектрические среды, которые содержат экстремально низкие концентрации жизненно важных для клеток ионов, и это может плохо сказаться на последующем развитии эмбрионов. Но даже если электрослияние проводить в обычной среде, внутриклеточный ионный гомеостаз все равно изменяется. Причина — электропробой, из-за которого на поверхности мембраны формируются временные поры в самых разных местах, а не только в месте контакта клеток. Все это, несомненно, понижает жизнеспособность клонированных эмбрионов.

Сотрудники лаборатории члена-корреспондента РАН Л.М.Чайлахяна (Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино), который, к сожалению, недавно ушел из жизни, вместе с коллегами из Тайваня и Германии придумали и опробовали новую технологию микроманипуляций клетками и их компонентами — с помощью лазерного луча (о чем и сообщили в «Докладах Академии наук», 2009, № 4). Исследователи экспериментировали с клетками самок мышей в возрасте 1,5—2,5 месяца. Главным инструментом стал лазер «Tsunami» («Spectra Physics», США) и полупроводниковый лазерный модуль. Лазер работал в микросекундном режиме с частотой

повторения 80 МГц на длине волны 800 нм, среднюю мощность излучения меняли в пределах 0,08—0,8 Вт.

Оказалось, что с помощью такого лазерного луча можно, как тончайшим пинцетом, удалять ядро из клетки, переносить и захватывать соматические клетки, а также провоцировать их слияние с ооцитами. А чтобы сделать небольшое отверстие (пору) диаметром 12—15 мкм на блестящей оболочке ооцита, исследователи использовали лазерный модуль, идентичный по параметрам лазерной системе «Zilos», которую сегодня используют в медицинских клиниках, занимающихся искусственным оплодотворением, для перфорирования блестящей оболочки ооцитов человека.

Лазерный луч прекрасно справляется с микрохирургическими операциями. Его давления достаточно, чтобы перемещать клетки и их органеллы в пространстве. Операция по удалению ядра из клетки занимала всего 0,3 секунды. Вся процедура целиком — нахождение, захват и перемещение соматической клетки под блестящую оболочку ооцита — занимала 1—3 минуты. Затем лазерным импульсом облучали точку на линии наиболее плотного контакта ооцита и соматической клетки, и вскоре происходило их слияние. При электрослиянии определенный процент слившихся клеток погибает в течение последующих двух-трех часов. А после лазерного слияния, когда обновленные ооциты культивировали *in vitro*, никаких разрушений не наблюдалось.

Это исследование, выполненное впервые в мире, убедительно показало, что оптико-лазерная микрохирургия эмбрионов жизнеспособна и эффективна. Никаких травмирующих стеклянных инструментов, никакого электропробоя в неожиданных местах. И, что очень важно, все операции можно проводить в стандартной среде, которую обычно используют для манипуляций с зародышами. Новая процедура не требует никаких дополнительных приспособлений и приборов.

Вот так повторяется история. Ведь много лет назад именно в лаборатории Л.М.Чайлахяна придумали методику электрослияния клеток, которую затем подхватили во всем мире и стали использовать для клонирования. А сегодня в той же лаборатории родился новый метод, у которого, судя по всему, большое будущее. Хорошую память о себе

оставил Левон Михайлович Чайлахян, замечательный ученый и прекрасный человек.

ВОДА РЕАГИРУЕТ НА КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Давно подмечено, что космические лучи влияют на состояние биологических систем — клеточных культур, периферическую кровь, микрофлору и высшие растения. Почему это происходит? Механизм воздействия пока недостаточно ясен. Исследователи предполагают, что ионизирующая радиация может воздействовать на биологические объекты как прямо, так и опосредованно, например, через продукты радиолиза воды. Косвенно это подтверждают данные о зависимости pH, ферментативных и буферных систем крови от вариаций нейтронной компоненты космических лучей.

Группа исследователей — М.Б.Винниченко, Н.К.Белишева и член-корреспондент РАН В.К.Жиров — продолжили поиск аргументов и о своих результатах рассказали в «Докладах Академии наук», 2009, № 6. Эксперименты по исследованию свойств жидкой воды проводили в НИИФ им. В.А.Фока Санкт-Петербургского государственного университета (Петергоф). Авторы постарались, чтобы эксперимент был максимально чистым. Кювета с исследуемой водой была надежно экранирована от внешних электрических, электромагнитных и тепловых полей, измерения были бесконтактными и не использовали в качестве зондирующих электрические и электромагнитные поля, энергия, приносимая в образец в процессе измерения, составляла не более одной десятой от энергии, иницирующей объект, а измерения были чувствительны (теоретически) к изменениям плотности потока тепловых и медленных нейтронов.



Ученые предположили, что при воздействии космических лучей на воду может увеличиваться температура образца из-за рассеяния нейтронов в воде. Чтобы зафиксировать эти изменения, исследователи решили измерять эдс термпары, помещенной в образец. Эксперимент происходил в алюминиевом сосуде Дьюара емкостью 15 л, который был погружен в теплоизолятор. Внутри сосуда Дьюара помещали запаянную, термоизолированную кварцевую ампулу с дегазированной водой объемом 5 см³. В кювете был внутренний капилляр, в котором находился спай дифференциальной термпары медь-константан. В том же сосуде помещали тело сравнения — латунный цилиндр, эффективная теплоемкость которого равнялась теплоемкости ампулы с водой. В латунном цилиндре находился второй сплав термпары. Выводы термпары соединялись с измерительной системой, которая позволяла регистрировать сигнал на выходе. В контрольных экспериментах кювету с водой заменяли латунным или парафиновым блоком.

Измерения показали, что температура воды менялась, причем эти изменения имели отчетливо выраженный суточный периодический характер с пиком в утренние часы. Если же кювету с водой заменяли на латунный или парафиновый блок, то сигнал практически совпадал с нулевым ходом. Амплитуда изменения температуры составляла в среднем 0,02°C при точности измерения температуры 2·10⁻⁴K.

В чем же причина? Авторы исследования после тщательного анализа выбрали самого вероятного кандидата, вызывающего суточные колебания температуры воды, — это потоки высокоэнергичных частиц, измеренные на спутниках GOES-8 и GOES-10. Оказалось, что кривые изменения температуры воды и кривые вариаций потоков альфа-частиц с энергиями более 3400 МэВ и протонов с энергиями более 700 МэВ хорошо совпадают. Количество высокоэнергичных частиц нарастает в те же утренние часы, когда фиксируется максимум изменения температуры воды.

Исследователи полагают, что высокоэнергичные частицы, приходящие на Землю с космическими лучами, взаимодействуют с атмосферой Земли и порождают тепловые нейтроны. Последние, в свою очередь, вызывают радиоллиз воды и ее структурные перестройки, в результате чего меняется теплоемкость воды и ее температура. Этот эффект объясняет опосредованное воздействие космических лучей на биологические системы.

ИНТЕРНЕТ-ДОМЕНЫ КАК ИНДИКАТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Хозяйство нашей страны снова, как и столетие назад, переживает радикальное изменение технологического уклада, системы общественных ценностей и пространственной организации производительных сил. А между тем сегодня исследователи по-прежнему оценивают развитие регионов с помощью давних и привычных статистических индикаторов эпохи индустриализации — объемов промышленного производства, товаропотоков, грузоперевозок и др.

Специалисты из Совета по изучению производительных сил Минэкономразвития России и РАН считают, что при таком подходе от исследователей ускользают новые черты региональной экономики. Новая экономическая реальность требует новых измерительных инструментов. По мнению специалистов, индикатором, более соответствующим нынешней экономической реальности, может стать пространственная дифференциация интернет-доменов России («Известия РАН. Серия географическая», 2009, № 6).

Авторы исследования А.Н.Пилясов и Е.Н.Курицына-Корсовская проанализировали региональные различия в абсолютном числе интернет-доменов и другие показатели за 2005—2007 годы. Авторы опирались на статистику внесенных в реестр национальных доменных имен зоны ru, которая имеется на сайте stat.nic.ru. Исследователи не учитывали домены зоны ru, зарегистрированные в других странах (их доля на начало 2008 года составила 12,8%), домены зоны su (2,6%), а также домены международных зон com, edu, gov, org, mil, по которым нет статистики в региональном разрезе.

Методика анализа, который пользовались авторы, основана на работах европейских ученых: они рассматривают «доменное движение» как один из показателей инновационности регионов. По их мнению и наблюдениям, доменный ландшафт часто повторяет ландшафт наукоемких видов экономической деятельности.

Анализ показал, что за три анализируемых года количество зарегистрированных доменов увеличилось в 3,8 раза, с 305,7 тысяч до 1158,2 тысяч, а количество доменов на 10 000 россиян — в 2,6 раза. Лидерами по числу регистраций доменов выступают центральные регионы — Москва, Московская область, Самарская, Свердловская, Челябинская, Иркут-

ская, Новосибирская области и Красноярский край, а также регионы, где расположены крупные порты.

Но абсолютные значения не позволяют получить объективную картину распределения доменов и пространственной дифференциации регионов, где рождаются новые продукты, технологии, бизнес-процессы и институты. Поэтому исследователи оценили и удельные показатели (доменов на 10 тысяч человек). Оказалось, что различия между группами российских регионов по оснащенности очень высоки, но постепенно уменьшаются. На 10% самых обеспеченных регионов приходилось 82% доменов в начале 2006 года, 81% в 2007 году и 80% в начале 2008 года.

Исследователи ввели еще один новый показатель — подушевую обеспеченность доменами, число персональных компьютеров на 100 работников, число абонентских терминалов сотовой связи на 1000 человек, а также долю организаций, использующих информационно-коммуникационные технологии в общем числе обследованных организаций. А затем сопоставили новые показатели со старыми — подушевым валовым региональным продуктом, подушевым денежным доходом и долю лиц с высшим образованием в общем числе занятых. Сопоставление для разных регионов показало, что старые показатели дают гораздо больший разрыв между регионами, нежели новые. Это означает, что развитие инновационного процесса в регионах России имеет специфические закономерности, не сводимые полностью к социальным и экономическим феноменам прошлой хозяйственной эпохи.

Но в какой степени показатель обеспеченности доменами может служить признаком инновационного процесса в регионах? Авторы рассчитали ранговую корреляцию Спирмена, сравнив подушевую обеспеченность доменами и интегральный показатель инновационного потенциала разных регионов. Коэффициент ранговой корреляции составил 0,71. Из этого авторы делают вывод, что и в регионах России «доменное движение» можно считать специфической технологической инновацией. А исследование этого процесса «приоткрывает для нас одну из черт еще только возникающей в регионах России новой экономики, основанной на творчестве, инновациях и знании как основном нематериальном активе», — пишут авторы исследования.





Живое

ИЗ НЕЖИВОГО

Е. Клеценко

Крейг Вентер родился в 1946 году и успел побывать на вьетнамской войне — был отправлен туда после призыва в армию, работал в полевом госпитале. То, что он там увидел, побудило его всерьез заняться медициной, а позднее он решил, что делом его жизни станет молекулярная генетика. Уже в 1975 году Крейг Вентер получил докторскую степень в университете Калифорнии (Сан-Диего), а с 1984 года начал работать в Национальном институте здоровья США.

Всемирная слава пришла к нему на рубеже веков, когда его детище, компания «Celera Genomics», вступило в состязание с международным проектом «Геном человека», пообещав вы-

полнить задачу быстрее и дешевле. Вентер был сторонником «метода дробовика», который большинство ученых считало недостаточно надежным для такого сложного генома, как человеческий. (При методе дробовика ДНК «нарезают» случайным образом, затем читают эти миллионы фрагментов и состыковывают с помощью компьютерной программы, которая распознает перекрывающиеся участки разных кусков.) Действительно, качество генома от «Celera» уступало тому, которое предложил «Геном человека», зато впечатляли темпы и относительно низкая стоимость: примерно 300 миллионов против 3 миллиардов.

Отношения между «конкурентами» были непростыми. Крейг Вентер обещал отдать последовательность генома человека в общественное пользование, но, чтобы окупить затраты, в «Celera» решили предоставлять дополнительные данные по платной подписке. Однако другие ученые, и прежде всего руководитель проекта «Геном человека» Фрэнсис Коллинз (отрывок из его книги см. в «Химии и жизни», 2009, № 9), сочли этот вариант неприемлемым: геном человека должен прино-

Джон Крейг Вентер — биолог, но биолог особенный. Журнал «Тайм» два года подряд включал его в список ста самых влиятельных людей планеты. У менее важных персон он вызывает разнообразные чувства, от восхищения до неприязни.



сдать пользу всему человечеству, а не группе лиц, как бы умны и талантливы они ни были. В итоге Коллинз и Вентер вдвоем докладывали о расшифровке генома человека Биллу Клинтону и Тони Блэру, и сегодня базы данных по геному человека доступны любому желающему. Уже в 2002 году Крейг Вентер покинул пост президента компании из-за конфликта с главным инвестором. Главная причина, по его собственным словам, состояла в том, что его целью было ускорение развития науки, а не получение прибыли, и к частному предпринимательству он обратился только тогда, когда не получил финансирования из других источников.

В середине 2000-х на свет появился Институт Джона Крейга Вентера (JCVI) — некоммерческая организация, занимающаяся геномными исследованиями. В ее состав наряду с двумя другими организациями вошли Фонд научных технологий Крейга Вентера и Институт геномных исследований (The Institute for Genomic Research, TIGR), созданный Вентером в 1992 году. Именно там в 1995 году впервые секвенировали геном свободноживущего организма — гемофильной палочки *Haemophilus influenzae*, возбудителя пневмонии и менингита.

В 2007 году электронный журнал «PLoS Biology» опубликовал статью сотрудников Института Крейга Вентера, а также их соавторов из Канады, Испании и университета Калифорнии. Статья была посвящена исследованию геномной последовательности Джона Крейга Вентера и провозглашала наступление эры индивидуальной геномики. (Полученные до того геномы человека были составлены из участков ДНК многих доноров, по большей части анонимных.) Предмет изучения прилагался к статье, он доступен и сейчас: PLoS Biol 5(10): e266. doi:10.1371/journal.pbio.0050266, по ссылке в конце, после предложения «Вы можете сами исследовать геном Крейга Вентера», грузится объемистый файл.

Этот шаг комментаторы оценивали как рискованный. Мирская общественность узнала о самом влиятельном биологе много интересного — например, что у него повышенная предрасположенность к антисоциальному поведению, болезни Альцгеймера и сердечно-сосудистым заболеваниям и даже что сера у него в ушах влажная, а не сухая (эта важная подробность тоже определяется генами).

Но конечно, главной целью работы было не это. Во-первых, секвенировали не гаплоидный геном Вентера, а диплоидный, то есть не три миллиарда нуклеотидов, а шесть миллиардов — двойной набор хромосом. Это давало возможность оценить вклад отцовских и материнских генов. Во-вторых, был усовершенствован «метод дробовика», точнее, компьютерный алгоритм, отвечающий за стыковку фрагментов, и повысилось качество чтения. В-третьих, неанонимный донор добросовестно предоставил информацию о состоянии своего здоровья, о своей родословной и о том, чем болели его кровные родственники, — было интересно сопоставить это с данными о его генах. В-четвертых, сравнение генома Крейга Вентера с «эталонным» геномом человека показало, что индивидуальных отличий в наших геномах намного больше, чем предполагалось.

Другой проект Крейга Вентера — широкомасштабное исследование геномов морских микроорганизмов, Global Ocean Sampling (GOS) Expedition. Для этого проекта Вентер предоставил свою собственную яхту «Sorcerer II». Изучение разно-

образия морских организмов приблизит нас к пониманию фундаментальных закономерностей экологии моря, в частности преобразований углерода. Кроме того, у морских организмов можно найти интересные гены для нужд науки и биотехнологий — нашли же сотрудники Сергея Лукьянова у кораллов флуоресцентные белки, которые дали ученым столько новых возможностей («Химия и жизнь», 2005, № 8). Это сближает GOS с еще одним увлечением Крейга Вентера. В 2005 году он стал одним из создателей компании «Synthetic Genomics», которая работает над получением бактерий, дрожжей и водорослей, способных производить биотопливо — этанол и водород. Разработку биотоплива многие считают делом несерьезным и полужанитарным, но крупная нефтяная компания «Эксон», один из спонсоров «Synthetic Genomics», очевидно, придерживается другого мнения.

В последние месяцы имя Крейга Вентера снова появилось в новостных лентах. Очередная авантюра: ни много ни мало, создание живого существа в пробирке. Рукотворный организм, на основе которого можно будет создавать другие организмы, с любыми необходимыми нам свойствами — клеточные микрореакторы, производящие хоть чистый бензин, хоть лекарство. Но главное, какова сама идея: собрать из простых органических молекул геном существа, которого нет в природе, — и запустить эту ДНК в производство, сделать шаг от генома к фенотипу, сотворить существо небывалого биологического вида. Почти так, как говаривал герой Виктора Авилова в фильме «Господин оформитель»: «Вы знаете этого, с нимбом на голове? Мы с ним соперники».

Чтобы идея выглядела менее сумасшедшей, уточним, что это итог пятнадцати лет упорной работы. В 1996 году группа сотрудников TIGR под руководством Клер Фрэйзер (в то время жены Вентера) секвенировала геном *Mycoplasma genitalium*. Эта паразитическая бактерия, обитающая в половых и дыхательных системах приматов, долгое время считалась организмом с самым коротким геномом — 582970 пар оснований, менее двух тысяч генов. (Потом в горячих источниках на дне океана была найдена архея *Nanoarchaeum equitans* с еще более коротким геномом, но она не может самостоятельно синтезировать многие важные биомолекулы и живет только «по соседству» с другими клетками.)

Примерно к этому же времени относится сенсационная находка «нанобактерий» в метеорите марсианского происхождения («Химия и жизнь», 1997, № 3, 1998, № 7). Марсианские нанобактерии оказались артефактом, но тем не менее сыграли важную роль в развитии биологии, вызвав дискуссии: какой объем займет самый короткий из возможных геномов и какова должна быть его длина в нуклеотидах?

Логично было взять самый маленький геном и двинуться по пути, хорошо знакомому экспериментаторам: «выключать» гены микоплазмы по одному и смотреть, без каких генов она может обойтись. Сотрудники Вентера так и поступили, разработав метод транспозонного мутагенеза: мобильные генетические элементы встраивались в геном случайным образом, а затем геном выживших штаммов читали, начиная от этого элемента, чтобы выяснить, куда влетела «опечатка». Но так можно было нокаутировать по одному гену, а если клетка выживает без гена А и гена В, отсюда не следует, что она выжи-

вет без обоих. Поэтому возникла идея зайти с другого конца: не урезать природный геном, а собирать его искусственно, добавляя фрагменты «до результата».

Вентер с коллегами начали с генома бактериального вируса ФХ174 — первый секвенированный геном ДНК-вируса, размером «всего» в 5 тысяч пар нуклеотидов. ДНК такой длины еще в 90-е годы возможно было синтезировать в бесклеточной системе. Однако искусственный геном почему-то не желал работать как надо — будучи введенным в клетку бактерии, не запускал сборку вирусных частиц. Работа надолго затормозилась, в том числе потому, что Вентер и его коллеги «отвлеклись» на геном человека. А причина неудачи оказалась банальной: синтезированная ДНК содержала слишком много ошибок. Как сказали бы программисты, баги пофиксили, и тут же все получилось: в клетке кишечной палочки, которую заразили пробирочной ДНК, начали собираться вирусные частицы.

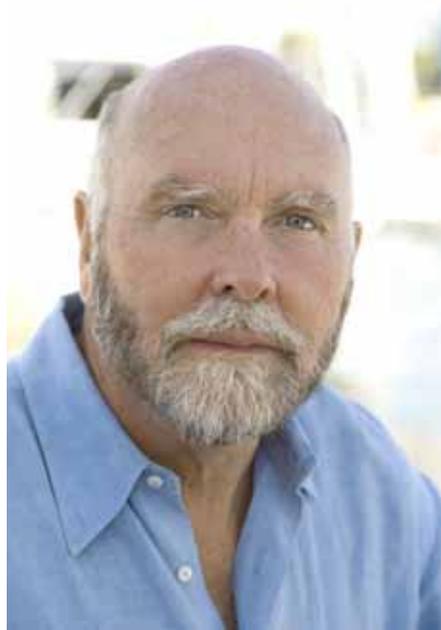
Синтезировать очень длинные молекулы ДНК чисто химическим путем невозможно: они ломаются, и приходится обращаться к помощи клеток, чтобы они смотали и упаковали как следует этот ценный полимер. Небольшие фрагменты ДНК клонировали в клетках той же кишечной палочки и соединяли, постепенно увеличивая размер. Наконец, четыре фрагмента по четверти генома микоплазмы в каждом «поручили» дрожжевым клеткам, добавив к ним центромеры — последовательности, характерные для хромосом дрожжей. Система рекомбинации дрожжей собрала крупные фрагменты в одно целое. В январе 2008 года Институт Крейга Вентера объявил о том, что геном микоплазмы полностью синтезирован — собран «с нуля» из нуклеотидов. Полученной ДНК дали название *Mycoplasma genitalium* JCVI-1.0. В ней

поврежден ген, обеспечивающий патогенность, зато присутствуют участки, не встречающиеся в природе, — своего рода метки, чтобы можно было узнать эту ДНК и подтвердить ее искусственное происхождение.

Вообще, при переносе ДНК одного вида в клетку другого часто возникают проблемы. Например, если ген гемофильной палочки кодирует продукт, токсичный для *E. coli*, этот ген будет сложно клонировать в кишечной палочке: бактерия постарается избавиться от вредоносной последовательности. (С этим и столкнулись сотрудники TIGR, когда секвенировали геном *Haemophilus*.) С другой стороны, различия в генетических «диалектах» организма — донора ДНК и реципиента, в котором эта ДНК клонируется, могут сыграть на руку исследователям. Например, у микоплазмы некоторые нуклеотидные триплеты имеют не те значения, что у кишечной палочки и дрожжей. Триплет UGA — у большинства организмов терминирующий, ему не соответствует никакая аминокислота, и он обозначает конец белковой цепочки. У микоплазмы ему соответствует аминокислота триптофан, и, возможно, поэтому ее белки не синтезируются в дрожжах — а значит, дрожжевая клетка может без вреда для себя копировать гены микоплазмы.

Все эти и многие другие тонкости придется учитывать специалистам по синтетической геномике. Мало написать программу — чтобы она заработала, необходимо оборудование, способное ее выполнить, то есть ферменты, белковые факторы, рибосомы, транспортные РНК, предназначенные для работы именно с такой ДНК. Конечно, белки и РНК можно закодировать в синтетическом геноме, но штука в том, что они должны присутствовать в системе и до запуска — иначе запуск не со-

Крейг Вентер: «В течение ближайшего года это случится»



Как насчет последней стадии — запуска синтетического генома? Насколько вы к ней близки?

Каждый раз, когда мы пытались запустить синтетический геном, мы сталкивались с новым набором проблем. На наш взгляд, сегодня мы решили их все, но точно сможем это сказать, только когда получим клетку, полностью подконтрольную геному, созданному химическим путем. На данный момент мы этого еще не сделали, но есть шанс, что в течение ближайшего года это случится — о чем, напомню с некоторым оптимизмом, я говорил последние два года.

В будущем ставку сделают на синтетическую ДНК?

Нет. Для начала у нас имеется спектр из 20—40 миллионов генов. Некоторые из них придется синтезировать, остальные можно будет копировать методом ПЦР. У нас будет 40 миллионов колб с генами, и в будущем мы станем собирать геномы из них. Но, думаю, чтобы доказать свою концепцию, для нас важно начать с четырех колб с химическими веществами и поставить на геноме водяной знак — сделать понятным абсолютно каждому, что эту клетку действительно контролирует синтетическая хромосома. <...>

Насколько мы еще далеки от понимания того, как регулируются сложные генетические циклы в синтетической системе?

Согласно принципам «эволюции в пробирке», достаточно иметь минимальную основу, каркас, чтобы воспроизвести

миллиарды лет эволюции, добавляя к ней дополнительные компоненты. Достаточно посмотреть на то, что делают различные группы ученых — группа Джея Кислинга, которые создают гено-инженерные дрожжи, производящие артемизинин (вещество, полученное из полыни однолетней, применяется для лечения малярии. — *Примеч. ред.*); синтез пропандиола в *E. coli*, осуществленный в корпорации «Дюпон», — чтобы увидеть: большая часть усилий у них ушла на то, чтобы отсечь пути, отклоняющие потоки углерода от цели. (Имеется в виду углерод в каркасе органических молекул, которые перестраивает клетка. — *Примеч. ред.*) Было бы идеально построить живой объект, основываясь на изначальном принципе. Мы не хотим начинать со сложных систем и пытаться их упростить — мы пытаемся построить вещи, которые действительно понимаем и умеем контролировать. Мы хотим начать с минимальной системы, а потом уже добавлять в нее что угодно. Или получить несколько универсальных каркасов, которые по-настоящему работали бы. Именно этим и занимается сейчас наша команда, в том числе использованием новых аминокислот. Некоторые группы развивают биологические циклы превращения веществ. Так же, как в прошлом использовались транзисторы и конденсаторы, в будущем мы сможем брать с полки биологические компоненты, чтобы создать новую схему. Мы просто пытаемся установить для этого основные принципы. Я уже много раз наблю-

стоится. Именно поэтому в природе всякая клетка происходит из клетки и никак иначе: от родительской клетки наследуется молекулярная машинерия, необходимая для запуска программы. Геном, созданный de novo, должен будет позаимствовать эту машинерию у клетки-реципиента, поэтому выбор «суррогатной матери» для искусственной ДНК будет отдельной задачей. Крейг Вентер, впрочем, говорил о создании универсальной реципиентной системы, которая сумеет прочесть и запустить любую ДНК-программу. Но на этом интригующем моменте мы остановимся и вернемся к микоплазме.

Следующим шагом должен стать перенос синтезированного генома обратно в клетку микоплазмы. По мысли авторов, синтетический геном перепрограммирует ее и возникнет новый организм, которому уже придумали название — *Mycoplasma laboratorium*. Но лабораторная микоплазма пока еще не с нами, так как возникли новые проблемы. Ученые пробовали выделить геном из клетки другого вида микоплазмы — *M. mycoides* и ввести ее в клетку другого вида, и все получалось как надо. А точно такая же ДНК после клонирования в дрожжах упорно отказывалась руководить клеткой.

Некоторые читатели уже догадались, что причина может быть в рисунке метилирования — присоединении CH_3 -групп к нуклеотидам, которое не меняет последовательность «букв» генома, но регулирует активность генов. Пришлось получать ферменты микоплазмы, отвечающие за метилирование, и обрабатывать ими хромосомы, извлеченные из дрожжевых клеток. Манипулировать сверхдлинными молекулами ДНК пришлось не в растворе, а в гелевых блоках, чтобы не повредить сверхспирализованную структуру. «Команда выполнила бле-

дал в науке: как только это произойдет, переход к следующим стадиям будет очень быстрым.

Каким может быть коммерческое использование синтетических организмов?

В данный момент компании рассчитывают, что появятся способы производить за счет солнечного света топливо, или нефть, или пищевые продукты, или чистую воду, — и все это начнется с природных организмов или самых простых модификаций существующих организмов. Если сегодня вкладывают миллиарды в инфраструктуру, использующую живые клетки версии 1.0 — то есть клетки, модифицированные с помощью классической генной инженерии, или метаболической инженерии, или даже имеющие искусственно сконструированные пути метаболизма, которые гарантированно работают, — то будущее будет полностью основано на синтетической геномике.

Потому что как только будет выстроена эта мультимиллиардная инфраструктура производства, развитие биологии станет самой важной экономической целью. Изменения последуют очень быстро, как в любой индустрии. Посмотрите, какими примитивными кажутся сейчас наши опыты 15-летней давности по секвенированию ДНК. Эти ранние работы теперь признаны этапными. В TIGR у нас было самое большое в мире производство, способное осуществлять 100 000 сиквенсов в год. В «Celera» мы делали 100 000 в день с помощью 300 машин, а сейчас для этого до-

статочно единственной машины нового поколения. Такие же изменения произойдут и с синтетической биологией. Инструменты, которые используются сейчас, весьма примитивны. Думаю, идеи, стоящие за работой нашей команды, очень важны, потому что они доказывают: то, о чем мы говорим, возможно.

Как ваши работы сочетаются с другими исследованиями в области синтетической биологии?

Сейчас многие называют синтетической биологией классическую молекулярную биологию — как физиологию превратили в системную биологию. Есть люди вроде Ли Гуда (американский биолог Лерой Гуд. — *Примеч. ред.*), которые жестко ограничивают понятие «системная биология», но зачастую люди просто думают, что им нравится такое сексуальное название; они прекращают заниматься физиологией и объявляют себя системными биологами. Сейчас все хотят уцепиться за эти новые соблазнительные термины — и притворяются, что занимаются системной биологией или синтетической геномикой.

В чем вы видите главное значение вашей работы?

Изначальной нашей целью было понять, что лежит в основе работы живой клетки и можно ли это воспроизвести. Думаю, наше открытие — что для жизни нужны только молекула с информацией в ДНК и возможность читать информацию, чтобы создавать белки, самособирающиеся в живые клетки, — очень важно. Мы начи-

стящую работу. В науке так всегда бывает — именно маленькие ежедневные прорывы приводят к грандиозным открытиям» — так сказал Крейг Вентер главному редактору журнала «Nature Biotechnology» Эндрю Маршаллу в интервью под названием «Волшебник синтетических геномов» (2009, № 12). Поводом для беседы стала статья Крейга Вентера, Гамильтона Смита, Клайда Хатчинсона и др., опубликованная в «Science» (2009, т.325, с.1693—1696). Среди «др.» есть русские имена, но все участники работы — сотрудники института Вентера. Они клонировали целый геном *Mycoplasma mycoides* в дрожжах и затем поместили его в клетку близкородственного вида — *Mycoplasma capricolum*. (С синтетической ДНК решили повременить.) В дрожжевой клетке геном был модифицирован, так что после пересадки клетка-реципиент дала начало новому штамму *M. mycoides*. Вот фрагменты из интервью (перевод В.Дегтяревой).

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ





Фото С.М. Комарова

Лекарство с доставкой

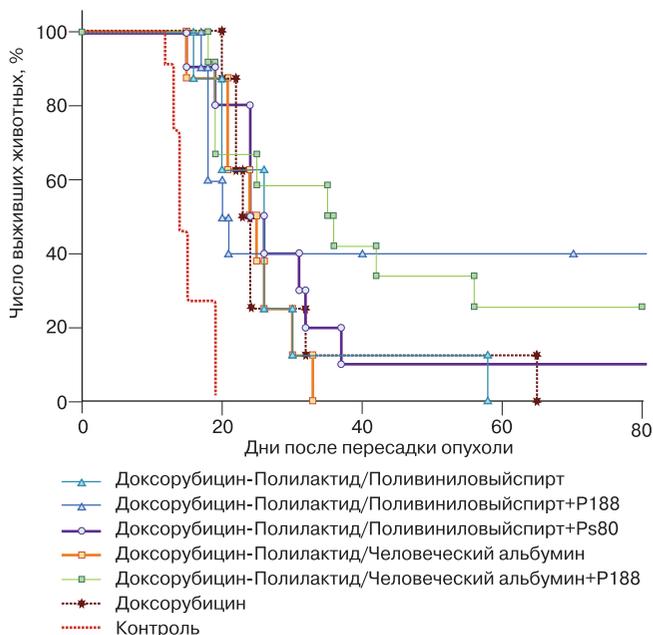
Кандидат химических наук
О.О. Максименко

Интерес к нанотехнологиям, подогреваемый потенциальным, а в некоторых случаях и реальным финансированием, дал новый толчок старой идее «магической пули» — предложенной в начале прошлого века концепции препарата, способного найти в организме болезнетворную цель и поразить ее. Такая пуля, доставляя лекарство в больной орган, миновала бы остальные и тем самым уберегла бы их от ненужного, а зачастую и вредного воздействия. Интересно, что идея эта осенила доктора медицины Пауля Эрлиха, специализировавшегося в области бактериологии и иммунологии, когда тот слушал оперу «Волшебный (в другом переводе — «вольный») стрелок» Карла Марии фон Вебера. Важную роль в этой пьесе как раз и играют «волшебные пули» (Freikugeln), добыть которые можно, только продав душу дьяволу. Пули эти всегда попадают в цель — даже если она вообще недостижима или стрелок плохо целится. Вот на том спектакле или по дороге домой Эрлих и подумал: таким же должно быть идеальное лекарство. Правда, он-то имел в виду вещества, распознающие и убивающие отдельных возбудителей инфекции, а теперь в понятие направленного транспорта, и соответственно «магической пули», входит скорее доставка лекарственных веществ к пораженному органу или ткани.

Увы, создать безупречную магическую пулю, которая приносит или приводит бы лекарство точно в определенный орган, пока не удалось, хотя ученые активно разрабатывают несколько подходов к реализации этой идеи. Один из них — создание «наноконтейнеров».

Обычно в качестве контейнеров используют хорошо известные и по-прежнему остающиеся в центре внимания липосомы, полимерные и липидные частицы диаметром 100—300 нм или нанокапсулы тех же размеров. Впрочем, некоторые исследователи причисляют к наноносителям еще и мицеллы, а также «тени эритроцитов», то есть лишенные своего естественного содержимого клетки крови, наполненные, например, раствором лекарства.

Интересно, что в нашей стране специалистам в этой области приходится едва ли не оправдываться в причислении объектов их исследований к категории наноразмерных. Дело в том, что несколько лет назад, когда нанотехнологии были объявлены в России приоритетным направлением научно-технического развития, к нанообъектам (то есть созданию и изучению которых позволяет надеяться на целевое финансирование) решено было причислять лишь те, чьи размеры не превышают 100 нм. Однако в фармацевтике термин «наночастицы» был введен задолго до мирового нанобума — еще в 70-х годах XX века, дабы отличить их от уже известных микрочастиц с включенными в их состав лекарственными веществами, и обозначает он частицы субмикронные, диаметром, как правило, 50—500 нм. Первые полимерные частицы такого размера научились получать теперь уже патриархи, а тогда молодые, талантливые и не лишенные амбиций аспиранты Петера Шпайзера, профессора Швейцарского федерального института технологий (ETH) в Цюрихе — немец Йорг Кройтер, швейцарец Роберт Гурни и позже бельгиец Патрик Курве. Именно они впервые использовали полимеры, чтобы



синтезировать наночастицы для направленного транспорта лекарств и в качестве адъювантов (то есть веществ, усиливающих иммунный ответ) для вакцин.

Вот тогда-то и оказалось, что умение так или иначе связать лекарство с подобными субмикронными частицами открывает совершенно новые возможности. Такие частицы уже можно запустить в кровоток, и они, в отличие от более крупных микронных частиц, не забывают капилляры, а если принимать их перорально (через рот) — защитят лекарство от быстрого разложения. К поверхности наночастиц можно пришить молекулу-вектор, которая приведет их в целевой орган. Можно и по-другому — покрыть поверхность наночастицы шубой из остатков длинных гидрофильных молекул полиэтиленгликоля, и тогда время циркуляции частиц, а значит, и связанного с ними лекарства увеличится — это бывает нужно, когда лекарство легко выводится из организма или подвергается разложению за счет быстрого метаболизма.

Кроме того, наноразмерные частицы обладают весьма полезным свойством: они привлекают пристальное внимание иммунной системы, а именно клеток-макрофагов, и это очень хорошо. Дело в том, что одна из основных задач макрофагов — поглощение и уничтожение чужаков микронного и субмикронного размера, в том числе болезнетворных бактерий. К сожалению, справиться с некоторыми из них, например с возбудителями туберкулеза, макрофагам не под силу: захватить зловредную палочку Коха (*Mycobacterium tuberculosis*) макрофаг может, а вот убить ее — не получается. Так же происходит и с многими другими бактериями. В результате макрофаги, вместо того чтобы справляться с возбудителями болезни, фактически становятся ее рассадниками.

Здесь-то и проявляется преимущество наночастиц. Повторяя в организме путь микобактерий, они, как та самая магическая пуля, попадают в зараженные макрофаги и доставляют туда антибиотик. Бактерии оказываются в непосредственной близости от лекарства и гибнут, не вынеся столь тесного соседства. Правда, пока таких препаратов в аптеке нет, но они уже доказали свою эффективность в лабораторных опытах на животных.

Зато другой вид наноконтейнеров, липосомы, уже используются. Это, например, липосомальный доксорубицин в виде разрешенного к продаже препарата «Келикс» или «Доксил». Фактически это доксорубицин, заключенный в липосомы — липидную оболочку, которая покрыта «шубой» из полиэтиленгликоля. В чем же преимущество такой лекарственной формы?

Если крыс не лечить, то все они погибают через три недели, если использовать чистый доксорубицин — через пару месяцев, а наночастицы удачного состава позволяют выжить 40% подопытных животных (из статьи в «European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics», 2010, т. 74, № 2, с.157)



ЭКСПЕРИМЕНТ

Доксорубицин — очень эффективный препарат для химиотерапии злокачественных опухолей. К сожалению, он ядовит не только для больных клеток, но и для здоровых. Если ввести его просто в виде раствора, он равномерно распространится по всему телу пациента — и нанесет серьезный урон здоровым тканям. Особенно страдает сердце, а также мужские половые железы — мальчики после курса терапии доксорубицином часто становятся бесплодными. Если же заключить препарат в наноконтейнеры — липосомы или наночастицы, то в ткани, где макрофагов мало или нет вовсе, он почти не попадет. А в опухоли наноконтейнеры, наоборот, накапливаются — проникают в нее через дефекты капилляров и застревают там. Поэтому доксорубицин в наноконтейнерах проявляет существенно меньшую токсичность в отношении тканей сердца и семенников.

К сожалению, препарат в липосомах стоит дорого, требует особых условий хранения, а собственно липосомы в организме довольно быстро теряют целостность, поэтому длительного эффекта получить не удастся.

Альтернативный подход — так или иначе связать лекарство с наночастицами из биodeградируемого полимера. Такие наночастицы в виде порошка удобно хранить и не сложно синтезировать, кроме того, используя полимеры с различными свойствами, можно в широких пределах варьировать свойства наночастиц и подобрать оптимальные составы для любого лекарственного вещества. Именно по этому пути пошли мы — научно-исследовательская лаборатория компании «Научно-производственный комплекс «Наносистема» во главе с директором по науке, кандидатом химических наук С.Э.Гельпериной. Компания оснастила лабораторию самыми современными приборами и создала отличные условия для разработки нанолечеств, среди которых есть и полимерные наночастицы с доксорубицином.

Как оказалось, применение таких наночастиц позволяет не только снизить кардиотоксичность, но и добиться удивительного эффекта: доксорубицин в наночастицах проходит через гематоэнцефалический барьер, защищающий мозг от проникновения многих веществ, и без операции справляется с опухолью мозга — во всяком случае, у значительной части лабораторных животных. Интересно, что отдельные молекулы препарата не в состоянии попасть из кровеносных сосудов в мозг (их захватывают и выбрасывают обратно в кровоток специальные молекулы — Р-гликопротеины Pgp), а огромные по сравнению с молекулой свободного доксорубицина частицы как-то проникают через стенки сосудов. Механизм такого проникновения не понятен. Одни предполагают, что наночастицы застревают в тонких капиллярах, которые опухоль выращивает вокруг себя, и создают там убийственную концентрацию действующего вещества, другие — что в районе опухоли сам барьер сильно нарушен. Но факт остается фактом: практически все животные, которых лечили обычным доксорубицином, погибают, а выживаемость крыс с привитой опухолью мозга — глиобластомой 101/8, получавших препарат в форме наноча-



стиц, составляет 20–40% в зависимости от их состава. И это при том, что глиобластомы — высокозлокачественные опухоли, практически не поддающиеся химиотерапии. Получив такой отличный результат, исследователи компании «Наносистема» не успокоились и сейчас стараются подобрать состав наночастиц, который увеличил бы выживаемость до 50–60%.

К сожалению, в России исследования, направленные на разработку наночастиц как носителей лекарственных веществ, исторически запаздывают — бурный старт области пришелся на годы перестройки, да и сейчас лабораторий, которые могут позволить себе подобные исследования, единицы. Причина — финансовая: для полноценной работы на мировом уровне нужны дорогие реактивы и оборудование. Поэтому если методы синтеза, например, липосом хорошо известны, то методы получения полимерных наночастиц в нашей стране еще остаются экзотикой.

Синтез можно вести несколькими путями. Далее мы расскажем о том, как делать наночастицы из полилактидов, уже разрешенных к клиническому применению.

Цель эксперимента — найти добавки, которые повысят способность наночастиц лечить ту самую опухоль мозга — глиому 101/8. Для этого взвешивают белые гранулы полимера, добавки (поскольку удачный состав предполагается запатентовать, воздержимся от названия этих веществ), (фото 1, 2) и растворяют в органическом растворителе (фото 3). Затем взвешивают доксорубицин, растворяют в воде, получая жидкость красного цвета, и все растворы перемешивают магнитной мешалкой (фото 4).

Дальше начинается собственно формирование наночастиц. Главная идея состоит в том, что водный и органический растворы не смешиваются и, значит, из них можно приготовить эмульсию — взвесить маленьких капелек в растворителе. Эти капли-то и станут впоследствии наночастицами.

Чтобы получить целебные наночастицы, сначала мощной механической мешалкой (фото 5) из растворов полимера и доксорубицина готовят эмульсию типа «вода в масле»: капельки водного раствора лекарства в органике. Потом добавляют большой объем водного раствора поверхностно-ак-





тивного вещества и с помощью той же мешалки получают новую, довольно устойчивую эмульсию типа «вода-масло-вода». В ней (фото 6) капельки раствора полимера с начинкой из доксорубина окружены водным раствором ПАВа, который не дает им слиться в одну большую каплю.

Теперь нужно добиться, чтобы все капельки (будущие наночастицы) были маленькими и одинаковыми. Для этого эмульсию несколько минут прокачивают под давлением через узкое отверстие (фото 7): из приемной камеры раствор поступает в смесительную ячейку гомогенизатора, а оттуда по силиконовой трубке возвращается в исходный стакан. За гомогенизацией следует отгонка органического растворите-

ля под вакуумом (фото 8).

После этого получившуюся мелкодисперсную суспензию фильтруют (фото 9), добавляют криопротектор — сахар маннит, который предохранит наночастицы от слипания, — снова перемешивают магнитной мешалкой (фото 10), разливают по флаконам (фото 11) и отправляют на заморозку при антарктическом морозе (фото 12). На следующий день основательно замерзшие пузырьки помещают в лиофильную сушилку, где из них под вакуумом удаляют воду (фото 13). Остается «лиофилизат» — хрупкая пористая таблетка маннита, в которой равномерно распределены полимерные наночастицы, содержащие в себе доксорубин и исследуемые добав-





9



10



11



12

ки (фото 14). Те самые, которые, возможно, повысят эффективность будущего препарата.

Как же теперь узнать, хорошие ли получились наночастицы? В первую очередь их исследуют, что называется, *in vitro* — надо убедиться, что основные показатели качества в норме: если в пузырек добавить воду, то должна получиться устойчивая суспензия. Размер частиц можно измерить с помощью специального прибора — наносайзера.

Если окажется, что частицы получились нужного размера, то есть 200—300 нм, а степень связывания доксорубина частицами достаточно велика, то их испытают в деле. Сначала в Институте морфологии человека РАНН А.С.Халанский с коллегами сделает подопытным крысам трепанацию черепа и пересадит опухоль — аккуратно введет ее кусочек в мозг. Через некоторое время рана заживет, а опухоль начнет развиваться. После того как крысы всерьез заболеют, их начнут лечить. Для этого препарат растворят в воде или

в растворе специального ПАВ, введут крысам в хвостовую вену и станут наблюдать. Разумеется, будут контроли — группа нелеченых животных и группа животных, которых лечили обычным раствором доксорубина. О результативности исследуемых наночастиц судят по продолжительности жизни крыс, попавших в разные группы, а также по размеру опухоли тех, кто умер или был усыплен в конце эксперимента. Если крысы, которых лечили наночастицами нового состава, проживут дольше контрольных и дольше, чем те, кого лечили наночастицами обычного состава, значит, добавки действительно повысили эффективность наносомальной формы и ученые на верном пути. Если нет, то придется искать новые решения. Они будут найдены — в этом убеждают уже полученные результаты.



13



14



ЗАО «Катакон»
Институт физики полупроводников СО РАН
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

СОРБОМЕТР™

АНАЛИЗАТОРЫ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ И ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предназначены для исследования текстурных характеристик дисперсных и пористых материалов, в том числе нанокomпозитов, катализаторов, сорбентов, и т.д.

Характеристики

- Диапазон измерения удельной поверхности: 0,1-1000 м²/г
- Погрешность измерений: 6% во всем диапазоне
- Полная автоматизация циклов адсорбция-десорбция
- Автоматическая калибровка
- Станция подготовки образцов к измерению

Прибор СОРБОМЕТР обеспечивает

- Измерение удельной поверхности одноточечным методом БЭТ



СОРБОМЕТР

СОРБОМЕТР-М



Прибор СОРБОМЕТР-М обеспечивает

- Измерение изотермы адсорбции
- Измерение удельной поверхности многоточечным методом БЭТ и STSA, объема микро- и мезопор
- Расчёт распределения мезопор по размерам

Области применения

- Научные исследования
- Учебный процесс
- Химическая промышленность
- Горно-обогатительная промышленность
- Атомная промышленность
- Производство огнеупорных и строительных материалов
- Производство катализаторов и сорбентов

Россия, г. Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 5

тел.: +7 (383) 326-97-71, факс: +7 (383) 330-87-61

e-mail: catacon@ngs.ru, www.catacon.ru

Микрореакторы

Доктор химических наук
Л.Л.Макаршин

Химические реакции на молекулярном уровне происходят всего за несколько фемтосекунд (10^{-15} сек). Поэтому если создать условия, при которых реагирующие молекулы будут быстро встречаться друг с другом, то реакция пройдет практически мгновенно. В реальности, когда используют реактор большого объема, встреча реагирующих молекул определяется скоростью их диффузии друг к другу, а потому общее время реакции растягивается на минуты и часы. Однако сегодня уже есть устройства, в которых этот недостаток устранен и химические реакции происходят гораздо быстрее. Это микроканальные системы.

Существует грубая зависимость между размером реакционной зоны и временем протекания процесса (рис. 1). Идеальным химическим реактором будет тот, объем которого сравним с размерами молекул ($10^{-10} - 10^{-9}$ м) — в этом случае можно ожидать, что все произойдет за $10^{-14} - 10^{-13}$ сек. Если же размер реактора $10^{-2} - 10$ м, тот же процесс растянется до 10^3 сек. Современные технологии уже позволяют сделать устройство с объемом реакционной зоны



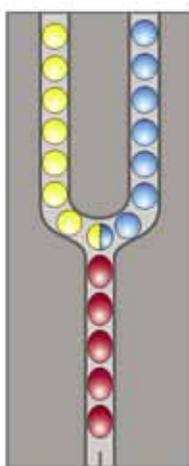
$10^{-4} - 10^{-6}$ м, в котором все молекулы успеют встретиться за $10^{-3} - 10^{-6}$ сек. Такой реактор состоит из металлических пластин, содержащих каналы субмиллиметровых размеров, с одинаковым сечением и длиной в несколько сантиметров. По сути, это микроканальный реактор, но часто его называют микрореактором. Помимо того что в нем все происходит очень быстро, там еще изменяется и меха-

низм протекания реакции и, следовательно, образуются новые продукты.

Первые сообщения о реакторах, в которых все химические превращения происходят в микроканалах, появились в 1935 году на 86-й конференции Американского химического общества в Нью-Йорке. Однако при тогдашнем уровне технологий сообщение не вызвало особого интереса. Всерьез такие системы начали изучать, когда в 1987 году компания «Дюпон» впервые продемонстрировала прототип химического микрореактора, пластины которого были изготовлены по технологии микроэлектромеханических систем. (Технология MEMS включает лазерное гравирование, фотолитографию, механическую микрообработку. Она используется для производства электронных устройств, микросхем, транзисторов и т. д.) В последние десять лет исследования в этом направлении ведутся очень активно, и некоторые химические концерны скоро будут готовы продавать микрореакторы для малотоннажного промышленного применения.

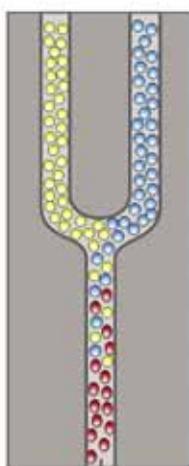
Читатель скажет: «Понятно, что в маленьких и мобильных установках удобно наладить небольшое производство высокотоксичных или высокочистых веществ (лекарств, витаминов), а как же быть с многотоннажными продуктами?» Существует простое решение. Микро-

Идеальный реактор
 $L = 10^{-12} - 10^{-14}$ м



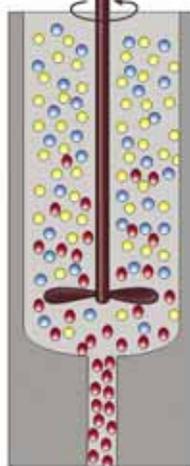
$t = 10^{-13} - 10^{-14}$ сек

Микрореактор
 $L = 10^{-4} - 10^{-6}$ м



$t = 10^{-3} - 10^{-6}$ сек

Объемный реактор
 $L = 10^{-2} - 10$ м



$t = 10 - 10^3$ сек

1 Чем меньше реактор (в частности его длина L), тем быстрее проходит реакция

Преимущества микрореакторов:

1. В маленьких каналах сильно увеличивается эффективность тепло- и массообмена. Это, в частности, позволяет проводить каталитические реакции, сопровождающиеся большим выделением или поглощением теплоты.
2. Конструкция микрореактора обеспечивает постоянную температуру и практически одинаковое время контакта катализатора с реагентом. Результат — увеличение селективности и производительности реактора.
3. Малый свободный объем и высокая доступность катализатора для реагентов сокращают необходимое время контакта и позволяют эффективно проводить быстрые реакции.
4. Поскольку отношение внутренней поверхности, на которой закрепляется катализатор, к объему микрореактора высокое, то повышается эффективность использования катализатора и уменьшаются его размер.

Удобства применения:

1. Быстрая замена отработанных катализаторов с помощью встраиваемых микроканальных модулей.
2. Процессы с взрывоопасными и/или высокотоксичными реагентами практически не опасны, а последствия возможных аварий не такие страшные.
3. Можно быстро организовать производство продукта в местах его потребления.
4. Легко контролировать и регулировать работу микрореактора, например, в автономных энергоустановках.
5. Можно организовывать мини-заводы, независимо от объема необходимого продукта.



ТЕХНОЛОГИИ

реакторы можно соединить параллельно, и тогда непрерывная работа сотен или тысяч аналогичных устройств даст нужную производительность. Причем мощность такого производства очень легко менять. Химическая промышленность могла бы много сэкономить, используя микрореакторы в основных и вспомогательных производствах. Тем не менее основой химических производств остаются классические большие реакторы, конструкции которых практически не совершенствуются.

Анатомия микрореактора

Чем принципиально отличается обычный химический макрореактор от микрореактора? В основном внутренней структурой. Однако здесь есть технологические тонкости, которые совершенно не очевидны на первый взгляд. Представим, что у нас проточный реактор в виде микротрубки и поток газа движется по каналу, на стенках которого закреплен катализатор, — именно так происходит при гетерогенном процессе. Реакция пройдет наиболее эффективно, если на поверхности раздела фаз газ будет интенсивно перемешиваться. Подсчитано, что для этого диаметр канала должен быть меньше 500

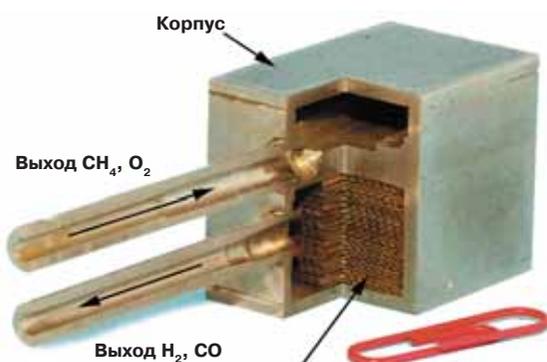
мкм. Если же по каналу течет не газ, а жидкость, у которой плотность в тысячу раз выше, чем у газа, то диаметр должен вырасти в десять раз. Есть еще один важный параметр работы реактора: чтобы реакция проходила в режиме идеального вытеснения (оптимальном для многих процессов), нужно, чтобы отношение длины канала реактора к его диаметру было равно примерно 100.

Результаты экспериментальных исследований и модельных расчетов показывают, что реакция имеет высокую селективность по конечному продукту, если пластины содержат каналы одинакового сечения. Например, если диаметр канала на 10% отклоняется от среднего значения, то перепад давления в канале изменяется всего на 6%, но при этом скорость потока может отклоняться на 39% от средней величины. И это уже сильно повлияет на производительность и селективность работы микрореактора.

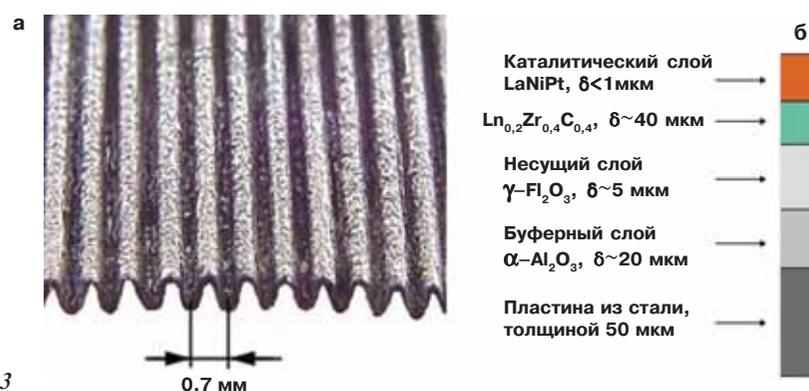
Очень важная и непростая научная задача — как закрепить катализатор на стенках микроканала? Обычно перед этим поверхность пластины с микроканалами обрабатывают особым образом, чтобы повысить ее адгезионные свойства. В зависимости от материала используют разные технологии: алюминии-

евые пластины анодируют, а изготовленные из нержавеющей стали, керамики и кремния — обрабатывают термическим и химическим способом. После обработки катализатор закрепляют с помощью самых разных химических методов: золь-гель-осаждения, электрофоретического и электрохимического осаждения, осаждения активного компонента из паровой фазы и пр. Его можно закрепить и физическими способами (с помощью плазменного, катодного, лазерного, электроннолучевого, термического и т. д. напыления), но это очень трудоемкий путь, да и катализатора удастся закрепить значительно меньше. Вообще, в зависимости от структуры носителя (его проницаемости, пористости, геометрических размеров каналов и т. д.) применяют те методы, которые дают в каждом конкретном случае наилучший результат.

Реактор для парциального окисления метана, сделанный в Институте катализа СО РАН (рис. 2), содержит десять микроканальных пластин 20x20 мм² из гофрированной фольги фехрала (это жаропрочный сплав Fe/Cr/Al). На поверхность пластин нанесли многослойное покрытие с катализатором (рис. 3). Если чередовать гофрированные и плоские пластины, то получится 500



2 Микрореактор для парциального окисления метана, изготовленный из жаропрочной нержавеющей стали. Размер 36 x 26 x 24 мм³



3 Микроканальные пластины с катализатором для микрореактора парциального окисления метана. Сделаны из фехральной гофрированной фольги толщиной 0,05 мм (а). Разрез многослойного каталитического покрытия, закрепленного на пластине (б)



4

Пластины из пеномеди (катализатор Zn/TiO_2). Их используют в микрореакторе паровой конверсии метанола

микроканалов. Такой реактор может давать 375 л водорода в час (удельная производительность 94 л/ч $см^3$, 840°C), что существенно больше, чем у многих зарубежных аналогов.

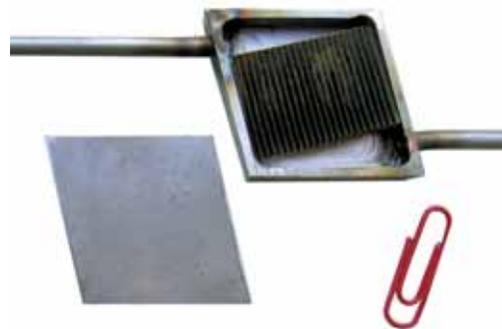
Один из перспективных материалов для изготовления каталитических микроканальных пластин — пенометалл. В этом случае технология довольно проста: достаточно смешать суспензию порошка готового катализатора со связующим компонентом, внедрить ее в поры пенометалла (обычно с помощью ультразвуковой обработки), и можно механическим прессованием получить пластину нужной формы (рис. 4). Преимущество этого метода очевидно: в дело идет готовый порошок катализатора, уже прошедшего все испытания, — ведь запрессовка его в пенометалл уже не изменит каталитических

свойств. Такие микроканальные пластины, изготовленные из пеномеди, с успехом применили в микрореакторе паровой конверсии метанола (рис. 5). При реакционном объеме всего 3,7 $см^3$ его удельная производительность по водороду — 8,8 л/ч $см^3$ (450°C).

Микрореакторы в действии

Несомненные лидеры по разработке и использованию микрореакторов в химической промышленности — Научно-исследовательский центр Карлсруэ, Институт микроэлектроники в Майнце (IMM) (Германия) и Северо-Западная тихоокеанская национальная лаборатория (PNNL) (США). Там уже разработаны и изготовлены несколько вариантов микрореакторов, микросмесители и микротеплообменники.

В частности, PNNL и Космический центр Джонсона (США) в рамках проекта NASA по освоению космического пространства работают над тем, как можно использовать природные ресурсы Марса. Предполагается, что ракетное топливо (метан) будет производиться прямо на месте. Атмосфера Марса достаточно разреженная (6—10 мм рт. ст.), а в ее состав входят 95,5% диоксида углерода, 2,7% азота, 1,6% аргона и следы других газов. Для получения метана нужен мно-



5

Микрореактор для паровой конверсии метанола, изготовленный из нержавеющей стали. Размер 32x32x9 мм³

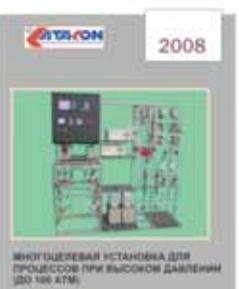
гостадийный процесс, включающий очистку и накопление CO_2 ; обратную реакцию водяного газа $CO_2 + H_2 = CO + H_2O$; гидрирование монооксида углерода до метана ($CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$) и электролиз воды для получения водорода. Исследователи считают, что миниатюрное химико-технологическое оборудование в данной ситуации особенно перспективно, поскольку у него самая высокая производительность на единицу массы.

Пластины с катализатором для обратной реакции водяного газа изготовили из металлической фольги (в ней сформировали каналы с помощью фотоли-



РЕШЕНИЕ, ПРИНЯТОЕ В ПОЛЬЗУ ТОЧНОСТИ...

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ



Для исследования каталитических свойств зернистых катализаторов в различных процессах с газовыми и парогазовыми реакционными смесями при атмосферном давлении и в условиях повышенных давлений

ЭФФЕКТИВНО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ:

- КАК НАДЕЖНОЕ И ОПЕРАТИВНОЕ СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
- ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ НОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ И ИЗУЧЕНИЮ КИНЕТИКИ КАТАЛИТИЧЕСКИХ
- ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ АКТИВНОСТИ ВЫГРУЖЕННЫХ, ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО АППАРАТА, ОБРАЗЦОВ КАТАЛИЗАТОРА
- ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ КАТАЛИЗАТОРОВ
- ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕЗАКТИВАЦИИ КАТАЛИЗАТОРОВ И СПОСОБОВ ИХ РЕГЕНЕРАЦИИ
- ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РАБОТ В УНИВЕРСИТЕТАХ И КОЛЛЕДЖАХ ХИМИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО



ЗАО "КАТАКОН"
Институт катализа им.Г.К.Борескова СО РАН

Россия, г. Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 5
тел/факс: +7 (383) 326 9495, e-mail: catacon@ngs.ru



6
Компактный топливный процессор для получения водородосодержащего газа с низким содержанием монооксида углерода. Сделан из жаропрочной нержавеющей стали. Размер: 140 мм в высоту и 70 мм в диаметре. В установку всего входит шесть микрореакторов: полного окисления метана, парциального окисления метана, два последовательных микрореактора для проведения реакции водяного газа (предварительная очистка от CO) и два микрореактора селективного окисления монооксида углерода (глубокая очистка выходного газа)

тографии и последующего химического травления). Пластины для получения метана сделали из фехралевого войлока, в который был запрессован рутений-содержащий катализатор. Рабочая модель микрореактора имеет объем менее 100 см³ и весит 175 г, но при этом его производительность по метану равняется 0,0125 кг (CH₄)/ч (t = 400°C). Эта производительность всего в восемь раз меньше той, которая по расчету нужна для реального путешествия на Марс. Эксперименты также показали, что затраты теплоты на получение метана можно свести к минимуму, совместив в одном микрореакторе экзотермическую реакцию метанирования с эндотермической обратной реакцией водяного газа.

Интересное применение микрореактору нашла американская корпорация «Coskata» — она получила дешевый биоэтанол из целлюлозы. В начале января 2008 года состоялась совместная пресс-конференция автогиганта «General Motors» и никому не известной на тот момент корпорации «Coskata». Стороны объявили о совместном проекте по строительству сначала пилотного, а затем и полномасштабного завода по производству сверхдешевого этанола. Цена литра, произведенного по

методу «Coskata», будет меньше четверти доллара, то есть 7,5 рубля. Метод основан на использовании этанол-производящих микроорганизмов, которые питаются синтез-газом. Основные проблемы, препятствующие созданию такого производства, — плохая растворимость компонентов синтез-газа в воде и то, что микроорганизмам необходим кислород. Чтобы решить эту проблему, микробиореактор состоит из огромного количества полых пластиковых трубок диаметром несколько десятков микрон, помещенных в воду. Внутрь трубок закачивается теплый синтез-газ, который равномерно просачивается через стенки-мембраны в окружающую воду, где находятся этанол-производящие бактерии.

В последнее время большое внимание стали уделять использованию микроканальных систем в тонком органическом синтезе. Многочисленные исследования доказали, что когда лабораторные объемные реакторы заменяют микроканальными, то время реакции существенно уменьшается, причем иногда на несколько порядков. Это вызывает удивление даже самих исследователей. Группа Стивена Хесуэла из английского университета города Халла приводит яркий пример: окисление этанола до уксусной кислоты с помощью перекиси водорода. В установке, состоящей из микрореактора и микротеплообменника, для реакции нужно всего 7,2 сек вместо 1800 сек при практически такой же конверсии! Соответственно микроканальные системы объемом 3 см³ дают производительность 4300 см³/ч (селективность 99%), а традиционный химический реактор с мешалкой объемом 2900 см³ дает 5930 см³/ч.

Исследования, проведенные в сингапурском Национальном университете, показали, что пероксид водорода можно получать непосредственно из водорода и кислорода. Ученые предложили оригинальную схему: на первой ступени водород и кислород получают из воды электролизом, а на второй водород и кислород поступают в каталитический микрореактор, в котором образуется пероксид водорода. Во-первых, благодаря микрореактору данная схема совершенно безопасна, а во-вторых, пероксид водорода можно производить непосредственно там, где он нужен.

У микрореакторов есть еще одно глобальное преимущество — уменьшение производственного риска. Ведь при температурах выше критической случайный выброс органических реагентов принесет минимальный ущерб окружающей среде. Когда микрореактор используют для исследовательских целей, количество вредных веществ так-



ТЕХНОЛОГИИ

же уменьшается — особенно это касается ароматических соединений. Существенно, что для этих установок требуется меньше и благородных металлов, которые необходимы как катализаторы.

Фабрики сырья для водородной энергетики

Сегодня водород, входящий в состав воды и всех органических соединений, считают самым универсальным и экологически чистым химическим энергоносителем. Уникальные свойства водорода позволяют использовать его в любых видах тепловых двигателей и устройствах получения электроэнергии. Ученые всего мира работают над тем, как перевести промышленность и транспорт на водород, и создают электрохимические генераторы на основе топливных элементов (которые также работают на водороде). Для новой энергетики будут необходимы «топливные процессоры» — компактные генераторы водорода для топливных элементов, получающие его из спиртов, эфиров и других углеводородов.

Так, например, миниатюрный топливный реактор объемом 0,2 см³ разработали совместно американская корпорация «PNNL» и университет Кейс Вестерн Резерв (США). Топливом для него служит метанол, н-бутан или н-октан. Стоит микрореактор из пяти микроустройств: двух испарителей воды с устройством предварительного нагрева, микрореактора паровой конверсии объемом 5 мм³, микрореактора полного окисления и теплообменника. Такое сочетание дало рекордную удельную производительность по водороду. Когда топливом служит метанол, то на выходе получается газовая смесь, содержащая 73—74% H₂, 25—26% CO₂, и 0,6—1,2% CO. В топливном элементе тепловая энергия трансформируется в электрическую с ~50% эффективностью, что позволяет получить 1,64 кВт_э/кг удельной электрической энергии (то есть энергии, поделенной на вес устройства). Это более чем на порядок больше удельной энергии, запасаемой в самой мощной литий-ионной батарее (0,15 кВт_э/кг).



В продолжение этой работы ученые создали портативную переносную энергоустановку с максимальной электрической мощностью 15 Вт_э. Ее предполагалось использовать как индивидуальный генератор электрической энергии в американской армии. Основа топливного процессора — опять-таки микрореактор паровой конверсии метанола. В сочетании с полимерным топливным элементом он позволяет в течение 14 дней непрерывно получать 13 Вт_э электрической мощности. При этом расход метанола — всего 1 кг.

В Южной Корее также разработали и испытали топливный микрореактор (40 x 40 x 30 мм³), в котором получается сырье для низкотемпературного полимерного топливного элемента мощностью 15 Вт. Он состоит из 50 пластин, каждая изготовлена из нержавеющей стали и содержит 22 канала шириной 500 мкм, глубиной 200 мкм и длиной 17 мм. Производительность по водороду — 12 л/ч. На выходе получается газовая смесь, содержащая водород, прошедшая доочистку от монооксида углерода и потому пригодная для использования в полимерном топливном элементе. (Низкотемпературные топливные элементы очень чувствительны к этому газу, его содержание не должно превышать 10 ppm.)

Недавно в Институте микроэлектроники Майнца (Германия) был создан топливный процессор 80 x 80 x 250 мм³ для питания топливного элемента электрической мощностью 5 кВт. Устройство предполагается использовать как дополнительный источник энергии в автомобилях. В микрореакторе изоктан окисляют кислородом воздуха и также получают на выходе газовую смесь, содержащую водород. Внутри реактор состоит из 200 металлических пластин толщиной 400 мкм, в которых проделаны каналы шириной 400 мкм, глубиной 200 мкм и длиной 150 мм (общее количество микроканалов — 25 000, что дает 2,6 м² полной поверхности). На пластинах закреплен тонкий слой катализатора Rh/Al₂O₃. Производительность микрореактора по водороду — 3,6 нм³/ч, но получающуюся смесь (H₂ — 42,4%; CH₄ — 2,6%; N₂ —

34,3%; CO — 7,1%; CO₂ — 13,6%) перед использованием надо очищать от монооксида углерода, что также делают с помощью микрореакторов (200 x 120 x 120 мм³). В результате всех ступеней микроочистки содержание CO удается довести до 50 ppm.

В России разработкой аналогичного топливного процессора занимались три организации: ГНЦ ФГУП «ФЭИ», ФГУП «Центр Келдыша» и Институт катализа СО РАН. В состав установки входит совсем маленькое устройство — микрореактор, сделанный в нашем Институте катализа СО РАН (о «начинке» этого микроустройства мы рассказали в начале статьи (рис. 2). В нем происходит парциальное окисление метана и получается синтез-газ (H₂ и CO), который можно напрямую без доочистки использовать в высокотемпературном топливном элементе (он не боится CO) с электрической мощностью 2 кВт. В процессор помимо четырех, подключенных параллельно микрореакторов парциального окисления метана также входят блок сероочистки, каталитический дожигатель отходящих газов и электронный блок управления. Весь процессор получился немаленький — 610 x 610 x 940 мм³, и весит он 60 кг. Это в несколько раз больше немецкого аналога, но при его создании компактность и не была основной целью. Ведь он предназначен для использования не в автомобилях, а в стационарных энергетических установках. Между тем размеры и производительность по синтез-газу (до 1,5 нм³/ч) нашего микрореактора, входящего в состав общей установки, совершенно не уступают мировому уровню.

Недавно мы сделали еще и компактный лабораторный топливный процессор (рис. 6). Основа — те же микроканальные системы парциального окисления метана. Предварительные испытания показали, что система работает достаточно стабильно, и на выходе дает 150 л/ч водородсодержащего газа (концентрация монооксида углерода — около 20 ppm). Надеемся, что, подобрав оптимальный режим работы и катализатор, мы сможем достичь тепловой мощности 500 Вт, а на выходе по-

лучить газ с концентрацией монооксида углерода всего 10 ppm. Такие микроканальные топливные процессоры сделаны в России впервые, и они могут достойно конкурировать с зарубежными аналогами.

Без сомнения, топливные процессоры на основе микрореакторов — это одно из перспективных направлений водородной энергетики. Их мощность может колебаться от 10⁻³ Вт для мобильных миниатюрных устройств до 100 кВт для больших стационарных. Конечно, в таких установках часто приходится решать дополнительные задачи, например очищать генерируемый в реакторе синтез-газ от монооксида углерода. Поэтому для получения чистого водорода, возможно, более перспективными окажутся мембранные микрореакторы — в них водород отделяется от остальных газов прямо в ходе реакции.

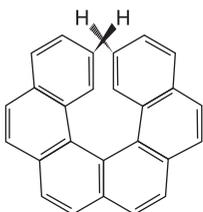
Ученые занимаются микрореакторами уже двадцать лет, но, чтобы использовать все их достоинства, нужно решить еще много проблем. В частности, разработать методы надежного закрепления катализатора на стенке субмиллиметрового канала. Синтезировать высокоактивные катализаторы, стойкие к высоким температурам и способные долго работать без потери активности. Надо также отладить методику изготовления тысячи или даже миллионов одинаковых каналов, на стенках которых должно быть закреплено одинаковое количество катализатора. Ведь только в таком случае удастся обеспечить одинаковое время контакта молекул с катализатором и соответственно высокую производительность и селективность устройства. Тем не менее можно не сомневаться, что эти проблемы будут решены и микроканальные системы станут активно использоваться и в химической промышленности, и в водородной энергетике.



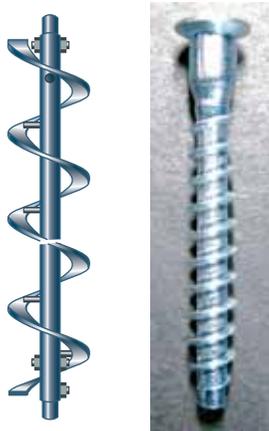
Гроверу и не снилось

Читатель, изучавший органическую химию, а еще лучше — стереохимию, знает, что такое гелицены. Для остальных поясним, что это ароматические углеводороды с молекулами из бензольных колец, соединенных в виде цилиндрических спиралей (англ. helix). Вместо бензольных колец могут быть другие ароматические циклы, которые обычно имеют плоское строение, а в гелиценах тоже располагаются по спирали. Спиральная форма молекулы получается из-за того, что ее противоположные концы, встречаясь в пространстве, не могут разместиться в одной плоскости и, отталкиваясь друг от друга, обра-

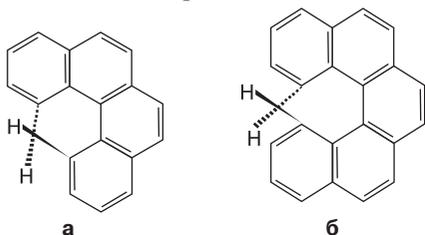
1 Гексагелицен — классический гелицен из учебника стереохимии



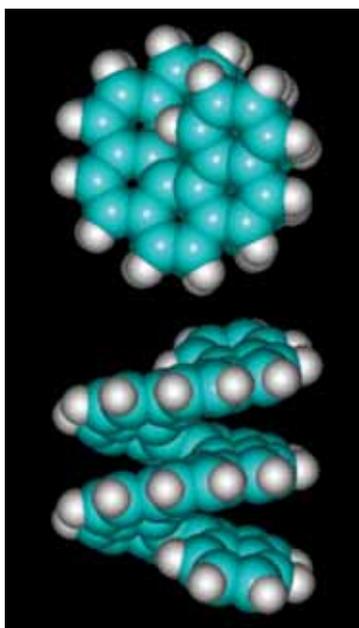
2 Шпек и шуруп — прототипы гелиценов



3 Шайба Гровера и простейшие гелицены — тетрагелицен (а) и пентагелицен (б); показаны атомы водорода, «мешающие» друг другу; у гелиценов все кольца имеют бензоидное строение



5 Ортогональные (взаимно перпендикулярные) проекции правого тетрадекагелицена, $\lambda_{\text{макс}}$ 345, 331 и 312 нм (вычислено квантово-химическим методом РМЗ)



зуют виток (рис. 1). Гелицен может быть правым или левым — здесь полная аналогия с резьбой шурупа, винтовой лестницей и шнеком (рис. 2).

Молекула простейшего гелицена напоминает пружинную шайбу, или шайбу Гровера, названную по фамилии изобретателя. Но данная шайба имеет слегка неплоский виток — это тетрагелицен. Он содержит четыре бензольных кольца (рис. 3). Добавление новых колец разводит витки на расстояние около 0,35 нм, то есть шаг гелиценовой спирали примерно равен промежутку между плоскостями в графите. Ближко расположенные бензольные кольца не только отталкиваются, но и притягиваются за счет так называемого стекинг-взаимодействия π -электронов (англ. stack — стопка, штабель), поэтому указанное расстояние является равновесным между двумя противоположными силами. Сближению концов способствует также стремление всякой ароматической молекулы иметь планарное расположение конденсированных колец.

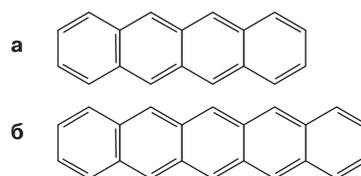
Гелицены — устойчивые ароматические углеводороды, почти лишённые видимой окраски, но поглощающие ультрафиолетовые лучи, как и всякая ароматика. Отсутствие поглощения видимых лучей света связано с тем, что во всех шестичленных кольцах гелиценов можно расставить двойные и простые связи, как в бензоле, то есть они имеют структуру Кекуле. Это свойство всех полибензолов с угловым аннелированием (то есть соединёнными под углом) кольцами, в отличие от линейно (то есть в линию) аннелированных, ярко и глубоко окрашенных аценов, начиная с оранжевого тетрацена (рис. 4а) и сине-фио-

ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

летнего пентацена (рис. 4б). Причину окраски объясняют тем, что большая часть шестичленных колец у аценов имеет не бензоидное, а хиноидное строение.

Еще одно важное свойство гелиценов — оптическая активность. Растворы, в которых присутствуют молекулы только одной — правой или левой — спирали, необычайно сильно влияют на проходящий через них плоско поляризованный луч света (поворачивают плоскость поляризации на определенный угол, называемый углом вращения). Наш глаз этого, правда, не замечает, но поляриметры фиксируют это свойство даже в весьма разбавленных растворах гелиценов. Соответствующая характеристика — удельный угол вращения (в расчете на содержание 1 г гелицена в 1 мл раствора и толщину слоя 1 дм) достигает тысяч и десятков тысяч угловых градусов. Ни один другой класс химических соединений не имеет столь больших удельных углов вращения, как гелицены.

В природе гелицены не встречаются, это рукотворный класс соединений. Методы их синтеза непросты, поэтому максимум, что пока удалось сделать, — со-



4 Тетрацен (а) и пентацен (б)

единить 14 бензольных колец в виде двух с половиной витков спирали (рис. 5, заместители, присутствующие в реальном соединении, не показаны). В то же время собрать компьютерную модель гелицена можно и с большим числом витков, такую структуру логично назвать «супергелицен». Это многоядерный ароматический олигомер, с общей формулой $C_{4n+2}H_{2n+4}$, где n — число бензольных колец. Такова формула ката-конденсированных (не имеющих внутренних узловых атомов углерода) полибензолов.

Доктор химических наук
М. Ю. Корнилов



Кандидат
физико-математических наук
А.И.Терехов,
Центральный
экономико-математический институт РАН,
a.i.terekhov@mail.ru

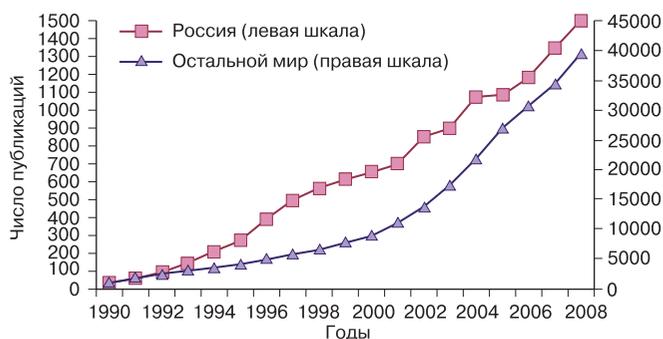
Измерение нанотехнологий

Многие считают, что умение работать с нанообъектами (то есть такими, размер которых менее 100 нм) — ключ к технологиям XXI века. Не случайно правительства более 60 стран, включая Россию, приняли национальные программы развития нанотехнологий. Случилось это недавно, поэтому надежных экономических данных для оценки успехов или неудач в освоении нанотехнологий еще нет. О том, что происходит в этой области, помогают судить наукометрические индикаторы, например количество исследователей, подсчет публикаций, индекс цитирования и другие. В мире выполнены десятки крупных наукометрических анализов нанотехнологий, как по отдельным странам, так и международных. В нашей стране такие исследования пока не проводили, и даже многие официальные лица ссылаются в своих выступлениях на зарубежные оценки по России. Попробуем хотя бы частично заполнить этот пробел.

Нанонаука в зеркале публикаций

Журнальные публикации наиболее ценны для наукометрического анализа, поскольку их много. А самые полные данные содержатся в главной наукометрической базе — «SCI-Expanded», основанной на индексе цитирования. Ее сначала поддерживал американский Институт научной информации, а теперь — канадская компания «Томсон Рейтерс». Поиск в ней по ключевым словам (помимо терминов с приставкой «nano» в их число входили, например, fullerene, quantum dot, dendrimer и photonic crystal) с 1990 по 2008 год позволил выделить 256 127 нанопубликаций. Динамика их роста от года к году показана на рис. 1.

Глядя на результаты поиска, сразу становится понятно, что нанотехнологии действительно волнуют весь мир: среди авторов есть представители более 120 стран. Лидерство США

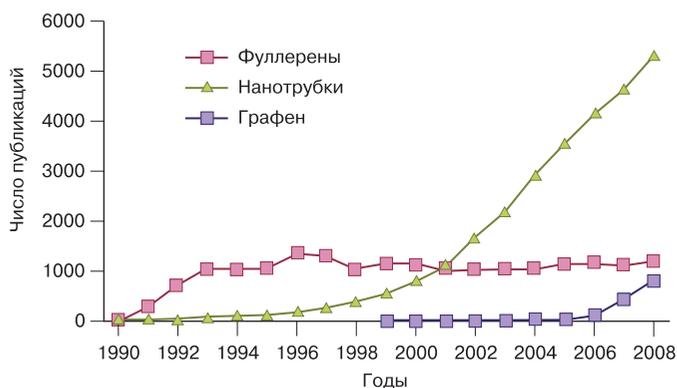


1
Число публикаций быстро растет и в мире, и в России

впечатляет: их вклад в массив нанопубликаций — 27,1%, и, хотя по среднему числу ссылок на одну публикацию (28,0) американские ученые находятся на третьем месте, по валовому показателю цитирований они превосходят весь остальной мир. Российское авторство или соавторство — у 12 165 нанопубликаций за исследуемый период, что составляет 4,7%. При этом по доле нанопубликаций 1990—1999 и 2000—2008 годов Россия входила в десятку наиболее продуктивных стран. Достаточно высокий уровень отечественных публикаций подтверждают соавторские связи с учеными из стран-лидеров: с соавторами из Германии подготовлено 13,7% от общего числа статей с российским участием, из США — 8,0%, из Франции — 5,7%. Производство нанопубликаций сконцентрировано в главных центрах академической и вузовской науки: в Москве (4816 нанопубликаций), Санкт-Петербурге (3771), Новосибирске (1111), Черноголовке (967), Екатеринбурге (475). Среди мировых научных организаций Российская академия наук — вторая (после Академии наук Китая) по числу публикаций в области нанотехнологий, в российских же публикациях ее доля превышает 50%.

Достигнув максимума 8,1% в 1997 году, вклад отечественных ученых стал неуклонно снижаться вплоть до 3,7% в 2008 году, при этом Россия опустилась с шестого на девятое место в мире. Если в 1997 году двенадцать ученых из России (в основном представителей научной школы академика Ж.И.Алфёрова) входили в сотню самых продуктивных авторов, то в 2008 году их не было даже в числе первых 250. Причины — недостаточное внимание к российской науке в целом и к поддержке приоритетных областей: многие страны уже в начале 2000-х годов приняли национальные программы развития нанотехнологий, опередив нас на 5—7 лет.

По среднему числу ссылок на одну статью, опубликованную в 1990—2007 годах, Россия находится в четвертом десятке стран. Однако при подсчете данного показателя часто заметен «эф-



2
Первоначальный энтузиазм, с которым исследователи занялись фуллеренами, сменился более сдержанным отношением, чего не скажешь о других наноформах углерода — нанотрубках и графене



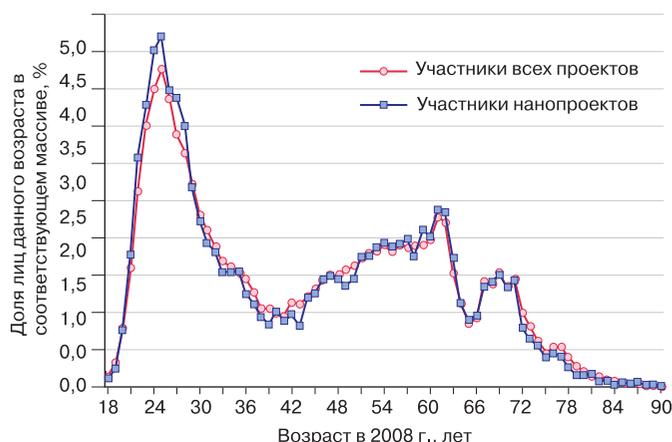
РАССЛЕДОВАНИЕ

фект малой страны». Суть этого эффекта состоит в том, что если у представителя страны с малым числом публикаций есть несколько высокоцитируемых статей, например в соавторстве с США, то показатель средней цитируемости резко возрастает — в знаменателе ведь стоит то самое малое число. Кроме того, Швейцария и Нидерланды — это маленькие страны с географической точки зрения, но крупные научные державы по вниманию к науке и относительным расходам на исследования и разработки. Именно эти две страны занимают первые два места в рейтинге цитируемости, а в первую десятку входят также Израиль, Дания и Бельгия. Эстония и Грузия находятся выше России, имея всего 77 и 35 публикаций соответственно. В этой ситуации более объективен общий показатель цитируемости всех публикаций; по нему Россия со своими 96 433 ссылками на 10 640 статей за 1990—2007 годы — на десятом месте.

Причины низкой цитируемости статей в российских журналах известны, поэтому для сравнения были отобраны десять наиболее представительных зарубежных журналов, включая «Physical Review B» (700 нанопубликаций с участием России), «Applied Physics Letters» (213), «Physical Review Letters» (141), «Science» (10), «Nature» (9). Средняя цитируемость российских нанопубликаций в этих журналах (23,1 ссылки) несильно уступает аналогичному общему показателю (30,4 ссылки), а в таких журналах, как «Nature», «Applied Physics Letters», «Physics Letters A», «Solid State Communications», «Applied Surface Science», превышает его. В числе 99 мировых нанопубликаций, процитированных более тысячи раз, есть две работы отечественных ученых. Это статья ученых из Уфы во главе с Р.З.Валиевым о создании объемных наноструктурных материалов методами интенсивной пластической деформации (1672 ссылки, 36-е место в рейтинге на июнь 2009 года) и статья ученых из Черноголовки с зарубежным соавторством, посвященная графену (1337 ссылок, 58-е место в рейтинге). Для сравнения: на первом месте с 6431 ссылкой находится знаменитая статья Г.Крото, Р.Смолли, Р.Кёрла и их коллег в «Nature» с сообщением об открытии фуллера C_{60} . Восемьдесят три публикации, имеющие российское авторство или соавторство, процитированы сто и более раз, то есть оказали значимое воздействие на развитие области. В таблице приведен список отечественных ученых, опубликовавших в 2006—2008 годах наибольшее количество работ по нанотехнологиям и имеющих высокие показатели цитируемости по базе данных «SCI-Expanded».

Углеродная гонка

Гонка, цель которой состоит в том, чтобы раньше конкурентов обнаружить тот или иной эффект, — типичная форма соперничества в научно-технической сфере. Например, гонка за новыми углеродными наноструктурами началась с 1985 года, после того как ученые из США и Великобритании в физическом эксперименте открыли фуллерены. В 1990 году В.Кречмер (Германия) и Д. Хафмен (США) нашли простой способ их получения электродуговым испарением графита в атмосфере инертного газа, а через три года количество статей, обзоров, трудов конференций, писем, посвященных изучению фуллеренов и их производных, превысило тысячу в год (рис. 2). Столь высокий интерес был обусловлен необычными свойствами фуллеренов, внушавшими надежды на широкое использование.



3

На распределении отечественных ученых по возрастам отчетливо виден провал, связанный с социально-экономическими изменениями 1990-х годов. Впрочем, доля молодежи в нанопроектах несколько выше, чем в целом по всем проектам РФФИ

Мировой «фуллереновый бум», в частности, предопределил открытие углеродных нанотрубок: сначала многослойных (1991), затем однослойных (1993). По набору свойств и потенциалу применений нанотрубки превосходят фуллерены, поэтому они сразу же привлекли интерес исследователей. Мировой поток публикаций о нанотрубках стал расти по экспоненте после того, как в 1992 году их научились получать в граммовых количествах: в 2002 году он превысил мировой поток публикаций по фуллеренам. Следующей «точкой роста» в изучении новых форм углерода стало открытие в 2004 году графена — многообещающего материала для нанoeлектроники (рис. 2).

Углеродными наноструктурами занимались ученые более чем из 70 стран. В десятке лидеров по количеству публикаций — передовые промышленно развитые страны (США, Япония, Германия, Великобритания, Франция, Италия), азиатские «тигры» (Южная Корея и Тайвань). Впечатляющие результаты у Китая, который сейчас находится в тройке лидеров по изучению всех трех типов углеродных наноструктур. С 2007 года китайские ученые публикуют больше всего статей по исследованиям углеродных нанотрубок. Ученые из Южной Кореи опубликовали свои первые работы по нанотрубкам лишь в 1997 году, однако в 2001 году уже обогнали Германию и вышли на четвертое место в мире. Заметных успехов за то же время добился Тайвань, достигший в 2008 году седьмого места. Индия переместилась из второй в первую десятку стран. Если добавить к этому Японию, которая практически не покидает лидирующую тройку, то видно, что азиатские страны сделали серьезную ставку на углеродное направление нанотехнологий. США остается лидером гонки (время от времени уступая первенство по фуллеренам Японии, а по нанотрубкам — Китаю). Фактически американцы первыми начали менять направление исследований углеродных наноструктур: уже в 2000 году они опубликовали больше статей по нанотрубкам, чем по фуллеренам, а в 2003 году разрыв увеличился в разы. За США сразу устремился Китай.

Таблица.

Самые продуктивные российские авторы 2006–2008 годов

№ п/п	ФИО	Организация	Количество публикаций	Средняя цитируемость	h-индекс
1.	А.М.Жёлтиков	МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет	58	3,43	7
2.	И.А.Овидько	Институт проблем машиноведения РАН	44	4,11	7
3.	В.М.Устинов	Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе	40	3,85	8
4.	Ю.Д.Третьяков	МГУ им. М.В.Ломоносова, факультет новых материалов	35	3,43	6
5.	Ю.Е.Лозовик	Институт спектроскопии РАН	35	3,03	6
6.	Г.Э.Цырлин	Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе	34	4,74	7
7.	Р.З.Валиев	Уфимский государственный авиационный технический университет	33	6,24	8

h — так называемый индекс Хирша: ученый имеет индекс h, если h из его N статей цитируется как минимум h раз каждая, в то время, как оставшиеся N-h статей цитируется не более, чем h раз каждая

Российские ученые, опираясь на советские научные заделы, долго удерживались на третьем месте по фуллереновым публикациям, уступив его Китаю лишь в 2005 году. Однако хотя первые российские работы по нанотрубкам были выполнены сразу вслед за японцами, в дальнейшем отечественные специалисты просмотрели мировую тенденцию и к 2008 году оказались лишь на тринадцатом месте. С графеном та же ситуация: при решающем вкладе в его открытие российских ученых (К.Новоселову из Черногловки и его бывшему коллеге А.Гейму из Манчестера принадлежит самая высокоцитируемая статья по графену) по количеству публикаций в 2008 году Россия была на девятом месте. Лидеры — США (с большим отрывом) и Китай.

Что касается научных организаций, то сотрудники Российской академии наук опубликовали больше всех статей по фуллеренам, а по исследованиям нанотрубок находятся на третьем месте после Академии наук Китая и расположенного в Пекине университета Цзинхуа. (Нанотехнология в целом приобретает все более азиатские черты, поскольку значительную часть исследований проводят ученые из Китая, Японии, Южной Кореи и с Тайваня.) Ученые из отечественных академических институтов внесли исторический вклад в изучение новых форм углерода. Им принадлежат расчетное обоснование стабильности молекулы C_{60} в форме усеченного икосаэдра (Институт элементоорганических соединений АН СССР, 1973); наблюдение в электронном микроскопе углеродных нанотрубок, полученных при термическом разложении окиси углерода (Институт физической химии АН СССР, 1952); высокоэффективная полевая эмиссия электронов с острия углеродной нанотрубки (Институт радиотехники и электроники РАН, 1994); экспериментальное открытие графена (Институт проблем технологии микроэлектроники РАН и Манчестерский университет, 2004). Все это — опережающие достижения, не поддержанные научными властями страны или поддержанные с большим запозданием. Лишь спустя 20 лет после предсказания нашими учеными фуллерена, когда его уже открыли экспериментально и количество фуллереновых публикаций превысило тысячу в год, в государственную научно-техническую программу «Актуальные направления в физике конденсированных сред» ввели направление «Фуллерены и атомные кластеры», оказавшееся, впрочем, весьма эффективным. Не были своевременно поддержаны и отечественные исследования по нанотрубкам — отсюда не только плачевное положение с публикациями, но и отсутствие отечественных технологий промышленного производства этого важнейшего для нанотехнологий материала.

Деньги и возраст

Согласно оценке американской консультационной компании «Lux Research», по государственным расходам на научные исследования и разработки в области нанотехнологий Россия находилась в 2005 году на тринадцатом месте. (Такие расчеты проводят с учетом паритета покупательной способности: средства расходуют в разных валютах и при разных внутренних уровнях цен; чтобы сопоставлять их, определяют паритетное соотношение валют применительно к определенному набору товаров и услуг.) Тройку лидеров, как нетрудно догадаться

ся, составляли США, Китай и Япония. Отставание России обусловлено, однако, не только недостатком средств: финансирование с 2007 года стало быстро увеличиваться. Более серьезная и глубокая причина — ослабление кадрового потенциала из-за утраты умов и слабого притока молодых специалистов. Поскольку достижения нанотехнологий рождаются на самом переднем крае науки, личность исследователей играет для нее особую роль. Наукометрия может дать ответ на вопрос: кто эти люди? Посмотрим на самую активную группу — участников проектов РФФИ.

В исследовательских нанопроектах, стартовавших в 2006—2008 годах, участвовали около 8,7 тысячи человек. Они составляли 1353 тематические научные группы и выполняли проектные исследования более чем в 300 организациях. Средний возраст участников в 2008 году — 43,5 года, хотя по регионам он заметно варьировал: 39,5 года в Татарстане, 42,1 года в Новосибирской области, 44,9 года в Московском регионе, 45,8 года в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Таким образом, самые старые кадры исследователей находятся именно там, где расположены основные институты РАН и ведущие вузы страны. Кстати, средний возраст ста самых продуктивных в 2006—2008 годах российских ученых (82 из них участвовали в нанопроектах РФФИ) в 2008 году равнялся 50,9, а первых десяти — 56,6 года.

Распределение участников нанопроектов по возрасту почти не отличается от распределения участников всех проектов РФФИ в 2008 году (рис. 3). На этом графике очень хорошо виден разрыв между научными поколениями. Катастрофическое истощение поколения «отцов» объясняется массовым исходом из науки в 1990-х годах, когда многие научные сотрудники были вынуждены сменить вид деятельности на более доходный либо покинули страну. Помимо социально-экономических потрясений переходного периода определенную роль в этом истощении сыграло и снижение рождаемости в России во второй половине 1960-х годов, связанное с последствиями войны. В результате был нарушен нормальный процесс накопления научного знания и его передачи между поколениями. Восстановление потребует длительного времени. Ситуация осложняется тем, что к 2012 году, когда институт будут заканчивать люди, родившиеся в 1991 году и позже, российскую науку ждет еще один демографический удар: резкое падение рождаемости, начавшееся в 1991 году, приведет к срезанию наметившегося молодежного пика (рис. 3). Тем самым база для пополнения ученых в продуктивных возрастах еще уменьшится. Если учесть, что подготовка специалистов в такой междисциплинарной и динамичной научной области, как нанотехнологии, требует дополнительных организационных усилий и больших начальных затрат, то можно констатировать: кадровый барьер обещает стать решающим препятствием для долгосрочного развития нанотехнологий в нашей стране.

Нанотехнологии на бирже

Мировые инвестиции в нанотехнологии уже превысили 70 млрд. долларов и продолжают активно расти, несмотря на кризис. Показательно, что с 2007 года промышленники стали вкладывать в это направление больше, чем правительства. Однако объем собственно нанопроизводства невелик: например, мировой рынок нанотрубок и фуллеренов составил в 2008 году всего 300 млн. долларов.

В ближайшей перспективе внедрение значительной части нанотехнологий будет проходить через вновь созданные малые компании, так называемые стартапы. Для их появления и развития необходимо привлекать крупный венчурный капитал. Однако с этим есть проблема: доля подобных нанотехнологических компаний в 2007 и 2008 годах ограничилась 1,8 и 2,8% от общего мирового объема венчурного инвестирования. Для сравнения: в 2007 году в компании, изготавливающие меди-



РАССЛЕДОВАНИЕ

цинское оборудование, было вложено более 10%. Формой успешного выхода компании на рынок служит первичное публичное размещение акций — IPO. Общая стоимость всех таких размещений, проведенных в нанотехнологиях по 2007 год включительно составила, по оценке «Lux Research», всего 2,57 млрд. долларов. Это очень незначительная величина, примерно равная стоимости первичного размещения акций инфокоммуникационных венчурных компаний на рынке США всего в одном втором квартале 2007 года. Одна из причин такой пассивности заключена, очевидно, в недостатке успешных моделей ведения нанобизнеса.

Для отслеживания фондовых показателей нанотехнологических компаний в мире было запущено около десятка специальных биржевых индексов. Анализ некоторых из них (инвестбанка «Merrill Lynch», Международной фондовой биржи и консультационной компании «Lux Research») показал: после краткого «нанобума» в первой половине 2006 года интерес Уолл-стрит к нанотехнологиям заметно снизился. Однако в условиях общерыночного спада у нанотехнологических акций со средне- и долгосрочной перспективой все же есть шанс обратить на себя внимание фондовых игроков. Так, глобальный нанотехнологический индекс банка «Societe Generale», который ориентирован на компании, применяющие нанотехнологии в биотехнологии и фармацевтике, демонстрирует опережающий послекризисный рост по сравнению с эталонным индексом «Morgan Stanley Capital International» — он рассчитывается по 1742 компаниям из 23 наиболее развитых стран.

Согласно этим (далеко еще не полным) данным, экономические успехи нанотехнологий пока не столь впечатляющи, как о них иногда рассказывают. Тем не менее правительства многих стран уверены, что наноиндустрия может стать одним из определяющих факторов экономического роста.

Россия не попала в число стран, которые первыми осознали потенциал нанотехнологий и организовали их приоритетное финансирование на государственном уровне: отечественная нанотехнологическая программа была принята, как уже говорилось, с запозданием на 5—7 лет. Результатами этого стали отставание в формировании фундаментальной научной базы нанотехнологий (ухудшение международных библиометрических рейтингов России); наметившиеся проблемы с обеспечением кадрами; отсутствие накопленных инвестиций.

Есть проблемы и с прогнозами. Из всех данных следует, что российская научная политика скорее реагирует на мировые тенденции, а не участвует в их формировании. Это в немалой степени связано с отсутствием адекватной системно-аналитической основы принятия решений. В основном она базируется на качественных оценках экспертов, а количественным исследованиям, например подсчету публикаций и патентов для получения представлений о научно-технологическом заделе той или иной страны, уделяется мало внимания. Все это еще долго будет влиять на эффективность внедрения нанотехнологических инноваций, а само участие России в международной нанотехнологической гонке потребует значительных усилий, направленных на преодоление отставаний и недостатков научной политики.



ТРУДНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

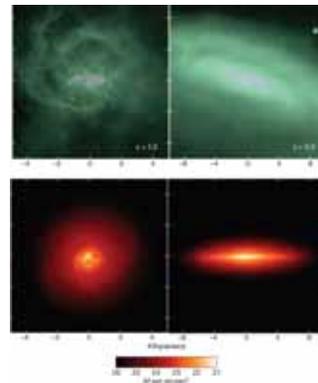
Вспомнив о том, что звезды взрываются, астрономы решили давнюю проблему.

«Nature», 2010, т. 463, № 7278.

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

Двадцать лет астрономов мучает вопрос: отчего центры карликовых галактик весят значительно меньше, чем положено согласно теории? Теория же утверждает, что там должно находиться сгущение как вещества, так и темной материи. Отсутствие такого сгущения, казалось бы, фактик мелкий, но он способен поставить крест на всей концепции, отчего и получил название «катастрофа холодной темной материи».

И так и эдак пытались астрономы построить модель галактики, чтобы объяснить этот фактик, но ничего у них не получалось. И вот наконец большая группа ученых из Великобритании, Швейцарии, Канады и США во главе с доцентом Фабио Говернато из Вашингтонского университета нашла объяснение. Оказывается, во всех предыдущих моделях ученые учитывали лишь темную материю, поскольку ее в пять раз больше, чем вещества. Если же учесть и его поведение, то в модели начнутся бурные процессы, в частности взрывы первых звезд как раз в центрах галактик. Как показало моделирование, проведенное в течение многих миллионов часов на нескольких суперкомпьютерах, при этом возникают мощные ветры, которые буквально выдувают вещество прочь из центра. Масса в этой области резко падает, гравитация снижается, и темная материя удаляется подобно тому, как разбрелись бы в разные стороны планеты, если бы центральная звезда системы вдруг исчезла.



ФТОР-ЗАЩИТНИК

Чтобы фтор защищал от кариеса, в зубной пасте его должно быть много.

«Cochrane Database of Systematic Reviews», 2010, № 1. www.cochrane.org/reviews/en/ab007868.html

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

В детских зубных пастах содержание фтора может быть от 100 до 1400 ppm (то есть частей на миллион). Как это влияет на профилактические свойства пасты? Ответ нашли ученые из Манчестерского университета во главе с доктором Анной Марией Гленни, которые провели 79 исследований в разных странах, причем общее число принявших в них участие детей превысило 70 тысяч. Результат был таков: если в пасте менее 1000 ppm фтора, то она защищает от кариеса так, будто в ней фтора совсем нет.

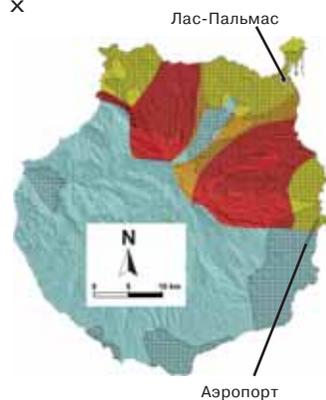
Однако и большое количество фтора не всегда полезно: оно может привести к флюорозу, когда зубы приобретают коричневый оттенок или покрываются пятнами. Как показало исследование, такой риск действительно существует, однако его степень зависит от поведения родителей. Если чистить зубы совсем маленькому ребенку, да еще наносить пасту на щетку толстым слоем, то он съест так много фтора, что возникнут неприятности. Если же пользоваться пастой аккуратно и умеренно, то опасность уменьшается. В общем, приходится выбирать между снижением на четверть вероятности кариеса и ничтожной возможностью получить на зубах коричневые, но безболезненные пятна из-за большой концентрации фтора в зубной пасте.

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

Канарские острова – архипелаг вулканического происхождения, поэтому присутствие там вулканов неудивительно. Однако мало кто из туристов задумывается над тем, что вулкан может проснуться в любой момент. К сожалению, вулканологи не могут предсказать точную дату, зато способны предположить, где это скорее всего случится. Именно такую работу проделали ученые из Университета Лас-Пальмас де Гран-Канарии и барселонского Института наук о Земле.

Оказалось, что за последние 11 тысяч лет вулканы на главном острове архипелага извергались 24 раза, оставив следы в виде стромболитовых конусов (они образуются, когда из вулкана истекает лава) и кальдер (отверстий, которые выпускают газы). Извержения удалось объединить в три группы: те, что произошли 10 тысяч лет, 5,7–6 тысяч лет и 1,9–3,2 тысяч лет назад, причем в последний раз пострадали поселения островитян. Мы видим, предупреждает руководитель работы Алехандро Родригес-Гонсалес, тенденцию к сокращению периодов покоя вулкана и увеличению количества изверженной магмы в серии.

Расчет вулканологов показывает, что с наибольшей вероятностью извержение случится в северной, наиболее населенной части главного острова, где к тому же расположен аэропорт. Скорее всего, это будет извержение так называемого моногенетического стромболианского типа, от которого останется конус высотой 30–250 м и язык лавы длиной от 100 до 10 тысяч метров.



КАНАРСКИЕ ВУЛКАНЫ

Ближайшее извержение на Канарах затронет север острова Гран-Канария.

«Journal of Quaternary Science», 2009, т. 24, № 7, с. 697.

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

Процесс автоионизации стал известен не вчера. Суть его в том, что если выбить из молекулы электрон с помощью рентгеновского излучения, то через несколько фемтосекунд будет освобожден еще один электрон. Ясность в детали этого процесса внесли немецкие физики из Института физики плазмы Макса Планка и Института Фрица Габера. Они облучали мягким рентгеном синхротронного источника мелкие кусочки льда и получали пары электронов.

Оказалось, что второй электрон вылетает вовсе не от той молекулы воды, что была возбуждена при поглощении рентгеновского фотона. Излучив первый электрон, она снимает оставшееся возбуждение весьма специфическим способом — передавая его другой молекуле, а та теряет свой электрон. Передача возбуждения происходит бесконтактным способом. Этот феномен получил название «межмолекулярный кулоновский распад».

«Возникновение каскада медленных электронов при облучении позволяет лучше понять, почему лучи высокой энергии губительны для живых существ. Ведь, как было установлено несколько лет назад, попав в органическую молекулу, такой электрон способен ее перерезать подобно ножницам», — говорит участник работы Уве Хергенхан.

«Nature Physics», 2010, № 6, с. 143.

ХЕЛИКОБАКТЕР-ВОСПАЛИТЕЛЬ

Бактерия, вызывающая язву и рак желудка, блокирует работу иммунной системы.

Malin Hansson,
malin.hansson@microbio.gu.se

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

Бактерия *Helicobacter pylori* живет в желудке у каждого второго. Однако в десяти случаях из ста это сожительство приводит к язве, а в одном — к раку желудка. И побороть эту бактерию никак не удастся, разве что приемом антибиотиков. Аспирант Гётеборгского университета (Швеция) Малин Ханссон, выполняя свою диссертационную работу, обнаружил один из приемов, с помощью которых бактерии удается победить иммунную систему.

Обычно при иммунном ответе прежде всего возбуждаются так называемые дендритные клетки, которые собираются в лимфатических узлах и обучают новые лимфоциты, где искать врага и как его распознать. Хеликобактер же каким-то образом добивается, чтобы эти клетки не достигли места своего назначения. «Они собираются в отдельных участках ткани желудка, концентрируют вокруг себя все новые и новые иммунные клетки, например В-лимфоциты, активируют их, заставляя вырабатывать иммуноглобулин. Все это приводит к хроническому воспалению, бактерии же от этого ничуть не страдают», — говорит Малин Ханссон.

ЗОЛОТО ОТ РАКА

Золотая наночастичка запрещает клетке опухоли доделиться до конца.

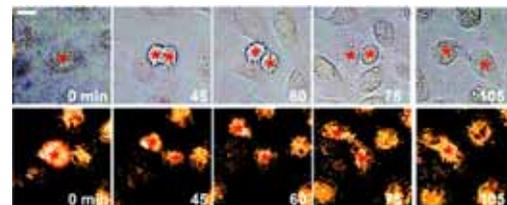
«Journal of the American Chemical Society», 2010, т. 132, № 5, с. 1517.

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

Если золотые наночастицы внедрить в клетку, а потом нагреть их, то клетка погибнет. Но что делать, если никаким источником излучения до частиц не добраться? Ответ на этот вопрос нашли ученые из Технологического университета Джорджии во главе с профессором Мустафой эль-Сайедом. А возник он после того, как эти ученые научились доставлять золотые наночастицы в раковые клетки.

Для этого на поверхность частицы пришивают этиленгликоль с добавками пептида — цепочки из остатков трех аминокислот: аргинина, глицина и аспарагиновой кислоты. Этот пептид известен способностью связываться с рецепторами, присутствующими именно на поверхности раковой клетки. Теперь же эксперимент усложнили, добавив пептид, который протаскивает белки сквозь поры в оболочке ядра.

Как оказалось, в концентрации 0,4 наноля такие золотые частицы оказывали сильное воздействие на ядро, а именно вызывали разрывы одной из цепочек ДНК. В результате клетка опухоли утрачивала способность делиться до конца. Обычно в клетке образуются два ядра, они вместе с цитоплазмой расходятся, новые клетки разделяет лишь тонкий мостик, который рвется (верхний ряд фото). В раковой клетке с золотом мостик внезапно сокращается (нижний ряд фото), и клетка воссоединяется. А поскольку два ядра в одной клетке — это слишком много, включается апоптоз. Хотя механизм этого явления неясен, вполне возможно, что наночастицы золота, снабженные только пептидами доставки, без всяких лекарственных добавок могут оказаться новым видом противораковых препаратов.



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

«ГОЛОДНОГО МИКРОБ НЕ ТРОНЕТ»

Голодающий организм начинает разрушение своих микробов-сожителей.

«Nature Reviews Immunology»,
doi:10.1038/nri2731.

Для того чтобы уничтожить врага, проникшего внутрь организма, есть иммунная система. А что же враг внешний, обитающий на так называемой пограничной ткани — поверхности кишечника, легких или на коже? Если держать иммунную систему в постоянном напряжении, получается хроническое воспаление. А если не держать, то как бороться с патогенами? Ученые из Боннского университета во главе с профессором Михаэлем Хохом обнаружили совершенно независимый от иммунной системы механизм, причем для его активации нужен голод.

Оказывается, клетки и человеческого организма, и мушки дрозофилы способны вырабатывать так называемые антимикробные пептиды — они разрушают оболочки клеток и убивают микроорганизмы (автора сообщения не уточняют, любые или только вредные). Сигнал же на изготовление таких пептидов подает фактор транскрипции FOXO. Этот фактор занят тем, что включает или выключает какие-то гены. Его, в свою очередь, активирует низкое содержание инсулина, которое падает как раз при голоде либо излишних затратах энергии. «Организм, чувствуя недостаток энергии, начинает укреплять свою границу с внешним миром, чтобы избежать опасной ситуации», — говорит профессор Хох.

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

МГНОВЕННОЕ ЗАМОРАЖИВАНИЕ

В конце палеолита Европа замерзла за несколько месяцев.

William Patterson,
bill.patterson@usask.ca

Продолжаются споры о том, отчего и как Северное полушарие замерзло в позднем дриасе (то есть 12 800 лет назад — не путать с триасом, первым этапом мезозоя). Кто-то считает, что в этом виновата кометная бомбардировка (см. «Химию и жизнь», 2009, № 9), кто-то с таким мнением не согласен. К числу последних принадлежит Уильям Паттерсон из канадского Саскачеванского университета. Вместе с коллегами, работая по программе Европейского научного фонда «Бореас», он тщательно исследовал ил, скопившийся на дне ирландского озера Лох-Монрич. Ученые сумели разрезать керны на слои толщиной 500 мкм, которые образуются всего за один — три месяца, и померить в них содержание изотопов углерода. По ним же можно судить о фотосинтезе на поверхности озера.

Как оказалось, в момент похолодания фотосинтез полностью прекратился всего за несколько месяцев и возобновился лишь через несколько лет. «Такое ощущение, что озеро мгновенно перенесли из Ирландии на Шпицберген», — сказал Паттерсон на конференции «Проблемы людей в Арктике» (Рованими, Финляндия, ноябрь 2009 года).

Причиной столь резкого похолодания считают отнюдь не кометную бомбардировку, а прорыв берега древнего североамериканского озера Агассиц, в результате чего огромное количество пресной воды вылилось в Атлантический и Северный Ледовитый океаны. В результате Гольфстрим мгновенно ушел в глубину, Европа замерзла на 1300 лет, и древняя история человечества стала совсем не такой, какой была бы в мягком климате. По кернам гренландского льда продолжительность этого процесса оценивали в десятки лет. Исследования ила показывают, что похолодание наступило куда стремительней.

Выпуск подготовил кандидат физико-математических наук **С.М.Комаров**



Итоги свиного гриппа



Е. Котина

МИФЫ НАШЕГО ВРЕМЕНИ

Свиной грипп шагает по планете, он к нам еще вернется. Свиной грипп опаснее птичьего, от него жуткие осложнения и не помогают прививки. От него не помогают и лекарства (но осенью и зимой арбидола и тамифлю в аптеках постоянно не хватало). Маски, как пишет «Химия и жизнь» (2009, № 12), от него не помогают тоже, но раз все носить, надо надеть. В период массовых заболеваний случалось, что мирные люди, которые вовсе не собирались в банк, натягивали на голову черный чулок — и если правда, что смех поднимает иммунитет, польза от этого была. С другой стороны, смех смехом, а летальные исходы имели место. Сейчас, когда паника схлынула, пора подвести некоторые итоги.

Вирус гриппа: общее знакомство

Для начала раз и навсегда уясним, в чем разница между гриппом и обычной простудой. То и другое передается воздушно-капельным путем, в обоих случаях пациенты жалуются на высокую температуру, насморк, кашель, ломоту в мышцах... То и другое вызывается вирусами, но вирусы — разные.

Причина простуды — риновирусы (что значит буквально «вирусы носа»), коронавирусы и некоторые другие. Возбудители гриппа относятся к семейству ортомиксовирусов. Каждая вирусная частица содержит всего 11 видов белков — для сравнения, в клетке человека их сотни тысяч. А генетическая информация у них записана не в ДНК, а в РНК, причем не в одной молекуле, как у риновирусов, а в восьми отдельных, ковалентно не связанных молекулах.

Отсюда способность вируса гриппа к быстрым изменениям. Во-первых, РНК копируется менее точно, чем ДНК, а это дает более высокую частоту мутаций. Во-вторых, если клетку инфицируют одновременно две разные вирусные частицы, то возможен «обмен» фрагментами генома: при сборке дочерней частицы в нее попадают РНК от двух разных вирусов. (Это явление называется реассортацией.) Получится вирусная «химера», которая, возможно, соединит в себе наиболее опасные черты обоих прародителей: от одного унаследует высокую инфекционность, от другого — высокий процент смертельных исходов при заражении.

Вирусы гриппа животных могут стать опасными для человека именно из-за реассортации. Например, гонконгский грипп 1968 года был «гибридом» вируса человеческого сезонного гриппа и совершенно не похожего на него утиного вируса. А вот птичий грипп 90-х так и не стал пандемией, поскольку к высокой опасности для жизни, на наше счастье, не присоединилась высокая инфекционность.

Поэтому если участковый врач ставит вам диагноз «острая респираторная вирусная инфекция (ОРВИ)», а не «грипп», хотя и температура высокая, и суставы ломит, — это не значит, что «он занижает статистику по гриппу». Без специального анализа говорить о гриппе некорректно.

При всем разнообразии вирусов гриппа они имеют общие характерные черты, так что их вполне можно классифицировать. Прошлой зимой, когда боялись очередного птичьего гриппа, в новостях мелькали таинственные и зловещие H5N1, а временами H3N2, теперь — H1N1. Эти обозначения происходят от двух белков, выступающих наружу из липидной оболочки вируса: гемагглютинина (сокращенно HA) и нейраминидазы (NA).

Гемагглютинин обеспечивает способность вируса присоединиться к рецептору клетки-хозяина и «впрыскивать» в нее содержимое вириона. Именно от него зависит, кто приходится хозяином данному вирусу — человек или другой вид теплокровных. С другой стороны, именно антитела к этому белку обеспечивают основной иммунитет против вируса.

У вирусов гриппа человека известны три подтипа гемагглютинина, все подтипы с большими номерами пришли от животных. А тот самый птичий грипп H5N1 (опасный для жизни, но не очень заразный), сохранив «нечеловеческий» гемагглютинин, приобрел способность инфицировать людей всего из-за одной аминокислотной замены в этом белке. Кстати, статью по этому поводу в 2006 году опубликовали в журнале «Virology» сотрудники Института полиомиелита и вирусного энцефалита РАН во главе с Александрой Сергеевной Гамбарян (см. ее статью о вирусах гриппа в «Химии и жизни», 1999, № 3).

Фермент нейраминидаза помогает вирусу отделиться от клетки, разрушая те самые рецепторы, к которым присоединяется гемагглютинин. По-видимому, он также облегчает вирусу путь к клетке через секреты слизистой оболочки. Роль этого фермента в жизни вируса очень важна, недаром из ингибиторов нейраминидазы получились самые эффективные лекарства от гриппа — занамивир (коммерческое название «реленза») и озельтамивир («тамифлю»). У нейраминидазы выделяют два подтипа.

Каким бывает грипп

Страшная «испанка» 1918 года — это был вирус H1N1. Другие вирусы с тем же обозначением подтипов вызывают куда менее страшные сезонные эпидемии гриппа. Недавний птичий грипп — как уже было сказано, H5N1, гонконгский грипп 1968 года — H3N2. Все эти вирусы относятся к типу А, кроме него, есть менее распространенные В и С. (Принадлежность к одному из типов определяется внутренними белками вируса.) Полное «имя» гриппозного штамма состоит из буквы А, В или С, места обнаружения вируса, порядкового номера, года и (для вирусов А) подтипов поверхностных белков — гемагглютинина и нейраминидазы. Например, штамм свиного гриппа, полученный одним из первых, называется А/Калифорния/04/2009 (H1N1).

Белки, расположенные на поверхности вируса, важны не только для классификации. От них зависит, насколько успешно вирус взаимодействует с хозяйской клеткой, они

же оказываются первыми мишенями как иммунной системы, так и противогриппозных препаратов.

Грипп бывает сезонный и пандемический. Сезонного мы ожидаем каждую осень, и ожидания всегда сбываются. Почему эпидемия бывает именно зимой — как ни странно, понятно не до конца. Наверняка это как-то связано с холодом и недостатком витаминов — ведь в Южном полушарии грипп тоже свирепствует в холодный сезон, то есть, по-нашему, летом. Но эпидемии гриппа случаются и в теплых странах, где нет проблем ни с теплом, ни с витаминами. Эпидемиологи допускают, что причиной могут быть зимние каникулы: те, кто уезжают на праздники в другой город или другую страну, способствуют быстрому распространению гриппа, а застолья в тесном кругу помогают вирусу заразить как можно больше людей.

Пандемий гриппа в XX веке было несколько: «испанка» (1918—1920), азиатский грипп (1957—1958), гонконгский грипп (1968—1969), русский грипп (1977—1978; эту эпидемию не все специалисты признают пандемией). «Испанку» сравнивали со средневековой чумой, и недаром: умирало от двух до 20% заболевших. Обычный грипп убивает единицы из тысяч, и это в основном пожилые люди либо младенцы, тогда как «испанка» не щадила и людей среднего возраста. Вероятность заразиться была высокой, а протекал грипп так тяжело, что его принимали за тиф и холеру — воспаление охватывало не только дыхательную систему, но и кишечник. Больные умирали от кровоизлияний, поражающих сердечно-сосудистую систему, отеков легких, а также от осложнений, вызванных вторичной инфекцией, например пневмонией.

Вирусы сезонного гриппа разных лет обычно не слишком сильно отличаются друг от друга. Но все же отличаются, поэтому специальные службы Всемирной организации здравоохранения контролируют ситуацию по гриппу в мире — чтобы вовремя сделать прогноз, какой штамм вызовет сезонную эпидемию, и дать рекомендации производителям вакцин. Сложнее с пандемическими вирусами: невозможно предсказать, где и когда появится очередная напасть. Зато возможно вовремя распознать ее и принять меры.

Частично свиной грипп

Теперь наконец мы дошли до вируса свиного гриппа A(H1N1)2009, он же мексиканский грипп, он же S-OIV — swine-origin influenza virus, он же пандемический вирус H1N1/09 (в некоторых странах стараются избегать прилагательного «свиной», чтобы не огорчать производителей мяса). Это типичный продукт реассортации. Часть его генов, в том числе гены нейраминидазы и гемагглютинина, унаследована от вирусов свиней, причем от разных линий вируса: североамериканских, европейских и евроазиатских, другие — от вирусов птиц и человека. (О том, как изучают своеобразную эволюцию вирусов гриппа, см. статью А.С.Гамбарян.)

Естественно, не обошлось без слухов, что свиной грипп произошел от лабораторных штаммов, но эти слухи были опровергнуты ВОЗ: вирус имеет природное происхождение. А вот то, что «встрече» различных вирусов свиньи способствовала перевозка животных через океан, весьма вероятно. Если бы производители свинины чаще пользовались современными биотехнологическими методами, скажем покупали бы не породистых хряков, а оплодотворенные яйцеклетки (см. «Химию и жизнь», 2008, № 10), — может быть, одной пандемией стало бы меньше. Есть и более простые меры безопасности. Журнал «Ветеринария» не устает напоминать о них своим россий-

ским читателям — например, о недопустимости кормления свиней потрохами домашней птицы, а тем более дичи, добытой на охоте. Реассортация вирусов дело серьезное: если один раз кому-то не повезет, мало не покажется всему человечеству.

Заразиться свиным гриппом от свиного шашлыка невозможно. От живой больной свиньи — теоретически можно, но это будет другой вирус, не тот, что вызвал пандемию 2009 года. Этот вирус теперь передается от человека человеку обычным воздушно-капельным путем. (Кстати, необязательно человеку: отмечены случаи заболевания кошек, собаки, гепарда и даже одного домашнего хорька.)

После ряда заболеваний в мексиканском штате Веракруз, в марте — апреле 2009 года, стало ясно, что имеет место эпидемия — появился новый вирус, который распространяется в человеческой популяции. Уже в апреле — мае были секвенированы геномные последовательности нескольких штаммов. Меры, принятые правительством Мексики, не помогли: вирус начал распространяться по всему миру. В конце мая он пришел в Россию, а в июле была объявлена пандемия. Осенью — зимой 2009 года она достигла пика. В январе 2010 года генеральный директор ВОЗ Маргарет Чан объявила, что в Северном полушарии пандемия пошла на спад, но пока не завершилась, а Южному полушарию, где зима только приближается, и вовсе рано расслабляться.

С самого начала выяснилось, что, хотя у большинства людей новый грипп протекает легко, для некоторых он может быть всерьез опасным. В группу риска кроме пожилых людей и маленьких детей попали астматики и диабетики, страдающие ожирением, заболеваниями сердца и иммунной системы, беременные женщины. Впрочем, и у практически здоровых людей новый вирус иногда вызывал серьезные осложнения. Настолько серьезные, что все лето 2009 года прошло в тревоге.

Диагностика и вакцинация

Вопрос, актуальный и при обычном гриппе, а тем более при пандемии: грипп у меня или простуда? На Западе сейчас в продаже появляются «быстрые» тесты: они не определяют тип штамма, но позволяют диагностировать грипп, хотя и выдают ложноотрицательные результаты. Наверное, когда-нибудь они станут такими же общедоступными (хотя бы для горожан) и точными, как тесты на беременность, но пока до этого еще далеко. Надежный способ определить, гриппом ли болен пациент, — взять мазок из носа или зева и поставить полимеразную цепную реакцию с обратной транскрипцией, чтобы определить наличие вирусной РНК. Однако даже в самых благополучных странах врачи не имеют возможности ставить такую реакцию для каждого соплявого пациента, к тому же в большинстве случаев результат не повлияет на курс лечения. Как простуда, так и грипп в легкой форме успешно лечатся постельным режимом, теплым питьем и симптоматическими средствами. Анализ может быть действительно необходим людям из группы риска либо при появлении «опасных» симптомов: болей в груди, затрудненного дыхания, дурноты и головокружений. Такой анализ должны делать при госпитализации, а жители крупных городов, у которых имеются серьезные поводы для беспокойства и тысяча-две рублей, могут сделать ПЦР на грипп в коммерческой лаборатории.

Сразу появились сообщения, что против нового вируса неэффективны вакцины от сезонного гриппа. Однако к осени поспели первые специфические вакцины: к нояб-

рю, по сообщениям ВОЗ, в распоряжении человечества имелись 3 миллиарда доз. Они содержали либо вирусы, «убитые» дезинфицирующим веществом (для инъекций), либо ослабленные вирусы (для закапывания в нос). Вирусы выращивали в курином яйце, и это необходимо иметь в виду людям с аллергией на белок. Компания «Новартис» научилась выращивать вакцину от гриппа в культуре клеток, а не в яйце. Ослабленные вирусы растут при пониженной температуре, около 25°C: тогда они теряют способность вызывать заболевание.

Главный государственный врач России Геннадий Онищенко в июне сказал на пресс-конференции, что не видит оснований немедленно начинать производство или закупку вакцины, коль скоро свиной грипп представляется даже менее опасным, чем сезонный. Западные источники до сих пор цитируют это его высказывание, но не всегда уточняют, что прозвучало оно до объявления пандемии. Летом 2009 года правительственная комиссия приняла решение о разработке отечественной вакцины против пандемического гриппа. В ноябре началась вакцинация в России. Официальными поставщиками вакцины от свиного гриппа были ФГУП «Микроген» Минздравсоцразвития, ФГУП «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт вакцин и сывороток» и ООО «Фармацевтическая компания «Петровакс». Вакцинировали школьников, медицинских работников, сотрудников МВД и МЧС и военнослужащих. По данным министерства, к 1 марта 2010 года должно быть привито 29,67 млн. человек, относящихся к группам риска, что составит около 40% населения России. (По-видимому, это без учета тех, кто покупал вакцину на свои средства.)

Производство вакцин все лето сопровождали дискуссии: есть ли смысл делать запас сейчас, если вирус может еще мутировать, и стоит ли откладывать производство, если есть риск остаться вообще без вакцины в нужный момент? Это неизбежная проблема эпидемической «гонки вооружений», противостояния медицинских служб и быстро изменяющегося вируса. Именно поэтому так важны профилактические санитарные и карантинные меры: они помогают выиграть время, необходимое для разработки и испытания вакцины.

Кому нужно прививаться от гриппа? Конечно, в первую очередь людям из группы риска, тем, кто живет вместе с беременными или маленькими детьми, а также работникам здравоохранения. Самим беременным ВОЗ рекомендует вакцинироваться, в России — рекомендации противоречивы. Во многих исследованиях показано, что инактивированные вакцины от гриппа безопасны для беременных на любом сроке. Иногда беременным рекомендуют использовать вакцины без адъювантов (добавок, усиливающих иммунный ответ) и консервантов. Достоверных данных о какой-либо их опасности для матери или ребенка нет (в отличие от гриппа, особая опасность которого для беременных хорошо известна). Но беременность и без гриппа дело сложное — возможно, лучше перестраховаться и заплатить за вакцину с минимумом подозрительных компонентов.

Осложнения при вакцинации — не миф. Помимо аллергических реакций, есть и такая неприятность, как синдром Гийена — Барра (острый полирадикулит) — заболевание периферической нервной системы, сопровождающееся мышечной слабостью, а также, в некоторых тяжелых случаях, параличами, нарушениями сердечного ритма или легочной недостаточностью. Причиной синдрома всегда бывает реакция иммунной системы на чужеродный антиген. Частота таких случаев при вакцинации от грип-



МИФЫ НАШЕГО ВРЕМЕНИ

па, по официальным данным, — один на миллион (и есть сведения, что заражение вирусом гриппа вызывает этот синдром в несколько раз чаще, что и понятно: на «дикий» вирус иммунная система должна реагировать агрессивнее). Но все же, если люди, не принадлежащие к группам риска, грамотно взвешивают все вероятности и отказываются вакцинироваться, понять их можно.

Чем страшен свиной грипп

Первоначально сообщалось, что естественного иммунитета против свиного гриппа у детей нет вообще, а у взрослых он встречается редко и главным образом у людей, родившихся до 1957 года, — видимо, в белках тогдашних вирусов попадались похожие мотивы. Однако по результатам исследования, опубликованного в журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences» в декабре 2009 года, выходило, что не все так безнадежно. Ученые сравнили эпитопы нового штамма (то есть участки белков, распознаваемые антителами) с эпитопами штаммов сезонного гриппа прошлого года. Очевидно, что у нового вируса одни эпитопы должны были измениться, другие же остались прежними, поэтому иммунная система могла научиться реагировать на них в прошлые годы. Сколько было «одних» и сколько «других» — см. табл. 1. Видно, что с Т-лимфоцитами ситуация не так плоха. Кроме того, они определили для 559 изолятов сезонного гриппа, «пойманных» с 2000 по 2008 год, количества эпитопов, не менявшихся в последние 20 лет (табл. 2). Дробные значения

Таблица 1.
Эпитопы вирусов гриппа

Категория эпитопа	Эпитопы сезонного гриппа N1H1	Консервативны у свиного гриппа
В-лимфоциты	26	8 (31%)
Т-лимфоциты (CD4+)	139	57 (41%)
Т-лимфоциты (CD8+)	78	54 (69%)

Таблица 2. Число эпитопов на вирус

Годы	Категории эпитопов		
	В-лимфоциты CD8+	Т-лимфоциты, CD4+	Т-лимфоциты,
2000	16	67	84
2001	16	66	82
2002	16	66	93
2003	16	66	96
2004	18	65	92
2005	16	66	96
2006	15,5	66	93,5
2007	14	66	93
2008	16	68	87
Медиана (2000—2008)	16	66	93
2009	8	54	57

Из статьи Джейсона Гринбаума, Майи Коттури и др. («PNAS», 2009, т. 106, № 48, с. 20365-20370)

возникли оттого, что у разных штаммов одного года были разные количества консервативных эпитопов. Потом сделали то же самое для штаммов свиного гриппа и сравнили результаты с медианой по сезонным вирусам (медиана — это значение признака, которое делит выборку на две равные части; в данном случае найти медиану было полезней, чем среднее арифметическое). Результат налицо: отличие нового штамма значительно, но и сходство имеется. Т-лимфоциты не могут предотвратить болезнь, но могут облегчить ее. По мнению авторов статьи, этим и объясняется сравнительно легкое протекание гриппа у многих людей. Лабораторные животные, зараженные новым вирусом, болели тяжелее — уж не потому ли, что не страдали сезонным гриппом?

В иммунитете ли дело или в функциональном устройстве вируса, не нацеленном на убийство (то, что этот вирус имеет сходные черты с уже известными не слишком опасными формами, отмечалось еще весной), но действительно вирус свиного гриппа оказался не слишком смертоносным. Правда, вероятность заразиться при контакте с больным выше, чем при обычном сезонном гриппе, и больной опасен для окружающих дольше — по некоторым данным, несколько дней после нормализации температуры. Зато уровень смертности среди заразившихся невелик — сравним с сезонным гриппом, если не ниже. Можно сказать, повезло.

Однако ВОЗ наблюдает и наблюдает за вирусом свиного гриппа не затем, чтобы поставлять материал для новостей. Напомним еще раз, что самое плохое в этих вирусах: они мутируют и реассортируют. Если вирус свиного гриппа повстречается, допустим, с вирусом птичьего гриппа, не слишком заразным, зато опасным, или если в геноме свиного вируса возникнет новая мутация — последствия могут быть печальными. А если вдруг где-то возникнет опасный вирус, то чем раньше он будет обнаружен и исследован, тем выше будут шансы на выживание у всех нас.

Но и у того свиного гриппа, с которым мы познакомимся, есть неприятные черты. Во-первых, новый вирус из-за точечной мутации получил способность поражать не только слизистую носоглотки, но и легкие. Вот почему меньшая часть людей, которых не повезло, попадает в отделения интенсивной терапии подчас без всяких бактериальных осложнений. По отзывам врачей из разных стран, от Канады до России, у нового гриппа два лица: для кого это обычная простуда, излечимая домашними средствами, а для кого и смертельно опасная болезнь. Судьба невезучего меньшинства, как показал прошедший год, зависит от общего уровня медицины: в развитых странах смертность составила сотые доли процента от числа заболевших, в менее развитых — десятые доли. Во-вторых, в декабре 2009 года появились сообщения о штаммах вируса, устойчивого к препаратам озельтамивира. Человека, инфицированного таким вирусом, вылечить непросто.

Профилактика и лечение

Начнем с общеизвестного: против заражения гриппом эффективны обычные гигиенические меры — чаще и старательнее мыть руки, в особенности после контакта с больным, не трогать немытыми руками рот и нос. Маска, безусловно, помогает больному заразить окружающих, а при педантичном соблюдении всех правил эксплуатации предохранит от заражения и здорового человека. Скажем, сотрудники одного российского интернет-портала не только вакцинировались от гриппа за счет компании, но во время эпидемии в обязательном порядке надевали на

работе маски. Трудовые будни приобрели неповторимый колорит, зато новости выходили без перебоев.

Природные иммуностимуляторы, витаминные и общеукрепляющие средства, от витамина С до эхинацеи и золотого корня, безусловно, полезны (если не забывать о противопоказаниях — например, при повышенном давлении экстрактами элеутерококка и родиолы лучше не увлекаться). Стопроцентной гарантии от гриппа они не дают, но при прочих равных повышают шансы остаться здоровым.

Альтернатива народным средствам — препараты белка интерферона. Этот белок подробно изучен, доказано, что он стимулирует активность клеток иммунной системы — макрофагов, Т-лимфоцитов и NK-лимфоцитов. Он помогает как при гриппе, так и при ОРВИ и подходит как для профилактики, так и для лечения. Но следует помнить: в тяжелых случаях необходимы более радикальные меры, желательно в профессиональном исполнении. Когда у человека боли в груди и трудно дышать, поднимать иммунитет несколько поздно.

Раствор интерферона закапывают в нос или заливают в ингалятор. Его достоинство — низкая цена, недостаток — неудобная форма. Порошок интерферона продается в ампулах, его надо разводить водой, и многие боятся не справиться с этим трудным делом. (Совет от «Химии и жизни»: вместе с интерфероном можно приобрести несколько одноразовых шприцов по 2 мл. С их помощью удобно готовить раствор и закапывать его в нос, разумеется, сняв перед этим иглу, а шприц с остатками раствора гораздо проще держать в холодильнике, чем вскрытую ампулу.) Так что это — вариант для ленивых. Ленивые могут немного доплатить и купить готовый раствор интерферона во флаконе-капельнице, например под названием гриппферон. Но хранить его желательно в холодильнике и не очень долго: белок есть белок. Есть и другие формы, например мази для носа.

На упаковке с интерфероном, полученным из лейкоцитов крови, бывает пугающая надпись: «Отсутствуют антитела к ВИЧ и вирусу гепатита С». Хорошо, что отсутствуют, но, значит, могут и присутствовать — много ли надо грамотному человеку для паники? В таком случае поищите коробочку с надписью «интерферон рекомбинантный» — это продукт биотехнологий, человеческий белок, синтезируемый бактериями, которые точно не болеют СПИДом и гепатитом. Тем же, кто и биотехнологий боится, современная медицина не поможет.

К сожалению, против свиного гриппа оказались неэффективными проверенные временем производные адамантана — амантадин и ремантадин. (У обычных вирусов гриппа они взаимодействуют с белком М2 ионного канала, чем препятствуют разборке вирусной частицы в клетке.) Всемирная организация здравоохранения рекомендовала использовать для лечения свиного гриппа ингибиторы нейраминидазы — уже упоминавшиеся тамифлю и релензу (то есть озельтамивир и занамивир). Средства это недешевые, особенно в разгар эпидемии, когда аптеки вопреки всем строгим рекомендациям начальства завышают «справедливые цены». С другой стороны, их эффективность подтверждена и высочайшим авторитетом ВОЗ, и опытом знакомых. Многие покупают их, «чтобы было», а раз уж купили, то и пьют при первых признаках заболевания.

Однако тамифлю и реленза, как сказано в инструкции, — высокоспецифичные ингибиторы нейраминидазы вируса гриппа. У риновируса, вызывающего простуду, нейраминидазы гриппа нет как таковой. Соответственно лекарствами от простуды эти препараты не являются, что также указано в инструкции. Если вы болеете не грип-

пом, то лечение озельтамивиром может оказаться пустой тратой денег и времени (хотя простуда наверняка пройдет сама).

Что там с арбидолом?

Ситуация с арбидолом, мягко говоря, странная. С одной стороны, это лидер продаж в российских аптеках, Минздравсоцразвития официально рекомендовал его как средство профилактики и лечения свиного гриппа (в том числе тяжелых форм) наряду с ингибиторами нейраминидазы и интерферонами. С другой стороны, в зарубежных источниках арбидол именуют не иначе как «русским лекарством от гриппа», и ВОЗ его знать не знает. Причина в том, что арбидол не проходил клинических испытаний, удовлетворяющих международным требованиям.

Арбидол позиционируется как лекарство от всех простудных заболеваний, и даже не только простудных. Показания к применению включают не только грипп, но и ОРВИ, бронхит, пневмонию, герпесную инфекцию. В «Фармакологических свойствах» указано, что арбидол стимулирует иммунный ответ в различных его аспектах, а также избирательно воздействует на вирус гриппа, препятствуя слиянию липидной оболочки вируса с мембраной. Есть недавняя публикация («Antiviral research», 2009, т. 81, № 2, с. 132-140), в которой подтверждены молекулярные механизмы этого эффекта: арбидол взаимодействует с гемагглютинином и мешает его связыванию с рецепторами клетки. (Кстати, в этой работе были искусственно созданы мутантные вирусы, устойчивые к арбидолу.) Имеются публикации, главным образом в российских журналах, подтверждающие эффективность препарата в культуре, с различными штаммами вирусов. Пишут, что арбидол не уступает препаратам адамантанового ряда и ингибиторам нейраминидазы, что он одинаково эффективен против вирусов гриппа человека H1N1, H2N2, H3N2, подавляет размножение штаммов птичьего гриппа H5N1 и H9N2. Среди соавторов этой последней работы есть сотрудники московского Института биоорганической химии, учреждения вполне солидного. В новостях мелькали сообщения и об эффективности арбидола против свиного гриппа в культуре (научных статей по этому поводу найти не удалось, но, возможно, они еще в печати.) Однако такие опыты, строго говоря, еще не гарантируют, что исследуемое вещество окажется хорошим средством от гриппа, — нашим читателям известно, что далеко не каждое вещество, показавшее прекрасные результаты «в пробирке», становится лекарством.

Понятно, что какие-то клинические исследования проводились, коль скоро лекарство запатентовано, рекомендовано к производству и на него есть все необходимые документы. В российских медицинских журналах можно найти результаты постклинических испытаний типа «ученики такой-то школы принимали арбидол, заболело столько-то, проболели столько-то времени, что меньше, чем в контрольной группе» (потом зачастую выясняется, что грипп от простуды не отличали). Но невозможно найти такое исследование, где заражение вирусом гриппа подтверждалось бы анализами, использовался двойной слепой метод (то есть и пациенты не знали, принимают ли они лекарство или плацебо, и те, кто обрабатывает результаты, не знали, какая группа что принимает), а на выходе были конкретные цифры: число больных и продолжительность заболевания.

Отзывы практикующих врачей об арбидоле сильно различаются: от доброжелательных (но даже в этих случаях есть некоторое недоумение по поводу неполноты инфор-



МИФЫ НАШЕГО ВРЕМЕНИ

мации) до негодующих — особенно от тех, кто столкнулся с неэффективностью препарата в тяжелых случаях. Лидеру продаж уже приклеили язвительную кличку «Фуфломицин». Отзывы пациентов анализировать сложно: тут идет обычная для Сети безрезультатная борьба двух противоположных мнений, «мне помогло — а мне не помогло». И совершенно нечего ответить людям, которые жалуются на неприятные ощущения в области печени, горечь во рту при приеме арбидола. Насколько обширен список показаний к применению, настолько лапидарен список противопоказаний и побочных эффектов: «Повышенная чувствительность к препарату, возраст до трех лет. Редко — аллергические реакции».

Ясности как не было, так нет и после свиного гриппа. «Новая газета» (7 октября 2009 года) опубликовала статью об арбидоле, Рунет бурлит, а тем временем нам уже предлагают «наноарбидол» (нет, это не шутка).

Итак, пандемия пошла на спад, хотя вероятность весенней вспышки еще остается. Худшие ожидания не сбылись (см. табл. 3). Заболеваемость в России, по официальным данным, в декабре составляла 30 319 случаев (на 26 093 804 случая ОРВИ и гриппа), смертность — около 800.

Таблица 3.
Эпидемии гриппа

Название	Годы	Количество смертей
Азиатский (русский) грипп	1889—1890	1 млн (?)
«Испанка»	1918—1920	20—100 млн
Азиатский грипп	1957—1958	1—1,5 млн
Гонконгский грипп	1968—1969	0,75—1 млн
Свиной грипп	2009—???	15921 (Февраль, данные ВОЗ)

Уже зимой начались обвинения в адрес Всемирной организации здравоохранения, суть которых сводится к «почему так мало померло?». Дескать, наобещали ужасов, ввели государства в расходы, помогли нажиться фармацевтическим компаниям, а смертность оказалась в разы меньше, чем от обычного сезонного гриппа (сотни тысяч ежегодно). Представители ВОЗ отвечали вполне разумно: падение смертности было отражением более активных мер, чем во время обычной сезонной эпидемии, а то, что вирус не мутировал в более опасную форму, — элемент везения: могло быть и иначе. По нашему мнению, было бы прекрасно, если бы все пандемии кончались только такими спорами. Не нужна нам новая «испанка». Мало человечеству других проблем?



Альтернатива курению — выгода для народа, хлеб для химиков



ИЗ ПИСЕМ В РЕДАКЦИЮ



Курение табака и махорки заимствовано цивилизацией у американских индейцев в Средние века и с тех пор стало широко распространенной пагубной привычкой в основе которой лежит наркотическая зависимость от никотина. Для индивидуального курения применяют самокрутки, трубки, папиросы, сигареты, сигары, для группового — кальяны, но все современные виды употребления никотина имеют по меньшей мере четыре крупных недостатка. Первый состоит в том, что курильщики вместе с никотином вдыхают около 200 вредных веществ: смолы, диоксины, окись этилена и многие другие, в общем всю номенклатуру завода тяжелого органического синтеза (убедиться в этом может каждый, поставив нехитрый опыт, описанный в октябрьском номере «Химии и жизни» за 1988 год. — *Примеч. ред.*). Второй недостаток — неудобство для окружающих, которые становятся пассивными курильщиками. В-третьих, занятие это взрыво- и пожароопасно, а в-четвертых, по данным ФАО, в мире табаком занято 3,5 миллиона гектаров

плодороднейших земель, которым могло бы найтись и другое применение. Например, чтобы не вызывать социальной напряженности в районах табаководства, там можно выращивать трансгенный табак, синтезирующий всевозможные лекарственные препараты.

Как избавиться от всех четырех недостатков сразу? Ввести в употребление чистый синтетический никотин в виде аэрозоля из баллончиков с дозирующим устройством. При этом резко уменьшается риск онкологических заболеваний у курильщиков и полностью исключается пассивное курение окружающих людей. Новый способ употребления никотина взрыво- и пожаробезопасен, а также позволит освободить миллионы гектаров пашни для производства продовольствия или лекарств.

Выгода для народа очевидна, остается понять, какая от этого польза химикам. Техническое обеспечение альтернативы курению уже существует: многие лекарства фармацевты расфасовывают в аэрозольную упаковку с дозированием не только на миллиграммы, но и на

микрограммы. Однако быстрому продвижению изобретения к повседневной практике может способствовать только высокий экономический эффект, то есть аэрозольное употребление никотина должно стать намного дешевле курения сигарет. Вот здесь и начинается работа химиков, которым надо синтезировать никотин как можно более рентабельным способом. Задача непростая, но посильная. Известно, что в одной сигарете содержится 7–8 мг никотина, из них 3–4 мг поступают в кровь при курении, а остальное рассеивается в окружающей среде с дымом. При аэрозольном употреблении из баллончика потерь никотина можно избежать или, по крайней мере, их минимизировать. Нетрудно посчитать, что в один баллончик можно закачать десятки и даже сотни пачек сигарет, и альтернатива курению станет не только этически, но и экономически оправданной.

Курильщики мне возражают: мол, курение для них — средство общения, а вовсе не употребление наркотика. Эта ложь и одновременно заблуждение нуждается в развенчании. Альтернатива курению отнимет у курильщиков социальную составляющую и покажет как им самим, так и зеленой неопытной молодежи, что люди с сигаретой в зубах — и не супермен, и не ловкий ковбой с пачки «Мальборо», и не утонченная дама, а больные, наркозависимые люди. Стоит ли идти их путем? Так что химики могут сделать вдвойне благородное дело, предложив замену сигарете. Впрочем, не исключено, что перед запуском этого дела в продажу пройдет рекламная кампания и будет создан положительный образ курильщика с аэрозольным баллончиком. И баллончик будет выдавать никотин медленно, за те же пять минут, и общение никуда не денется. Однако даже при таком результате, общество будет избавлено от зловонного и вредного дыма. Как бы то ни было, будем надеяться, что химики получат достойную награду от китов фармацевтической промышленности, которые стоят ближе всех к производству аэрозольного никотина.

Кандидат
сельскохозяйственных наук
В.Т. Каравосов,
Белорусский государственный
аграрный технический
университет, vikti@bk.ru

Полезные ссылки

Наука. Новости науки и техники



<http://sci-lib.com/>

Свежие новости по естественным и гуманитарным наукам — регулярно обновляющиеся, авторские, со ссылками на первоисточники (публикации в научных журналах, пресс-релизы). В базе знаний представлены разнообразные энциклопедические издания — от Брокгауза с Ефрон и БСЭ до финансового словаря. Есть также коллекция научных книг. Но главная изюминка сайта — Большая научная библиотека, которая ставит своей целью обеспечение доступа для российских ученых к научной литературе и периодике (ни для кого не секрет, что с этим у нас большие проблемы). Думается, библиотека не нарушает ничьих прав, так как файлы статей из иностранных журналов не выкладываются во всеобщее пользование. Их заказывают на форуме библиотеки после несложной процедуры регистрации. Если вы знаете, какая именно статья вам нужна, и на ваш призыв откликнется русскоговорящий коллега, работающий в зарубежном университете, — это ваше с ним частное дело. Также на форуме можно получить информацию о работе сайта и библиотеки или напрямую обсудить какие-либо научные вопросы. Прежде чем что-то писать, не забудьте ознакомиться с правилами форума.

Междисциплинарный научный сервер

Scientific.ru

<http://www.scientific.ru/>

Именно там теперь находится газета научного сообщества «Троицкий вариант» (если вы ее еще не читали, срочно сходите по этому адресу). Также впервые в Сети — максимально полный индекс цитируемости российских ученых. Есть списки российских научных учреждений, исследовательских лабораторий и групп и пр., сообщения о научных семинарах в Москве, Санкт-Петербурге, регионах России, Киеве и о виртуальных интернет-семинарах. Недавно появились объявления об интересном проекте по созданию независимого корпуса экспертов в различных областях науки. Журнал Scientific.ru, за исключением астрономических разделов, которые ведет Сергей Попов, давно не обновлялся, но и не совсем новое содержание достаточно интересно. Есть свежие новости по медицине и биологии. Желающие могут также посмотреть снимки «Хаббла» и различных космических аппаратов.

Эволюционная биология, биосфера, биоэтика



<http://biospace.nw.ru/evoeco/index.htm>

Библиотека, просто библиотека. Но какая! Все, что культурные люди собирались прочесть по этой теме, но почему-то откладывали. В.И.Вернадский, Франциско Айала, Эрнст Майр и многие другие. Эволюция, устойчивость и неустойчивость, самоорганизация и катастрофы. Сюда попадают через сайт <http://biospace.nw.ru/>, созданный сотрудниками лаборатории моделирования эволюции



санкт-петербургского Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова РАН. Там же есть и прекрасная страница <http://sounds.evol.nw.ru/> — «Голоса животных Северо-Запада России». Она адресована главным образом специалистам, но и неспециалисту иногда хочется услышать песни птиц и насекомых, узнать, кто как поет. Вот вы, например, можете отличить по голосу большую синицу от снегиря?

Центр средств массовой информации МГУ



<http://massmedia.msu.ru>

Как ни крути, а МГУ — главный вуз нашей страны, и каждому нашему читателю рано или поздно понадобится что-то о нем узнать. Теперь у МГУ, помимо официального сайта <http://www.msu.ru/> (он очень познавателен, но так же огромен, как сам университет), появился сайт центра СМИ. С календарем мероприятий на год, с лентой новостей, с сообщениями о пресс-конференциях (например, в начале марта специалисты рассказали журналистам о недопустимости сбора цветов, занесенных в Красную книгу), о лекциях, конкурсах, программах поддержки студентов и молодых ученых. Также на сайте можно скачать газету «Московский университет» и ознакомиться с творчеством сотрудников.

Восточная литература. Средневековые исторические источники Востока и Запада

Восточная Литература

<http://www.vostlit.info/>

«Вы, уважаемые читатели, никогда не задумывались о состоянии источниковедческой базы на русском языке?.. Из источников по истории Европы на русский язык полностью переведено два-три десятка. Из источников по истории мусульманского Востока — пять десятков... Вот для этого и существует наш сайт. Мы сканируем то, что уже переведено. Переводим то, что не переведено. Заполняем лакуны...» База источников, пусть и неполная, уже хороша. Не только Восток, но и Запад, и Россия, не только Средневековье, но и XVIII—XIX века. Письма, мемуары, путевые заметки, указы правителей... Есть поиск по странам, есть алфавитный указатель по авторам и источникам. В российском разделе имеется особая рубрика «Россика» — иностранцы о России. На этом сайте вы найдете хоть «Оленью молитву» святого Патрика, хоть письма Ломоносова, хоть указ императрицы Анны Иоанновны о том, чтоб малороссийским жителям не вступать в браки со шляхтою... Проекту, как и всем подобным проектам, нужна помощь энтузиастов, а с аналогичными ресурсами возможен обмен источниками. Есть работающие форум и гостевая.



Баргузинский соболь

Как улучшить соболя,

или С чего начать селекцию

Кандидат
биологических наук
Б. В. Андрианов

Соболя в природе стали редкостью и перекочевали из тайги на зверофермы. Селекционеры стараются улучшить качество соболиного меха, но задача оказалась гораздо сложнее, чем можно было предположить. Попробуем разобраться почему.

Соболь на воле и в клетке

Соболь (*Martes zibellina*) — одиночный хищник семейства куньих, обитающий почти по всей таежной зоне Евразии. Питается он в основном мышевидными грызунами, но при случае пополняет свое меню любым животным, которое может поймать и одолеть. Соболь ловит белок, рябчиков, глухарей, ящериц, змей, крупных насекомых и рыбу, охотится на своих более мелких собратьев — колонка и горностая. Кроме того, соболь иногда ест кедровые орехи, семена сосны и ели, бруснику, голубику, жимолость, шиповник, рябину, а также грибы. В желудках диких соболей находили даже хвою и листья багульника, но это

скорее не еда, а средство от кишечных паразитов.

Половой диморфизм, то есть внешнее отличие самцов от самок, у соболя не так выражен, как у львов, но вполне заметен. Самцы примерно на 5—7% крупнее самок, а мех у них более длинный и густой. В западной части ареала (на Урале) соболь скрещивается с лесными куницами (*Martes martes*), в результате чего возникают гибриды — кидасы. В лиственных лесах Кореи и Японии обитает другой вид соболя — японский соболь, *Martes melampus*, но его мех несколько хуже, чем у настоящего. А животное, которое называют американским соболем, на самом деле его ближайший родственник — американская куница *Martes americana*.

Выше всего ценится темный мех черного соболя с окраской от темно-бурого до смолисто-черного цвета с темно-голубым пухом. Среди самой темной, баргузинской популяции доля черных животных составляет примерно 45%. Гораздо чаще встречаются песчано-желтые и светло-коричневые особи.

К началу XX века природные запасы соболя истощились настолько, что встал вопрос о его клеточном разведении, однако животные упорно не желали размножаться в неволе. Охотники-промысловики знали, что соболята рождаются в апреле, и, положившись на их наблюдения, звероводы ссаживали родительские пары ранней весной, но добиться потомства не могли.

Проблему удалось решить только в 1929 году. Над ней работали сотрудники соболиной фермы Московского зоопарка под руководством Петра Александровича Мантейфеля. Оказалось, что беременность у соболя протекает весьма своеобразно. После оплодотворения яйцеклетки развитие зародыша почти полностью прекращается на ранней стадии, еще до имплантации эмбриона в стенку матки. Состояние покоя длится 7—8 месяцев, до конца февраля — начала марта. Тогда развитие возобновляется, и через 30—35 дней рождаются детеныши. Соболей стали ссаживать летом, и 3 апреля 1929 года



ГИПОТЕЗЫ

самочка по кличке Кривой Зуб родила первых соболят. Эти работы получили широкую известность, а соболиное семейство было с гордостью выставлено на всеобщее обозрение.

Параллельно и независимо от исследований П.А.Мантейфеля работы по разведению соболя в неволе проводили на звероферме «Соловецкая» известного Соловецкого лагеря особого назначения (СЛОН). Руководил работами заключенный Карл Густавович Туомайнен. Соболята на звероферме родились 27 апреля 1929 года, однако результаты своих работ автор по понятной причине опубликовать не смог. Соловецкая ферма принадлежала созданному в лагере для научных исследований Соловецкому обществу краеведения. Перед рождением первых соболят ученого секретаря общества Павла Александровича Петряева освободили из заключения и назначили управляющим крупнейшей в стране 1-й Московской зверофермой — будущим зверосовхозом «Пушкинский», где с конца 1928 года начали комплектовать соболиную ферму. Именно здесь в 1931 году получили первый приплод соболей уже в производственных условиях.

Сейчас в России существует девять соболеводческих хозяйств, из которых два — «Пушкинский» и «Салтыковский» Московской области — имеют статус племенных заводов по разведению соболя. В Пушкинском хозяйстве создана порода «черный соболь», в Салтыковском — «салтыковская 1». Обе породы — плод долгой селекционной работы, результаты которой нельзя считать однозначными.

Выбор шкуры

В 1954 году специалисты зверосовхоза «Пушкинский» начали искусственный отбор по выведению черных соболей. Исходным материалом послужили 130 баргузинских соболей, среди которых, как уже говорилось, довольно много черных. На момент начала отбора темных животных в зверохозяйстве было всего 12% от общей численности. Сейчас они составля-

ют почти половину стада, но за эту черноту селекционеры заплатили дорогую цену — животные почти перестали размножаться. В первые 19 лет отбора, а это шесть-семь поколений соболей, селекция шла успешно, и доля темных животных неуклонно возрастала. Затем она достигла предела и остановилась, несмотря на интенсивный отбор.

Более того, чем темнее становился мех, тем меньше была плодовитость. Сокращались и количество щенков в помете, и среднее количество беременностей у самок, и продолжительность их жизни. Селекционеры приняли энергичные меры и стали подбирать самые плодовитые пары, допуская к размножению только молодых самок в полном расцвете сил. Это помогло, но ненадолго. После короткого всплеска рождаемости она вновь пошла на убыль, и в последнее десятилетие численность пушкинских соболей неуклонно падает. Средняя продолжительность жизни самок сократилась с 14 лет до четырех, и за свою жизнь они успевают произвести на свет не 25—30 детенышей, а двоих-троих.

Так прямой отбор на черную окраску меха перестал быть эффективным и к тому же привел к катастрофическому сокращению поголовья. Сложившуюся ситуацию специалисты характеризуют как «селекционный тупик», однако из него можно найти выход, если вести отбор по другому признаку — отсутствию агрессии по отношению к человеку. На первый взгляд поведение животного не имеет отношения к качеству его меха. Но только на первый взгляд.

Другим путем

Селекция позволяет добиваться удивительных результатов. Разнообразие пород собак, кошек, коров и лошадей велико. Но это все одомашненные животные. А соболя (хотя на зверофермах живет уже 25-е поколение, выращенное в неволе) никак нельзя считать одомашненным: в клетке он сохраняет дикие привычки.

Об одной особенности, свойственной дикоживущим видам и нежелательной для окультуренных, мы уже упоминали: соболь размножается один раз в год, причем в строго определенное время. Вторая его особенность — моногамность.

Гон у соболей обычно протекает с середины июня до начала августа. В это время самки допускают самца несколько раз, причем как у самцов, так и у самок наблюдается ярко выраженное стремление образовывать моногамные пары. В природе соболь также может образовывать пары на всю жизнь, поскольку это оседлый зверь. В феврале—марте, в самое голодное для соболя время, половозрелый самец часто, иногда по нескольку раз в день, приносит еду беременной самке. Период гона к этому времени давно прошел, следовательно, самец все это время помнил свою подругу, из чего логично сделать вывод о моногамности соболя в природе. Этот же поведенческий стереотип сохраняется и у клеточного соболя.

Моногамность и моноэстричность (один цикл размножения в году) не характерны для домашних животных и очень мешают при их промышленном разведении. На звероферме предпочтительнее иметь животных, которые не создают проблем с подбором пары и при короткой беременности размножаются несколько раз в году.

Еще одна черта клеточного соболя, унаследованная от диких предков, — его чрезвычайная агрессивность и чувствительность к стрессу. У самки, взятой в руки для осмотра, от стресса могут погибнуть эмбрионы.

Вот почему с дикими животными работать неудобно и не очень выгодно. Одомашненные звери более спокойны и плодовиты. Практики-звероводы прекрасно осознают всю пользу domestikации. Один из организаторов советского звероводства В.А.Афанасьев полагал, что надо отбирать более спокойных животных, которые в результате такой селекции перейдут к полиэстричности. Однако при отборе на племя селекционеры обращают внимание исключительно на качество меха, размеры и сроки размножения, но не на поведение соболей. Дело в том, что domestikцированные пушные звери часто уступают диким по качеству меха — главному для звероводов показателю.

Тем не менее путь к дальнейшему улучшению качества меха лежит через создание domestikцированной расы соболя, что подтверждают недавно полученные данные о генетическом контроле окраски американской норки (*Mustela vison*) — близкого родственника соболя.

Сотрудники Института цитологии и генетики СО РАН под руководством Олега Васильевича Трапезова взяли за основу стандартных однотонных норок клеточной популяции с пассивно-оборонительным поведением по отношению к человеку. Такие животные стараются избегать прикосновения, а при попытке их поймать в панике мечутся по клетке и кричат. Среди этих норок ученые на протяжении 15 поколений отбирали наиболее и наименее агрессивных зверей и получили две расы с генетически определенным типом поведения. Агрессивные животные бросаются на протянутую руку в перчатке, а спокойных можно брать голыми руками. Такое поведение характерно для дикой и domestikцированной форм.

Самок каждой формы скрещивали с самцами породы карельская пятнистая, носителями мутации S^K , пассивно-оборонительное поведение которых типично для исходной популяции. В строгом соответствии с законами Менделя половина детенышей имеет окраску дикого типа, а половина — пятнистую. Но экспрессивность, то есть степень проявления гена S^K , у пятнистой половины потомства зависит от агрессивности самок. Чем агрессивнее мать, тем их окраска ближе к дикому типу и тем слабее проявляется мутантный ген, а в потомстве ручных самок встречаются даже практически белые особи.

Этот пример показывает, что отбор мутаций по окраске более эффективен у domestikцированных животных. Для диких зверей характерна стандартная окраска, обусловленная генетически. В ее основе лежит механизм точного распределения

пигмента по длине волоса. У domestikцированных животных распределение пигмента нарушено, поэтому окраска изменится, появляются пятна различного цвета и размера, причем неправильной формы, чего у диких животных никогда не бывает: рисунок на их шкуре всегда симметричен. Характерные различия в окраске диких и домашних животных заметил еще в 70-х годах XX века академик Дмитрий Константинович Беляев при анализе изменения окраски domestikцированных лис, песцов и гусей.

Эти данные позволяют по-новому взглянуть на само явление domestikации, которое не сводится к ручному поведению. Домestikация основана на особом состоянии генома, делаемом его «открытым» для изменений и проявления мутаций, которые у дикого типа не заметны либо проявляются в стертой форме. Молекулярный механизм этого феномена пока не известен.

В соответствии с этой гипотезой успешную селекцию можно представить как трехэтапный процесс. На первом этапе происходит отбор на ручное поведение, который завершается созданием domestikцированной расы. На этом этапе отбор идет исключительно по признакам, характерным для domestikцированного состояния: дружелюбное поведение по отношению к человеку, наличие на шкуре пятен неправильной формы, нарушение сроков размножения. Когда эти свойства генетически закрепляются у селектируемой породы, можно сделать вывод, что особое состояние генома, необходимое для перехода к следующему этапу селекции, достигнуто. У domestikцированной расы с пластичным геномом часто проявляются мутации, скрытые у животных дикого типа. На втором этапе отбирают мутации, интересующие селекционеров. На третьем этапе отобранные мутации комбинируют, то есть ставят скрещивания для получения пород с заданными свойствами.

С точки зрения развиваемой гипотезы можно сравнить селекцию соболя и норки. Процесс domestikации американской норки еще далек от завершения, но в целом это вид гораздо более одомашненный, чем соболь. Успехи в ее селекции впечатляют. Специалисты выделили 35 мутаций по окраске меха, на основе которых можно получать 150 форм окраски норок. Некоторые из них много дороже стандартных коричневых или черных шкурок. У соболей коллекции мутантов по окраске меха еще нет. Только в единичных случаях у диких животных зарегистрированы резкие отклонения в окраске очевидно мутантного происхождения: голубые, золотистые, бежевые с оранжевым оттенком, белые с легким коричневым налетом и др. Уникальная коллекция цветных природных соболей представлена в экспозиции Дарвиновского музея (Москва). У клеточного соболя спонтанно появляются только белые формы, но они стерильны. Вполне вероятно, что белые соболя окажутся способными к размножению на фоне domestikации.

Еще один вывод из предлагаемой гипотезы состоит в том, что отбор у диких, недомestikцированных форм неэффективен, примером чему может служить история создания черного соболя.

Разведение соболя в природе

Соболь ценен не только своей шкуркой. Он может помочь нам сохранить баргузинскую тайгу, которой угрожает некультурное освоение. Разводить соболя в тайге может быть выгоднее, чем на фермах. В неволе животных содержат в сетчатых клетках с деревянным домиком — шедах, размерами 1,2 x 0,9 x 1 м с автоматизированным кормлением. Некомфортно и соболям, и людям, наблюдающим такое содержание животных. Кроме того, клеточное разведение дорого — 70% стоимости соболиной шкурки составляет стоимость его рациона. Выходом может стать разведение соболя на охраняемых участках тайги. Площадь охотничьей территории соболя варьирует от 25 до 700 га, в зависимости от ее продуктивности. Во власти человека поднять эту продуктивность и максимально



ГИПОТЕЗЫ



Доместикация влияет на проявление гена пятнистой окраски у норки. Чем ниже агрессивность самки, тем больше белых пятен проявляется у потомства (по: О.В.Трапезов, «Вестник ВОГиС», 2008)

увеличить плотность соболиного населения, поспособствовав размножению основной добычи соболя — мышевидных грызунов. Мышей надо зимой подкармливать, раскладывая в тайге копейки необмолоченных злаков, а волка и лисицу — его конкурентов за пищу — придется удалить. С колонком и горностаем соболь справится сам.

Этот эксперимент будет более успешным, если выпустить в тайгу и прикармливать domesticiрованных соболей. Они менее агрессивны по отношению друг к другу и потому выдержат более тесное соседство. А плотная многочисленная популяция — принципиальное условие для коммерческого разведения соболя в естественных условиях. Природа знает примеры того, как domestикация способствовала увеличению плотности. Полтора века назад серая ворона была перелетной территориальной лесной птицей, а сейчас она городская и стайная.

Если вольное разведение соболя окажется успешным, то заинтересованные в нем люди будут должным образом следить за сохранностью тайги. Аналогичный замечательный пример сохранения природы ради коммерческой выгоды существует на юге Европы. В Испании, Франции и Германии растут дубовые рощи, посаженные исключительно для разведения черного перигорского трюфеля. В этих рощах можно гулять, нельзя лишь собирать грибы. Не будь трюфелей, никаких дубов там бы давно не было.

Несколько слов в заключение

Эксперименты по влиянию domestикации на генную активность открыли новые грани в этом хорошо известном, но совсем не простом явлении. Доместикация работает как дирижер генного оркестра, затрагивая работу сразу множества генов.

Способность к приручению лежала в основе создания всех пород домашних животных, как полученных ранее, так и тех, работа над которыми идет сейчас. Но domestикация была и остается стихийным процессом, ей не придают должного значения. Селекцию ведут по хозяйственно ценным признакам, например качеству или размеру шкуры. Такая селекция не всегда бывает успешной. Некоторые виды легко ей поддаются, другие проявляют необъяснимую устойчивость. Результаты отбора стали бы более предсказуемыми, если бы современ-

ная селекция не стояла «вверх ногами»: вместо того чтобы начинать отбор с получения domesticiрованных рас, а уже потом отбирать хозяйственно-полезные мутации, поступают наоборот.

Проблему domestикации можно рассмотреть и с другой стороны, со стороны микроэволюции диких видов. Исследования микроэволюции в природных популяциях, которую со времен Дарвина принято рассматривать как замедленный аналог селекции, ведут на очень большом количестве видов и очень давно. В 70-е годы прошлого века изучали изменчивость белковых молекул, сейчас — главным образом изменчивость нуклеотидных последовательностей генома. Но во всех известных случаях популяция, изменившаяся под влиянием внешних условий, не давала начала новому виду, а спустя некоторое время возвращалась к исходной форме. Суммируя полученные данные, академик Юрий Петрович Алтухов в своей монографии «Генетические процессы в популяциях» сделал кажущийся парадоксальным вывод: «Полиморфизм популяций — это не свидетельство непрерывно текущей эволюции, а универсальная стратегия природы, обеспечивающая сохранение целостности вида на основе постоянного взаимодействия наследственной изменчивости, случайного дрейфа генов и естественного отбора в нормально флуктуирующей среде».

Иными словами, изменения частот генов в природных популяциях под действием отбора обычно не приводят к образованию новых видов, следовательно, природные виды стабильны и неизменны. Обычной реакцией дикого вида на изменение условий будет вымирание, что мы сейчас повсеместно наблюдаем. Адаптация к новым условиям среды под действием естественного отбора может приводить к формированию новых видов и пород лишь в исключительных случаях.

Доместикация и есть тот исключительный случай, при котором геном переходит в особое состояние пластичности, допускающее изменение в ответ на отбор. Ее можно представить как вредную в обычной ситуации мутацию, нарушающую точность реализации признаков дикого типа. У таких животных, как собака, лошадь, кошка, частота этих мутаций могла оказаться выше, чем у волка, зебры или рыси, что и сделало их предрасположенными к одомашниванию. Каков бы ни был молекулярный механизм domestикации, ее уже сейчас можно использовать в селекционной практике, чтобы ускорить создание новых пород и предотвратить бесплодные усилия по селекции заведомо неизменяемых видов.

Что еще можно почитать на эту тему

С.В. Бекетов, С.Н. Каштанов. «Русский соболь — 70 лет селекции». «Природа», 2002, № 5, с. 52—58.

О.В.Трапезов. «Регуляторные эффекты генов поведения и управление окрасочным формообразованием у американских норок (*Mustela vison* Schreber, 1777)». «Вестник ВОГиС», 2008, № 1/2, с. 63—83.

Адаптация к бездне

Эволюция глубоководных архей

**Д.А.Афонников, К.В.Гунбин,
В.В.Суслов**

Институт цитологии и генетики СО РАН,
Новосибирский государственный университет

Жизнь на грани возможного

Удивителен мир прокариот-экстремофилов. Они встречаются в соленых озерах, гейзерах, сухих пустынях, льдах Антарктики, в глубинах океана, нефтяных резервуарах и в стратосфере, то есть там, где, казалось бы, жизнь невозможна. А ведь нередко они там не просто попадают, но и активно живут, и размножаются. Условия обитания в этих местах, по мнению геологов и астрономов, во многом напоминают раннюю Землю или другие планеты Солнечной системы и дальнего космоса. Изучение микроорганизмов на пределе их жизнестойкости помогает реконструировать возникновение жизни в условиях древней Земли и механизмы, с помощью которых эта жизнь колонизировала новые биотопы, возникающие по мере остывания первобытной планеты.

Эти исследования представляют не только академический интерес. В 1983 году биохимик Кари Маллис создал технологию полимеразной цепной реакции — ПЦР, без которой трудно представить современную молекулярную биологию. У него ничего бы не получилось без фермента Taq-полимеразы, выделенной из бактерии *Thermus aquaticus* — эту бактерию микробиолог Т.Брок обнаружил в гидротермах Йеллоустоунского национального парка. Taq-полимераза стала «молекулой года» (отметим, что первым ее описал наш соотечественник А.Каледин в 1980 году), К.Маллис — нобелевским лауреатом 1993 года, а весь мир понял, что микроорганизмы-экстремофилы — сокровищница ферментов для биотехнологии.

В конце 1970-х годов было сделано выдающееся открытие: стало известно о существовании «черных курильщиков» — принципиально новых экосистем в глубинах океана, использующих вместо фотосинтеза реакции окисления неорганических веществ. Обычно на глубинах от нескольких сотен метров до 10 километров царит мрак, температура держится в пределах нескольких градусов Цельсия, а гидростатическое давление может достигать тысяч атмосфер. Отсутствие фотосинтеза и медленная конвекция вод превращают их в темную холодную пустыню, жизнь в которой зависит от поступления органики и кислорода сверху. Резко отличаются от них зоны вблизи океанических хребтов. Здесь работает своеобразная тепловая машина: холодная морская вода под давлением 300–500 атм проникает через систему трещин к породам, разогретым до 300–400°C, превращается здесь в перегретый флюид с повышенной кислотностью (pH = 2–3), насыщенный серо-

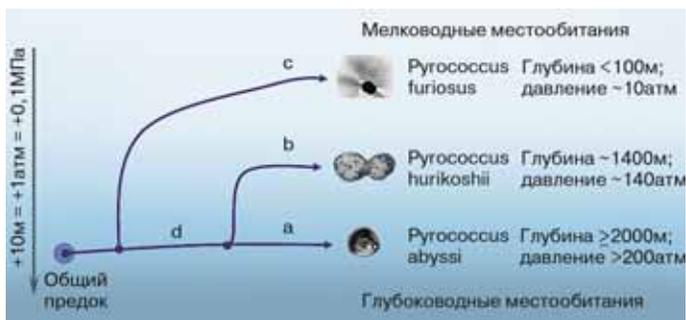
водородом и сульфидами металлов, и вновь выбрасывается в океан. Возникают «черные курильщики» — гидротермальные источники с большой концентрацией пирита (дисульфида железа), который, осаждаясь, образует в толще воды клубы черной взвеси, а на дне — причудливые «башни» высотой в несколько десятков метров. Но несмотря на экстремальные условия, здесь процветает необычная экосистема, чья основа — прокариоты- хемосинтетики, восстанавливающие серу и окисляющие водород с выделением метана и сероводорода. Это виды-пъезофилы, устойчивые к высоким давлениям. Большинство из них также термофилы (оптимальная температура роста 60–80°C) и даже гипертермофилы (оптимальная температура роста выше 80°C).

Каким же образом эти организмы приобрели в ходе эволюции столь необычные свойства? Был ли процесс приспособления похож на случайное блуждание в поисках благоприятных мутаций или двигался более «рациональным» путем, затрагивая прежде всего определенные физиологические системы клеток? Ученые надеются, что найти ответ на эти вопросы помогут геномные данные, которые в последнее время накапливаются в огромном количестве. Далее мы расскажем о мутациях в геномах архей и о том, следует ли считать их случайными или направленными на приспособление к определенным условиям обитания. (Подробнее эти результаты изложены в статье Гунбина и соавторов, см. ссылку в конце текста.)

Пироккокки — археи-экстремофилы

Археи рода пироккокки (*Pyrococcus*) обитают в гидротермах океана, в том числе и рядом с черными курильщиками. Для геномов трех из них, *P.furiosus*, *P.horikoshii* и *P.abyssii*, уже известны полные последовательности нуклеотидов, и теперь данные об их генах интересно сопоставить с условиями, в которых эти организмы обитают. Наилучшие для роста значения температуры, солености и кислотности среды похожи для всех трех видов. Вообще они могут размножаться и при давлениях, близких к атмосферному, но предпочитают жить на разной глубине. *P.furiosus* может существовать при давлениях не выше 20 МПа (0,1 МПа примерно равен 1 атм.) в мелководных горячих источниках. *P.horikoshii* обитает на глубинах около 1400 м (около 14 МПа), однако может выдерживать до 40 МПа. *P.abyssii* встречается около 2000 м (около 20 МПа) и выживает до 50 МПа. Из других экологических особенностей отметим, что *P.furiosus* утратил гены хемотаксиса (не может двигаться в сторону нужных ему веществ), а *P.horikoshii* — гены синтеза некоторых аминокислот, и теперь гибнет на субстратах, бедных аминокислотами и пептидами.

Чтобы установить обстоятельства происхождения трех видов, мы сопоставили последовательности генов их 16S РНК (одной из РНК, входящих в состав рибосом)



1

Эволюционная история бактерий рода *Pyrococcus* (*P. furiosus*, *P. horikoshii* и *P. abyssi*). Первым обособился *P. furiosus* (ветвь c), а после разошлись *P. horikoshii* и *P. abyssi*. Показаны глубины их местообитаний и предельные значения давлений, при которых эти виды выживают. *P. horikoshii* (ветвь b) утратил гены синтеза важных аминокислот и научился потреблять пептиды и аминокислоты из внешней среды

с генами некоторых других пироккокков. Оказалось, что микроорганизмы, живущие на глубинах около 2200 м, наиболее близки к их общему предку. Скорее всего, на таком уровне он и обитал когда-то, а потом начали образовываться и отделяться от общего ствола новые виды (рис. 1). Анализ генов 16S РНК показал, что сначала это проделали предки *P. furiosus*. Они ушли в поверхностные воды, потеряв при этом часть функций, необходимых для выживания в глубинах. Затем разделились *P. horikoshii* и *P. abyssi*. Предки первого поднялись до 1400 м, разучились жить при повышенном давлении, освоили области, богатые аминокислотами, и перестали синтезировать некоторые из них. Второй вид, вероятно, ближе всего к общему предку по глубинам обитания.

В процессе эволюции геномы этих видов накапливали мутации, изменявшие функции и структуры белков. Часть мутаций оказалась полезной в новых условиях и закрепились отбором. Их поиск может дать полезную информацию о том, какие гены ответственны за приспособление к экстремальной среде. Мы рассматривали два механизма, меняющих геном в ходе освоения новых местообитаний: одиночные нуклеотидные замены в генах, кодирующих белки, и потерю генов.

Скорости мутаций и режим эволюции генов

Биоинформатика имеет дело прежде всего с анализом последовательностей нуклеотидов в генах и аминокислот в белках. Каким же образом она поможет понять, как археи приспособились к внешней среде?

В 1968 году японский биолог Мотоо Кимура предложил теорию молекулярной эволюции, популярную до сих пор. Согласно ей, существует три режима накопления одиночных замен в генах. Первый — нейтральная эволюция, когда мутации не изменяют структуру или функцию гена и соответствующего белка. Они характерны для участков ДНК, которые не слишком важны для выживаемости организма и не влияют на его приспособленность. В ходе эволюции такие мутации накапливаются в геномах с приблизительно постоянной скоростью, поэтому в молекулярной эволюции они служат эталоном времени. Процесс накопления таких замен даже называли молекулярными часами по аналогии с атомными часами — эталоном времени в физике.

Другой режим — стабилизирующий отбор, под действием которого обычно находятся особо важные гены или их участки. Почти любая замена в них повредит продукт гена и уменьшит приспособленность организма. Скорость на-

копления мутаций при таком отборе тем ниже, чем важнее ген и чем меньше его функция связана непосредственно с внешней средой. Под действием стабилизирующего отбора часто находятся гены, участвующие в работе базовых систем клетки (так называемые гены домашнего хозяйства).

Третий режим эволюции — движущий отбор. Он характеризуется увеличенной скоростью накопления мутаций, так как в новых условиях они повышают приспособленность организма, придавая генам какие-либо новые свойства (например, возрастает устойчивость белков к воздействию повреждающих внешних факторов).

Как же отличить нейтральные мутации от остальных? В общем виде этот вопрос не решен, но ключ к нему дают особенности генетического кода и физико-химических свойств аминокислот. Известно, что 20 аминокислот, из которых состоят белки, кодируются 61 триплетом нуклеотидов (кодоном) из 64-х возможных (оставшиеся три триплета представляют собой «знаки препинания» генетического кода). Значит, одна аминокислота может кодироваться несколькими триплетами. Поэтому некоторые замены одного нуклеотида, меняя триплет, оставляют в белке ту же аминокислоту. Такие замены называют синонимическими. Замена, в результате которой в белке появляется другая аминокислота, называют несинонимическими. На рисунке 2 они показаны на примере триплета GAT, кодирующего аспарагиновую кислоту. М.Кимура предположил, что синонимические мутации идеально подходят на роль нейтральных, поскольку они «незаметны» для организма на уровне аминокислотной последовательности, структуры и функции белка. Поэтому скорость их накопления может служить эталоном. За прошедшее время его предположение в целом подтвердилось, хотя, как водится в природе, не бывает правил без исключений: иногда синонимические замены могут не быть нейтральными (например, в тех случаях, когда они нарушают скорость синтеза белка).

С другой стороны, для структуры и функции белка важны прежде всего физико-химические свойства аминокислот. Поэтому некоторые несинонимические замены могут оказаться вполне нейтральными. Например, аспарагиновая и глутаминовая кислоты очень сходны по своим физико-химическим свойствам и очень часто заменяются друг на друга в процессе эволюции. Такие замены, сохраняющие свойства аминокислоты, называют консервативными.

Двум видам бактерий или архей нужно много времени, чтобы окончательно разделиться, причем темпы мутирования у них высокие. Синонимические замены не всегда подходят в качестве эталона, зато консервативные вполне годятся на роль «нейтральных мутаций». Скорость их накопления, K_c , можно принять за эталон. Ско-

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ



Замены в кодонах, используемые для установления режима эволюции гена, на примере аспарагиновой кислоты. Эта аминокислота кодируется двумя нуклеотидными триплетами GAT и GAC (слева).

Для кодона GAT возможны девять мутаций с заменой одного нуклеотида.

Результат замены показан справа, подчеркнуты нуклеотиды, которые были заменены в результате мутации.

Синонимическая мутация показана прямым шрифтом.

Остальные восемь — несинонимические и кодируют разные аминокислоты

Аспарагиновая и глутаминовая кислоты при нормальном рН отрицательно заряжены, валин, глицин, аланин, аспарагин и тирозин не имеют заряда, а гистидин имеет положительный заряд. Следовательно, две из восьми возможных несинонимических замен будут консервативными (показаны курсивом), а остальные — радикальными (показаны жирным шрифтом)

аспарагиновая
кислота
GAT
GAC

Одиночные
мутации

GAC	аспарагиновая кислота
GAA	глутаминовая кислота
GAG	глутаминовая кислота
GGT	глицин
GCT	аланин
GTT	валин
AAT	аспарагин
CAT	гистидин
TAT	тирозин

рость K_f накопления радикальных несинонимических замен, существенно изменяющих свойства аминокислот, служит характеристикой отбора. Чтобы определить важность гена и его режим эволюции, будем использовать отношение K_f/K_c , рассчитанное сравнением его нуклеотидной последовательности с родственной. В случае $K_f/K_c \approx 1$ (нейтральная эволюция) функция гена не критична для организма. Если $K_f/K_c < 1$ (стабилизирующий отбор), ген чрезвычайно важен для выживания организма. Если $K_f/K_c > 1$ (движущий дарвиновский отбор), высокая изменчивость может свидетельствовать о том, что ген меняет свою функцию и быстро накапливает мутации, которые закрепляют его новое предназначение. Именно они привлекают биолога как гены-кандидаты, отвечающие за приспособление к изменившимся условиям среды.

Смысл нашей работы как раз и заключался в поиске таких генов, быстро эволюционирующих на тех этапах эволюции, когда виды пироккокков расходились и меняли места обитания (ветви *c*, *b*, *a* и *d* филогенетического дерева на рис. 1).

Движущий отбор в геномах пироккокков

Мы провели анализ 911 генов родственных белков, последовательности которых у трех видов пироккокков похожи не менее чем на 50% (что гарантировало сходство их структуры и функции). Этот набор составил приблизительно половину от общего числа белков на геноме.

Для 422 из 911 исследованных нами генов, то есть почти для половины, движущий отбор не обнаружен (K_f не превышала K_c). Они в ходе дивергенции трех видов архей изменялись несильно.

Оставшиеся гены эволюционировали под действием движущего отбора, по всей видимости, адаптируясь к изменившимся биотическим и абиотическим условиям среды. Из них 154 подвергались движущему отбору для ветви *a* (рис. 1); 208 — для *b*; 131 — для *c*; 168 — для *d*. Для большинства этих генов функция известна, и мы можем сказать, какие их функциональные классы более других удалились от исходного строения на разных ветвях филогенетического дерева.

Так, на ветви *a*, ведущей к *P. abyssi*, в основном отбирались гены системы транспорта и метаболизма неорганических ионов. (Похожий результат получили С. Кампанаро и его сотрудники (2008) при анализе пьезофильных линий бактерий *Photobacterium profundum* и *Shewanella benthica*.) Но по глубинам обитания *P. abyssi* наиболее бли-

зок к возможному общему предку трех исследованных нами видов (рис. 1), то есть в ходе его эволюции резкой смены давлений могло и не быть. Подавляющее большинство генов этой функциональной группы, затронутых движущим отбором, кодируют белки молекулярного комплекса, поддерживающего рН внутри клетки за счет обмена ионов Na^+ и H^+ между цитоплазмой и внешней средой. Такая эволюция больше характерна для прокариот, обитающих в экстремальных рН. Вспомним, однако, что флюид «черного курильщика» кислый, а морская вода — слабощелочная. Возможно, *P. abyssi* перемещался не столько по глубине, сколько по горизонтали — ближе или дальше от «черного курильщика», и как раз по этой причине, в отличие от *P. horikoshii*, *P. abyssi* могут существовать на обедненных аминокислотами средах: при удалении от «курильщика» их концентрация падает.

Анализ ветви *b*, ведущей к *P. horikoshii*, показал, что под действием движущего отбора эволюционировали в первую очередь гены аппарата транскрипции. *P. horikoshii* утратила блоки генов, отвечающие за синтез ряда аминокислот. Вероятно, часть аминокислот этот вид приспособился получать из внешней среды, что и повлекло за собой перестройку аппарата регуляции транскрипции.

На ветви *c* — дивергенции мелководного вида *P. furiosus* от общего глубоководного предка — движущему отбору подвергались гены аппарата трансляции. Изменение условий обитания здесь связаны прежде всего с уменьшением гидростатического давления. Хорошо известно, что у кишечной палочки и других бактерий при повышенном давлении рибосомы диссоциируют — разделяются на две субъединицы и перестают синтезировать белки, почему, собственно, клетки и гибнут. Известно также, что активность генов рибосомальных белков резко повышается с ростом давления. Мы предположили, что быстрое накопление радикальных замен в генах, связанных с работой рибосомы, направлено на ее стабилизацию при нормальных давлениях, непривычных для глубоководной клетки.

Наш анализ в целом показал, что наборы генов, подверженных движущему отбору, отличаются как по их числу, так и по распределениям функций для каждой из ветвей филогенетического дерева *Rugosoccus*, однако не слишком хорошо согласуются с глубиной местообитания. По сравнению с общим предком изменение глубин наибольшее для *P. furiosus*, наименьшие — для *P. abyssi*, а общее число подверженных движущему отбору генов наибольшее у *P. horikoshii*. По-видимому, смена биотопа по горизонтали — в пределах области

рассеяния флюида «черного курильщика», и соответственно смена экологических ниш и субстратных предпочтений – не менее важная тенденция в эволюции трех видов *Pyrococcus*, чем смена биотопа по вертикали. *P.abyssi* оказался домоседом и перемещался преимущественно по горизонтали, *P.furiosus* — преимущественно по вертикали, а *P.horikoshii* — как по вертикали, так и по горизонтали, поэтому он оказался наиболее изменен в ходе эволюции. Смена субстратного предпочтения, вероятно, шла в ходе эволюции *P.abyssi* и *P.horikoshii* постепенно, как на ветви *d* (где движущий отбор сильнее всего был выражен для функции «транспорт и метаболизм нуклеотидов»), так и после дивергенции ветвей *a* и *b* (преобладание движущего отбора для генов *P.abyssi* с функцией «транспорт и метаболизм неорганических ионов»).

Мембраны сильно подвержены действию повышенных давлений. Тем не менее мы не нашли значимых следов движущего отбора в классах генов, связанных с функциями клеточных мембран, хотя у пьезофильных линий бактерий *P.profundum* и *Sh.benthamica* такой отбор шел. Но пироккокки — археи. Их мембраны, в отличие от бактериальных, содержат полиизопреновые цепочки, чьи метильные группы повышают прочность липидного слоя. По-видимому, такая структура мембран лучше всего подходит для высоких значений и температур, и давлений.

Стресс, эволюция и пироккокки

Большинство прокариот обладает феноменальной способностью кратковременно выдерживать смертельные, казалось бы, изменения параметров окружающей среды (рис.1). В основе лежит механизм стресса – кратковременного ответа жизненных систем на экстремальные внешние факторы. Но может ли такой механизм вносить свой вклад в эволюционную изменчивость видов?

Типичная стресс-реакция, как установил еще Ганс Селье, состоит из фазы тревоги, когда спешно активируются гены, обеспечивающие сопротивление стресс-фактору (стрессору), фазы резистентности, когда организм кратковременно приобретает устойчивость к стрессору, и фазы истощения. Смертоносны для организма первая и особенно последняя фаза. А во второй организм может чувствовать себя настолько комфортно, чтобы положить ее в основу новой эволюционной стратегии. Так, кашалот, например, регулярно пользуется этой фазой, чтобы поплавать на километровой глубине в течение часа, а то и пообедать там же.

В фазе резистентности активированы функции организма, ответственные за универсальное сопротивление многим повреждающим факторам, а не только стрессору, вызвавшему стресс. Селье назвал это явление перекрестной резистентностью.

Режим эволюции, при котором адаптивные физиологические реакции изменяют направления отбора, Дж.Болдуин еще в 1896 году назвал органической эволюцией и предположил, что должен быть механизм, позволяющий наследственно закреплять такие реакции.

В 30-е годы XX века Е.И.Лукин и И.И.Шмальгаузен, исследуя географическую и онтогенетическую изменчивость, предложили гипотезу генокопирования модификаций: отбор благоприятствует мутациям, повышающим вероятность проявления адаптивных модификаций (например, интенсивный рост шерсти у млекопитающих при длительном охлаждении) и автономизирующим их развитие от внешней среды (у арктических подвидов шерсть гуще, чем у их южных родственников).



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Мы вспомнили об эффекте Болдуина, сравнив функциональные группы с высокой долей адаптивно эволюционирующих генов у трех видов пироккокков и функциональные группы генов, экспрессия которых резко повышается при росте давлений у бактерии *E.coli* и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Оказалось, что эти группы во многом совпадают, в частности по таким функциональным классам, как «транспорт и метаболизм нуклеотидов», «транскрипция», «трансляция». Но у *E.coli* и *S.cerevisiae* при пьезострессе наблюдалась еще и повышенная экспрессия генов «защитных механизмов», а у пироккокков в целом для этой группы адаптивная эволюция не характерна, хотя по отдельным генам и отмечена.

Мы предположили, что в случае пироккокков мы тоже наблюдаем генокопирование, но не онтогенетических модификаций, а кратковременных стресс-реакций. В отличие от модификаций, отбору практически не нужно тестировать адаптивность стресс-реакции. За счет перекрестной резистентности организм переживет действие самых разных стрессоров. Но такая адаптация несовершенна — организм погибнет в фазе истощения. Этого не произойдет, если отбор затронет сравнительно небольшое количество генов стресса, так, чтобы оптимизировать выход из фазы истощения, своевременно ликвидировать вредные последствия стресса. То есть на первых стадиях эволюции происходит приспособление не к изменившейся среде, а к собственному стрессу, автономизация от него.

Конечно, сравнительный анализ всего трех геномов не дает точных ответов на вопросы о всех механизмах приспособления организмов к экстремальным условиям. Однако секвенирование геномов в настоящее время — достаточно рутинная процедура, и скоро геномов с известной последовательностью нуклеотидов станет больше, а наши ответы — точнее.

Авторы выражают благодарность СО РАН за финансовую поддержку работы в рамках интеграционного проекта 109.

Что еще почитать об эволюции и адаптации микроорганизмов

Campanaro S., Treu L., Valle G. Protein evolution in deep sea bacteria: an analysis of amino acids substitution rates, *BMC Evol. Biol.*, 2008, V. 8:313.

Gunbin K.V., Afonnikov D.A., Kolchanov N.A. (2009) Molecular evolution of the hyperthermophilic archaea of the *Pyrococcus* genus: analysis of adaptation to different environmental conditions, *BMC Genomics*, 10, 639.

Кимура, М. Молекулярная эволюция: теория нейтральности. М.: Мир, 1985.

Фруктоза: за и против

Хочу попросить уважаемый журнал помочь разобраться в таком продукте, как фруктоза. Многие диетологи сейчас рекомендуют употреблять фруктозу вместо сахара. И в диетологии сейчас очень популярна система питания, основанная на гликемических индексах. Так вот, разные диетологи утверждают, что у французской и немецкой фруктозы, изготовленной из свеклы, ГИ 20. А у американской фруктозы, изготовленной из кукурузы, ГИ от 50 до 90. Но чем выше гликемический индекс, тем вреднее продукт. Разве такое может быть? Разве фруктоза не имеет одну химическую формулу? Не могли бы вы разъяснить этот вопрос? И может ли она действительно быть лучше сахара в плане здоровья?

И.А.Машина, Москва

Прямой ответ на вопрос нашей читательницы о разнице в гликемических индексах (ГИ) для фруктозы французской и американской найти не удалось. Но ничто не мешает нам поразмышлять и предложить возможную версию ответа. И.А.Машина права – фруктоза и в Африке фруктоза, если речь идет об индивидуальном чистом веществе. Фруктоза, она же фруктовый сахар, — изомер глюкозы, или виноградного сахара. Это значит, что у обоих веществ одинаковая химическая брутто-формула $C_6H_{12}O_6$, но разная структура. Поэтому и свойства у этих веществ разные. Достаточно сказать, что температура плавления фруктозы и глюкозы различается на десятки градусов, а фруктоза почти в два раза слаще глюкозы.

Разнятся не только физические и химические свойства этих веществ, но и биохимические — каждое из них по-своему утилизируется организмом человека. Глю-

коза — основной и наиболее универсальный источник энергии, которая необходима для жизни. Вот почему усваивать глюкозу могут все клетки организма животных. А усваивать фруктозу могут лишь некоторые типы тканей, например клетки печени. Глюкоза утилизируется в клетках благодаря обязательному вмешательству гормонов, в первую очередь инсулина, которые регулируют процесс гликолиза. А для утилизации фруктозы инсулин не нужен — она неспешно всасывается в кровь из пищеварительного тракта человека посредством обычной диффузии, затем напрямую направляется в печень и там быстро преобразуется в глюкозу, гликоген или жир. Для тех людей, у кого нарушена функция поджелудочной железы и затруднено производство инсулина, лишняя глюкоза в крови нежелательна. Поэтому больные диабетом должны следить за концентрацией глюкозы в крови и не допускать, чтобы она повышалась выше допустимого предела. А концентрация фруктозы инсулину безразлична.

Все продукты содержат те или иные углеводы, сахара и крахмал, например, которые в организме превращаются в глюкозу. Чтобы определить, какое питание наиболее благоприятно для людей, страдающих диабетом, доктор Дэвид Дженкинс и доктор Томас Уолевер (Университет Торонто) в 1981 году ввели понятие «гликемический индекс». Индекс определяли экспериментально: кормили добровольцев разными продуктами питания, содержащими 50 г углеводов, а затем с помощью анализа крови через определенные промежутки времени смотрели, как растет концентрация глюкозы в крови. Точкой отсчета служит ГИ глюкозы — 100. У большинства остальных продуктов ГИ укладывается в диапазон 1—100. Низкий ГИ у продукта говорит о том, что при его употреблении концентрация сахара в крови

поднимается медленно. Чем выше ГИ, тем быстрее растет концентрация сахара.

Таблицы ГИ для разных продуктов питания можно найти в Интернете. Например, для пива он составляет 110, белого хлеба — 85, вареного картофеля — 70, гречки — 50, грибов — 10, капусты — 10. Во всех таблицах у фруктозы индекс одинаков — 19—20. Так откуда же взялись значения 50 и 90 для американской фруктозы? Для химика ответ очевиден. Если какая-либо характеристика вещества отличается от табличного значения, значит, речь идет не о чистом веществе. Конечно, гликемический индекс никак нельзя назвать химической или физической характеристикой вещества. Это некий обобщенный и усредненный показатель, на значение которого влияет множество факторов, связанных с метаболизмом вещества в организме, в том числе и индивидуальные особенности метаболизма того или иного человека. И тем не менее такой большой разброс, от 20 до 90, может быть связан только с одним: указанные завышенные параметры принадлежат не индивидуальному веществу, а некой смеси веществ.

Давайте вспомним, как получают фруктозу в США. Сырьем для получения фруктозы служит кукуруза, содержащая много крахмала. Крахмал кукурузы с помощью микроорганизмов перерабатывают, получая глюкозный сироп. А затем глюкозный сироп подвергают действию другой группы ферментов, которые преобразуют глюкозу во фруктозу. Этот процесс был разработан еще в 1957 году Ричардом Маршаллом и Эрлом Куи, в конце 60-х его усовершенствовали исследователи в Японии, и уже в начале 70-х процесс вновь стал использоваться промышленностью США.

Может, фруктоза, производимая в США, содержит примеси глюкозы? Но ответ на самом деле еще проще. Процесс выделения чистой фруктозы из сиропа, в котором уже прошла трансформация глюкозы, обходится дорого. Да он особенно и не нужен в США, где пищевая промышленность использует не чистую фруктозу, а сироп с высоким ее содержанием. В США даже есть специальная аббревиатура на этот случай: HFCS (High Fructose Concentration Syrup). В зависимости от глубины преобразований глюкозного сиропа мы можем получать сироп с различными концентрациями фруктозы и глюкозы. В ходу три марки сиропа: HFCS 90, содержащий 90% фруктозы, HFCS 55, в котором 55% фруктозы, и HFCS 42. Остальное — глюкоза. Как видите, в названиях марок присутствуют цифры 55 и 90, по сути, те же самые, что упоминает наша читательница. Вряд ли это совпадение. И хотя это не гликемические индексы, а величина концентрации фруктозы, с очень большой долей уверенности можно сказать, речь в вопросе читательницы идет именно об этих составах.



А теперь несколько слов о пользе и вреде фруктозы. Фруктоза действительно позволяет больным сахарным диабетом снизить дозы принимаемого ими инсулина. Есть у фруктозы и другие достоинства. Она слаще сахарозы (обычного сахара), поэтому ее можно добавлять в меньших количествах. Фруктозу используют в кондитерской промышленности, в производстве продуктов детского питания, некоторых медицинских препаратов. А поскольку она открывает и усиливает аромат ягод и фруктов, с ней хорошо готовить десерты, варенье, соки.

Исследования показали, что фруктоза ускоряет метаболизм алкоголя в организме человека. Она применяется, например, при лечении отравления алкоголем. Наконец, фруктоза на 30–40% снижает риск развития кариеса и воспалительных процессов в полости рта.

Но есть у фруктозы и недостатки. Диетолог Жюли Бриер (Julie Briere) полагает, что примерно 20% населения не переносят фруктозу. У этих людей она полностью не всасывается в тонком кишечнике, попадает в толстый и становится добычей бактерий. В результате ферментации образуются водород и метан. Они провоцируют неприятные ощущения вздутия и распирания живота, боли. Кроме того, фруктоза, не поглощенная в тонком кишечнике, создает повышенное осмотическое давление. Вода устремляется в желудочно-кишечный тракт, и начинается диарея. Она особенно характерна для детей, которые, например, объелись яблоком и груш или выпили много сока из этих плодов, в котором высока концентрация свободной фруктозы.

Французские исследователи обнаружили в экспериментах на крысах, что чистая фруктоза увеличивает выработку свободных радикалов в организме, а также повышает уровень липидов в крови. Главная неприятность заключается в том, что это исследование, как и многие другие в разных лабораториях мира в последние годы, получают все больше данных, подтверждающих, что фруктоза способствует ожирению. Вот вам и низкий гликемический индекс!

Проблема лишнего веса сегодня приобрела масштаб настоящей эпидемии. Исследователи из Министерства сельского хозяйства США сравнили данные по потреблению сахарозаменителей и распространенности ожирения за период 1967–2000 годов. Выяснилось, что с конца 70-х годов, когда в США начали использовать кукурузные фруктозные сиропы, добавляя их во все сладкие напитки, десерты и прочее, кривая ожирения среди населения США резко пошла в гору.

«Когда фруктоза достигает печени, — говорит доктор Уильям Дж. Велэн, биохимик Школы медицины университета Майами, — печень буквально сходит с ума и

останавливает все процессы, чтобы усвоить фруктозу». Фруктоза легче, чем глюкоза, превращается в жир. А жировые запасы сжечь гораздо труднее, чем глюкозу. Авторы исследования из Калифорнийского университета в Дэвисе рекомендовали 32 добровольцам с избыточным весом в течение 12 недель пить напитки на основе глюкозы или фруктозы. После эксперимента нежелательные изменения функции печени и отложения жиров были выявлены только у людей, потреблявших напитки с фруктозой.

Для усвоения фруктозы не нужен инсулин. Но если не выделяется инсулин, то снижается и выработка гормона лептина, ответственного за чувство сытости и подавляющего аппетит, и возрастает производство гормона грелина, возбуждающего аппетит. Фруктоза не дает чувства сытости. Напротив, все мы замечаем, что фрукты только возбуждают аппетит. Поэтому сегодня многие исследователи считают, что фруктоза в сочетании с высококалорийной жирной пищей может приводить к ожирению. Джордж Брей (George A. Bray), изучающий проблему лишнего веса в Центре биомедицинских исследований в университете штата Луизиана, полагает, что фруктоза может способствовать быстрому отложению жира.

Так что с фруктозой все непросто. Исследования продолжаются. Будем следить за их результатами. А пока давайте стараться не использовать в пищу рафинированные вещества — сахар, фруктозу, соль и спирт. Как минимум не злоупотреблять ими. И надо ли напоминать, что о сладких газированных напитках, изготовленных промышленным способом, надо забыть навсегда.

Благодарим нашу читательницу за интересный вопрос. К разговору о фруктозе мы еще не раз вернемся в нашем журнале.

Ищем крахмал и витамин С

Хочу показать детям на уроке несложные опыты с пищевыми продуктами, которые доказывают присутствие в продуктах тех или иных веществ. Какие простые качественные реакции вы посоветуете?

М.Афанасьева, учитель химии, Тобольск

Анализ пищевых продуктов сложен тем, что они содержат смеси различных веществ, причем некоторые, особенно интересные нам (витамины, микроэлементы и т. п.), присутствуют в крошечных количествах. Поэтому прежде чем определять вещества, их надо выделить из продукта, а затем уже разбираться, что у нас в руках. Для распознавания веществ сегодня используют чувствительные аналитические приборы. Тем не менее несколько качественных реакций вполне пригодны для демонстрации на уроке.

Простая и хорошо известная реакция — так называемая йодкрахмальная проба. При взаимодействии йода с крахмалом образуется комплексное соединение темно-синего цвета. Реакция чувствительна, поэтому с ее помощью можно обнаружить и небольшие количества крахмала. Приготовьте слабенький раствор йода (0,5–1%-ный). А дальше — совсем просто. Капните этот раствор на образец продукта, в котором должен быть крахмал, и следите за изменением окраски. Для начала протестируйте раствор на обычном крахмале, чтобы скорректировать концентрацию раствора.

Набор продуктов, содержащих крахмал, велик. Это и картошка, и рис, и макароны, и хлеб. (Макароны и крупы надо будет предварительно растереть в ступке или размолоть в миксере или кофемолке.) Но с помощью этой реакции можно обнаружить крахмал и там, где его не особенно ждешь, например в йогурте или вареной колбасе. Еще эта реакция покажет вам наличие крахмала в жесткой мякоти зеленого незрелого яблока. А вот в зрелом плоде его уже не будет: весь крахмал в процессе созревания превратился в сахара.

Кстати, слабый раствор йода хорош и для качественной реакции на витамин С. Выдавите сок из ананаса (лимона, капусты и любых других фруктов и овощей) и прикапывайте к соку раствор йода. Не забывайте встряхивать пробирку, чтобы перемешивать содержимое. Если витамина С в соке достаточно, то капли йода будут обесцвечиваться — так проявляются антиоксидантные свойства аскорбиновой кислоты. С помощью этого опыта можно сравнить содержание витамина С в разных фруктах, просто подсчитывая количество обесцвеченных капель раствора йода.

А вот еще одна качественная реакция — обесцвечивание бромной воды ненасыщенными жирными кислотами. С помощью этой реакции можно показать, что в растительном масле, гусяном жире и жире семги или форели содержится заметное количество ненасыщенных жирных кислот. Для опыта надо взять жир указанных продуктов, растворить его в неполярном органическом растворителе и прикапывать по каплям бромную воду, каждый раз встряхивая пробирку. Бромная вода должна обесцвечиваться. По количеству обесцвеченных капель можно судить об относительном содержании ненасыщенных жирных кислот в разных продуктах.

Откуда дровишки?

Кандидат
физико-математических наук
С.А.Язев

Вопрос об источниках энергии Солнца был поставлен давно. На роль «дров» для солнечной топки последовательно выдвигали трение об эфир, энергию от ударов падающих метеоритов, гипотетический солнечный уголь, гравитационное сжатие Солнца, а также аннигиляцию частиц и античастиц. В середине XX века пулковский астроном Н.А.Козырев предлагал в качестве топлива даже потоки времени, которые в недрах звезд (включая Солнце) трансформировались, согласно его идее, в электромагнитное излучение. Все эти концепции либо были опровергнуты, либо остались недоказанными.

Сегодня наши представления о происхождении солнечной энергии опираются на теорию термоядерного синтеза в недрах Солнца, которую позволили сформулировать результаты исследований в области атомной физики.

Алхимия термояда

Самое простое и распространенное вещество в нашей Вселенной — водород. Атом водорода устроен предельно просто. Его ядро — это протон, элементарная частица с единичным положительным зарядом. Вокруг протона движется электрон, который примерно в 1840 раз меньше протона по массе и обладает единичным отрицательным зарядом. Положительный заряд протона нейтрализуется отрицательным зарядом электрона.

Второй по распространенности химический элемент во Вселенной — гелий. Ядро атома гелия состоит из двух протонов и двух электрически нейтральных частиц — нейтронов. Масса нейтрона чуть меньше массы протона и в 1838 раз больше массы электрона. Вокруг ядра атома гелия движутся уже два электрона.

Сегодня мы понимаем, что, для того чтобы из одного типа атомов получить другой, например из водорода получить гелий, нужно попытаться объединить между собой ядра атомов водорода. Но в обычных условиях это невозможно. Протоны положительно заряжены и потому отталкиваются друг от друга с гигантской силой: сила электрического взаимодействия, или сила Кулона, оказалась чрезвычайно мощной. Она и сводила на нет все усилия алхимиков.

Но как же тогда два протона удерживаются рядом в атоме гелия? Что удерживает их от разлета? Выяснилось, что в природе существует так называемое сильное ядерное взаимодействие — сила, работающая внутри ядер атомов. Она примерно в 100 раз сильнее кулоновского отталкивания. Именно сильное ядерное взаимодействие прижимает протоны друг к другу внутри ядер атомов. Но это взаимодействие обладает удивительным свойством: оно работает только на очень коротких расстояниях порядка размеров атомного ядра. Достаточно протонам чуть разойтись, и эта удивительная сила исчезает, и начинает работать кулоновское отталкивание.

Итак, для того, чтобы собрать из ядер атомов водорода ядро более тяжелого элемента, нужно преодолеть могучее кулоновское отталкивание и приблизить протоны вплотную друг к другу, чтобы они за счет включившегося сильного взаимодействия



«слиплись» между собой. В обычных условиях эта задача не решается. Но оказалось, что это становится возможным в недрах Солнца, в самой его сердцевине, которая называется солнечным ядром.

Гигантская масса Солнца ($1,99 \cdot 10^{30}$ кг) сжимает вещество, то есть протоны, в своем центре до огромных плотностей — 153 грамма в кубическом сантиметре. Поэтому в единице объема в ядре Солнца оказывается очень много вещества. Давление здесь достигает 25 квадриллионов паскалей.

Второй фактор, способствующий термоядерным реакциям, — это колоссальная температура в недрах светила. Она превышает 15 миллионов градусов. При такой температуре частицы начинают двигаться с гигантскими скоростями. А это значит, что при столь высокой плотности вещества и температуре в ядре Солнца появляется слабая, но все-таки отличная от нуля вероятность столкновения частиц.

На самом деле происходящие процессы гораздо сложнее. Здесь начинает работать так называемый туннельный эффект, описанный квантовой механикой. Он позволяет протонам иногда преодолевать кулоновский барьер и сближаться практически до столкновения.

Современная ядерная физика довольно подробно изучила эти процессы. Каждый протон сам по себе чрезвычайно устойчив, он может существовать многие миллиарды лет. Но, оказавшись очень близко к другому протону, он может распасться, превратившись в нейтрон и испустив две частицы: позитрон (электрон с положительным зарядом) и нейтрино (части-



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Два ядра гелия-3 тоже могут провзаимодействовать между собой. Вероятность такого столкновения в условиях солнечного ядра невелика, но она все-таки гораздо больше, чем вероятность образования дейтрона. В среднем раз в миллион лет два ядра гелия-3 могут столкнуться, слиться друг с другом, испустив два протона и образовав так называемую альфа-частицу — ядро атома обычного гелия-4, содержащего два протона и два нейтрона. Так исполняется давняя мечта алхимиков: из одного химического элемента (водорода) образуется другой (гелий).

Откуда энергия?

И теперь — самое главное. Масса получившегося ядра гелия оказывается чуть меньше суммарной массы изначально взаимодействовавших протонов. А как же закон сохранения массы в химических реакциях? Но это не химическая реакция. Описанный процесс называется реакцией термоядерного синтеза. И здесь работает знаменитая формула Эйнштейна, устанавливающая эквивалентность массы и энергии: энергия частицы равна его массе, умноженной на огромный коэффициент — квадрат скорости света. Если масса в результате реакции уменьшилась, значит, часть массы превратилась в энергию электромагнитного излучения.

В энергию излучения превращается примерно 0,73% массы каждых четырех ядер водорода, вступающих в реакцию, чтобы образовать одну альфа-частицу. Учитывая огромный коэффициент в формуле Эйнштейна (квадрат скорости света), получаем, что в расчете на каждый вступающий в реакцию протон выделяется довольно много энергии. Но в ядре Солнца содержится гигантское количество протонов. Каждое мгновение в реакцию термоядерного синтеза вступает очень большое число этих частиц. Ежесекундно в энергию гамма-излучения превращается около 5 миллионов тонн водорода (Солнце становится на эту величину легче). Умножив это число на квадрат скорости света, мы получим общую энергию, выделяемую Солнцем за секунду, то есть его светимость. Она составляет $3,84 \cdot 10^{26}$ ватт. Отсюда следует, что именно цепочка из этих трех термоядерных реакций (она называется протон-протонным циклом) служит основным источником энергии солнечного излучения. Что, впрочем, не мешает протекать и другим реакциям в недрах Солнца, но их вклад в выделение энергии незначителен.

Нетрудно сообразить, что этот процесс энерговыделения будет продолжаться до тех пор, пока на Солнце есть топливо — ядра водорода. Спектральный анализ показывает, что водорода на Солнце пока хватает. Теория утверждает, что на поддержание относительно стабильного режима энерговыделения на Солнце водорода хватит по крайней мере еще на 4—5 миллиардов лет — еще на столько же, сколько Солнце уже существует.

Можно ли верить теории?

По-видимому, пора остановиться и немного поразмышлять. Теория термоядерного синтеза, разработанная командой физиков, в которую входил Ханс Бете, лауреат Нобелевской пре-

ца с ничтожной массой и без заряда). Эти легкие частицы быстро покидают «поле боя». Нейтрино практически не взаимодействует с тяжелыми частицами и может свободно пройти сквозь все Солнце с околосветовой скоростью и покинуть его. Позитрон немедленно превратится в квант гамма-излучения, самоуничтожившись при столкновении с первым же встречным электроном. А что же будет с образовавшимся нейтроном? Он объединится с тем самым протоном, с которым произошло его столкновение, и в результате образуется ядро тяжелого водорода — дейтрон.

Описанный процесс может происходить крайне редко. Теоретические расчеты показывают, что протоны из-за гигантской плотности и высокой температуры в ядре Солнца сталкиваются между собой миллионы раз в секунду. Но только одно из десяти миллиардов миллиардов миллиардов миллиардов столкновений может закончиться распадом и образованием дейтрона. Для каждой пары протонов такое объединение в недрах Солнца происходит в среднем один раз за 14 миллиардов лет! Именно поэтому термоядерные реакции идут так долго и Солнце не погасло и не погаснет на протяжении долгих миллиардов лет.

Что же происходит дальше? Образующиеся дейтроны довольно быстро, в среднем через шесть секунд после своего образования, захватывают еще по одному протону. В результате формируются ядра изотопа гелия-3 (два протона, один нейтрон). При этом снова испускается квант энергичного гамма-излучения.

мии по физике 1967 года, объясняет происхождение огромной энергии, излучаемой Солнцем. Однако теория достаточно сложна и на первый взгляд состоит из слишком большого количества сильных допущений и предположений. Расчеты, позволяющие «увидеть», что же, собственно, происходит в глубоких недрах нашего светила, могут содержать ошибки. Более того, они могут оказаться принципиально неверными, что в истории науки случалось не раз. Почему же мы все-таки уверены, что теория термоядерного синтеза в центре Солнца верна?

Есть люди, отрицающие эту теорию. Мне знаком один человек, который утверждает, что термоядерный синтез в ядре Солнца невозможен, потому что водородное топливо в ядре звезды уже закончилось. А ближе к поверхности Солнца термоядерные реакции невозможны, поскольку там недостаточно высоки температуры и плотность... Насколько мне известно, сегодня есть последователи и у Н.А.Козырева, развивающие его идею преобразования времени в энергию в недрах звезд. Тем не менее альтернативные концепции в энциклопедиях и учебниках не упоминаются. Неужели дело в крайнем консерватизме официальной науки, не допускающей конкуренции и новых свежих идей?

Все дело в научном методе, который строится на нескольких базовых принципах (см. «Химию и жизнь», 2008, № 5). Используя его, мы можем проверить теорию на прочность. В частности, давайте зададимся вопросом, может ли концепция термоядерного синтеза в недрах Солнца подтверждаться какими-то предсказаниями, сделанными в рамках этой концепции, которые проверялись бы на практике? Если предсказания, основанные на проверяемой концепции, подтверждаются, мы получим мощный довод в пользу ее правильности.

Проверить на практике теорию ядерного синтеза крайне сложно. Дело в том, что реакции протекают в ядре Солнца, до которого нам не добраться. Эти реакции скрыты под гигантской толщей раскаленной плазмы. На первый взгляд невозможно точно сказать, что именно разогревает Солнце изнутри – ядерный синтез либо что-то иное (например, дьявол с печкой).

Но оказывается, способ проверки существует. Давайте вспомним о нейтринно. Эти частицы практически не взаимодействуют с веществом и способны пройти сквозь всю толщу Солнца или Земли, даже не заметив этого. Согласно теории ядерного синтеза, они должны извергаться мощным потоком из недр звезды. Более того, теория способна предсказать, сколько нейтрино производит Солнце. Несложные расчеты дают астрономическое число: при данной светимости Солнца, если теория термоядерного синтеза верна, в недрах Солнца должно производиться 10^{38} нейтрино в секунду! Эти частицы летят от Солнца во все стороны. Зная расстояние от Земли до Солнца, нетрудно вычислить, какая должна быть плотность потока нейтрино на нашей планете. Расчеты показывают, что на каждый квадратный сантиметр на Земле каждую секунду должны падать сто миллиардов нейтрино.

Это сильный вывод. Читатель, относящийся с доверием к теории ядерного синтеза, должен смириться с тем, что сквозь поверхность его тела каждую секунду проносятся сотни миллиардов солнечных нейтрино. Ни люди, ни нейтрино этого не замечают: эти частицы, согласно теории, могут пролететь сквозь Землю, не взаимодействуя на своем пути ни с одним атомом, из которых состоит наша планета.

Но тогда, скажет читатель, это принципиально непроверяемый тезис! Если нейтрино не взаимодействуют с веществом, то они не будут взаимодействовать и с нашими приборами, и мы не сможем доказать, существуют ли вообще эти частицы и действительно ли они летят в таком колоссальном количестве из недр Солнца. К счастью, это преждевременное утверждение, потому что нейтрино почти не взаимодействуют с веществом, но все-таки взаимодействуют. И та же теория подсказывает, что может произойти, если такое взаимодействие состоится.

Ловушки для нейтрино

Метод регистрации нейтрино впервые предложил в 1946 году академик Бруно Понтекорво, а сам метод был впервые реализован спустя 11 лет Раймондом Дэвисом в США. Оказывается, атомы хлора способны поглощать нейтрино, если эти невидимки обладают энергиями выше определенного уровня. При этом атомы хлора испускают электрон и превращаются в радиоактивные ядра изотопа аргона с периодом полураспада 35 дней.

Первый в истории хлор-аргоновый эксперимент Р. Дэвис поставил в штате Южная Дакота. В шахте на глубине 1455 метров был установлен резервуар с жидким перхлорэтиленом — веществом, богатым хлором. 615 тонн вещества были спрятаны так глубоко для того, чтобы защититься от космических частиц высоких энергий, которые могли бы вызвать эффекты такие же, как и ожидаемые от солнечных нейтрино. Почти полтора километра земной породы надежно защищали установку от проникновения любых частиц, кроме нейтрино. Нейтрино от Солнца должны были попадать в установку Дэвиса «снизу», пройдя сквозь всю Землю.

Чувствительность метода была абсолютно фантастической. Специально для этих экспериментов была введена единица SNU — Solar Neutrino Unit; 1 SNU соответствует потоку нейтрино, при котором в детекторе, содержащем 10^{36} ядер атомов хлора, образуется одно ядро изотопа аргона-37 за секунду. Были разработаны специальные и чрезвычайно сложные физико-химические методы извлечения ядер аргона.

Теория предсказывала, что с учетом конкретной массы вещества в хлорном детекторе и с учетом небольшого фона, все-таки создаваемого космическими лучами (частицами несолнечного происхождения), изредка должны регистрироваться реакции поглощения солнечных нейтрино хлором, соответствующие примерно 8 SNU. Тем не менее на практике детектор Дэвиса регистрировал втрое меньший поток — 2,55 SNU (одна солнечная частица за два-три дня). Таковы были итоги этого почти двадцатилетнего эксперимента.

Откуда взялось расхождение с теорией?

Итак, поток солнечных нейтрино был обнаружен. Это подтверждало теорию ядерного синтеза: другие способы производства нейтрино в недрах Солнца неизвестны. Однако расхождение с теорией вызывало подозрение: что-то неладно либо в методике, либо в теории. На этот случай у нас есть еще один важный принцип в науке — воспроизводимость результатов. Если эффект существует, он должен фиксироваться и на других установках.

Теория допускала взаимодействие потока нейтрино не только с атомами хлора. В.А.Кузьмин предложил новый эксперимент — на основе захвата нейтрино атомами галлия. В результате галлий должен превращаться в радиоактивный германий с периодом полураспада 11,4 суток. Согласно теории, для регистрации одного захвата нейтрино в сутки было достаточно существенно меньшей массы детектора — 20 тонн галлия.

Советский детектор, разработанный совместно с США, был запущен в 1990 году. Резервуар с 57 тоннами галлия был размещен в глубине горы на Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН в Баксанском ущелье на Северном Кавказе (эксперимент SAGE). В 1991 году в Гран-Сассо в Итальянских Альпах был дан старт второму проекту со схожей методикой (итало-немецкий эксперимент GALLEX, 30 тонн галлия). Предварительные результаты оказались следующими: SAGE — 73 SNU, GALLEX — 79 SNU. Но теория предсказывала 122—132 SNU!

Исследования продолжались. В шахте Камиока (Японские Альпы) на глубине 1000 метров был размещен водный детектор Камиоканде II. На этот раз идея эксперимента сводилась к использованию 680 тонн воды в качестве рабочего вещества. Согласно теории, нейтрино иногда должны взаимодействовать

с электронами атомов в молекулах воды. В результате рассеяния отдельных частиц в недрах детектора в полной темноте должны возникать вспышки света так называемого черенковского излучения. В стенках резервуара были размещены чувствительные фотоумножители. Первые измерения показали: схема работает, нейтрино фиксируются, но их поток оказывается вдвое меньше, чем предсказывала теория.

Конечно, разные установки фиксировали немного разные нейтрино — частицы с различными энергиями. Конечно, всегда оставалось сомнение, насколько корректно обработаны данные, насколько правильно работает установка, насколько учтены все инструментальные эффекты — эксперимент был немыслимо сложным. Методика совершенствовалась, расхождения постепенно уменьшались, но оставались значимыми.

Исследователи постепенно склонялись к мысли, что дело не в погрешностях теории ядерного синтеза на Солнце, а в пробелах в наших представлениях о том, что такое сами нейтрино. И действительно, низкая способность нейтрино к взаимодействию с веществом осложняла, усложняла и будет усложнять их исследование. Некоторые основные свойства нейтрино были вообще неизвестны. Поначалу полагали, что нейтрино не обладает массой и похож на фотон. Постепенно накапливались основания для подозрений, что масса у нейтрино все-таки есть, правда, очень маленькая, меньше, чем у электрона. Но тогда теория допускала, что могут существовать нейтрино нескольких «сортов».

Более того, в соответствии с теорией представлялись возможными превращения нейтрино одного сорта в нейтрино других сортов (так называемые осцилляции нейтрино). Эту идею впервые высказал в 1968 году все тот же Б.Понтекорво. Один из сортов частиц (так называемые стерильные нейтрино, правополяризованные) вообще не должен взаимодействовать с веществом. Если предположить, что в процессе движения от центра Солнца до земного детектора часть нейтрино претерпевают осцилляции (превращения, например, в стерильные), то вполне естественно, что количество регистрируемых частиц должно уменьшаться.

Позднее теоретические исследования показали, что если осцилляции нейтрино действительно существуют, то они должны усиливаться при прохождении сквозь вещество (эффект Михеева — Смирнова — Вольфенштейна). Причем если в потоке появятся так называемые мю-нейтрино и тау-нейтрино, которые взаимодействуют с веществом слабее, чем рассматривавшиеся ранее в расчетах электронные нейтрино, — число регистрируемых частиц также уменьшится.

Контрольный эксперимент

Нужен был контрольный эксперимент. Открытие было сделано в первом году нового, третьего тысячелетия. Канадская нейтринная обсерватория Садбюри (SNO) поставила точку в долгом споре о проблеме солнечных нейтрино.

Установка SNO — это гигантский резервуар, содержащий 1000 тонн сверхчистой тяжелой воды (D_2O). В установке работают 9456 фотоумножителей, которые фиксируют черенковское излучение от взаимодействия энергичных нейтрино с атомами дейтерия. При этом впервые можно было разделить следствия от взаимодействия с различными сортами нейтрино.

Теория предсказывает три возможных типа реакций. В первом участвуют только электронные нейтрино, во втором — нейтрино всех сортов, в третьем — также нейтрино всех сортов, но здесь поток уменьшен в 6,5 раза из-за другого механизма реакции. При этом третья реакция фиксируется одновременно в установках Садбюри и СуперКамиоканде.

Авторы статьи, опубликованной в 2001 году (число ее авторов приближается к 200), показали, что результаты наблюдений можно рассматривать как сильное подтверждение реальности осцилляций солнечных электронных нейтрино в другие сорта (тау и мю). Осцилляции электронных нейтрино в стерильные также



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

не исключены, но уже ясно, что доля электронных нейтрино, осциллирующих в стерильное состояние, не превышает 30%.

Впереди еще много работы, связанной с уточнением поведения нейтрино, изучением свойств этих во многом еще загадочных частиц. Много надежд возлагается на уникальный современный проект IceCube — ледяной куб на Южном полюсе. Проект реализуют специалисты из США совместно с коллегами из Бельгии, Германии, Швеции и Японии. Здесь в качестве рабочего вещества используется лед. С помощью бурильной установки в ледяном щите Антарктиды обычным кипятком проплавливают глубокие каналы, в которые опускают оптические датчики, способные регистрировать вспышки в ледяной толще при столкновении нейтрино с молекулами воды. Затем каналы заливают водой, быстро замерзающей на холоде, и датчики вмораживают в лед. Общие размеры ледяного детектора впечатляют — кубический километр.

Новый детектор рассчитан на исследование высокоэнергетических нейтрино, порождаемых термоядерными реакциями значительно большей мощности, чем в недрах Солнца: во время взрывов сверхновых, столкновений галактик, черных дыр и нейтронных звезд. Есть надежда, что новый проект позволит получить новую информацию о сущности нейтрино.

Итак, хотя в физике нейтрино остается еще много неясного, уже сейчас можно уверенно сказать, что проблема солнечных нейтрино успешно решена. Становится понятным, чем обусловлено расхождение между теоретическими расчетами и результатами наблюдений. Теорию, как всегда в таких случаях, пришлось усовершенствовать. Но теорию нейтрино, а не теорию термоядерного синтеза в недрах звезд. В 2002 году создатель первого хлор-аргонового нейтринного детектора Р.Дэвис и один из создателей водного детектора СуперКамиоканде М.Кошиба были удостоены Нобелевской премии по физике за решение проблемы солнечных нейтрино.

Авторы альтернативных теорий, спекулировавшие на нейтринной проблеме и пытавшиеся ссылками на нее отвергать солнечный термояд как таковой, лишились главного довода. Теория наконец соответствует наблюдениям. Впрочем, если говорить честно, у большинства астрофизиков никогда не было сомнений в правильности основных положений термоядерной теории солнечной энергии. Дело в том, что практика — критерий истины, а термоядерная реакция уже более полувека назад была экспериментально осуществлена на Земле во время испытания водородных бомб. Сам факт изготовления термоядерного оружия, история его испытаний, показавших, что создатели водородной бомбы разработали правильную теорию (мощность взрывов соответствовала расчетам), — весомый довод в пользу того, что теория верна.

Подробности и детали солнечного термояда еще могут и будут уточняться, но основная идея может считаться надежно и навсегда подтвержденной. Проблема источника энергии Солнца, а заодно и большинства других звезд наконец решена.

Узнать все о Солнце и его исследованиях вы сможете из книги С.А.Язева "Родная звезда", которую выпустило Издательство СО РАН (Новосибирск) в 2009 году (psb@ad-sbras.nsc.ru).

Интернет-магазин издательства <http://www.sibran.ru>



Арман Мари Леруа
Мутанты
М.: Corpus, 2010



Для того чтобы посмотреть, как развивается зародыш, Клеопатра приказывала вспарывать животы беременным рабыням. Сегодня мы знаем несравненно больше, чем во времена жестокой египтянки, о механизмах, которые заставляют одну-единственную клетку превращаться в эмбрион, в ребенка, а затем и во взрослого человека. Однако многие вопросы по-прежнему остаются без ответов. Один из основных способов, помогающих исследовать формирование человеческого тела, — проследить за возникающими в этом процессе сбоями, или, как говорят ученые, мутациями. Именно об этих «неполадках», приводящих к появлению сиамских близнецов, двухголовых ягнят и прочих мутантов, рассказывает в своей увлекательной и порой шокирующей книге британский биолог Арман Мари Леруа. Используя истории знаменитых «уродцев» в качестве отправной точки для своих рассуждений, автор подводит читателя к пониманию сложных законов, позволяющих человеческому телу на протяжении многих поколений сохранять относительную стабильность.

К.Г.Шахназаров, А.Э.Бородянский
Яды, или
Всемирная история отравлений
М.: Проспект, 2010



Речь пойдет об увлекательной истории мировых злодеяний и о перспективах применения опробованных столетиями средств современной России.

Для всех интересующихся историей, политикой и вопросами морали.

И.Чоркендорф,
Х.Наймантсведрайт
Современный катализ
и химическая кинетика
М.: Интеллект, 2010



Второе издание известной монографии охватывает широкий круг вопросов — от основ кинетики до переработки нефти и защиты окружающей среды. В частности, авторы рассказывают о современных методах изучения поверхностей и нанокатализаторов и формулируют требования, предъявляемые к современным катализаторам. Также они описывают методы экспериментального изучения поверхностных реакций и теорию течения реагирующих газов в пористых каталитических слоях. В монографии подробно рассмотрены основные технологические процессы, идущие при участии катализаторов, например принципы действия и роль катализаторов в различных топливных элементах, каталитическая нейтрализация выхлопных газов двигателей и отходящих газов электростанций. Для студентов и преподавателей химических и химико-технологических факультетов, исследователей и разработчиков.



КНИГИ

Г.Б.Сергеев
Нанохимия
М.: КДУ, 2009



Нанохимия получает частицы размером в несколько нанометров и изучает их физико-химические свойства. Они имеют ряд необычных свойств, в частности могут обладать высокой реакционной способностью в широком интервале температур. На примере различных элементов автор показывает, что исследования таких частиц открывают новые возможности синтеза веществ и наноматериалов с неизвестными свойствами. Специальные разделы посвящены углероду, криохимии атомов и наночастиц металлов, размерным эффектам в химии и перспективам нанохимии. Книга предназначена для научных работников и преподавателей, студентов и аспирантов, которые решили посвятить себя новой и перспективной науке XXI века.

Дж.Ола, А.Гепперт, С.Пракаш
Метанол и энергетика будущего.
Когда закончатся нефть и газ
М.: Бинум, 2009



Книга, написанная специалистами с мировым именем (в частности Джордж Ола — лауреат Нобелевской премии), посвящена проблеме поиска альтернативных источников энергии. Ведь запасы невозобновляемого углеводородного сырья неизбежно истощатся. В книге предложена оригинальная концепция «метанольной экономики», в которой метанол может быть не только энергоносителем, но и сырьем в синтезе технологически ценных продуктов. Рассмотрены методы получения метанола из углекислого газа — дешевого сырья, загрязняющего атмосферу. Авторы показывают преимущества «метанольной» энергетики по сравнению с «водородной», а также большое внимание уделяют экологической безопасности.

Для химиков-органиков, студентов и аспирантов вузов, а также читателей, интересующихся энергетикой будущего.

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

Банк данных антиоксидантов



Доктор химических наук

Я.И.Яшин,

кандидат химических наук

А.Я.Яшин

В создании банка данных также принимали участие

кандидат химических наук

Н.И.Черноусова, П.А.Федина

Многочисленные исследования, выполненные в разных странах за последние десятилетия, показывают, что одна из основных причин преждевременного старения и многих болезней — окислительный (оксидантный) стресс. Иными словами, избыточное содержание в биологических жидкостях кислородных свободных радикалов — супероксид-аниона, гидроксильного радикала, пергидроксильного радикала и др.

Свободные радикалы постоянно образуются и при нормальном метаболизме в клетках. По некоторым сведениям, 2% всего поглощенного кислорода превращается в свободные радикалы. Считается, что в небольших количествах активные формы кислорода необходимы нашему организму: они помогают уничтожить вредные бактерии, отмирающие клетки и т. д. Антиоксидантная система здорового человека обеспечивает нормальный и безопасный уровень свободных радикалов. Если же на организм воздействуют неблагоприятные факторы (ультрафиолетовое и радиационное облучение, загрязнение окружающей среды или некачественные пищевые продукты, стресс, болезни, некоторые сильнодействующие лекарства и лечебные процедуры, курение, алкоголизм и т.п.), то количество активных форм кислорода — свободных радикалов и пероксидов — может повышаться. Они начинают повреждать молекулы ДНК, белки, липиды, стенки сосудов, а это приводит к дезорганизации нормальных процессов в организме. В самых общих чертах схема выглядит так: неблагоприятные условия — окислительный стресс — окисление жизненно важных молекул — развитие болезней или преждевременное старение.

Особенно активно свободные радикалы взаимодействуют с липидами в мембране клеток, содержащими ненасыщенные связи, из-за чего изменяются свойства мембран. Самые агрессивные радикалы разрывают связи в молекуле ДНК и повреждают генетический аппарат клеток, а это может привести к онкологическим заболеваниям. Липопротеиды низкой плотности после окисления откладываются на стенках сосудов — в этом причина сердечно-сосудистых заболеваний. В настоящее время более ста болезней связывают с окислительным стрессом.

Для профилактики необходимо постоянно употреблять в пищу продукты, содержащие антиоксиданты, — тогда вредное действие свободных радикалов существенно уменьшится. Основные природные антиоксиданты — это флавоноиды, ароматические оксикислоты, витамины С и Е, каротиноиды и некоторые другие соединения (см. «Химию и жизнь», 2007, № 11).

По результатам исследований последних лет среди антиоксидантов лидируют биофлавоноиды. Они обладают антиканцерогенными, антисклеротическими, противовоспалительными и антиаллергическими свойствами, а по антиоксидантной активности в десятки раз превосходят альфа-токоферол (витамин Е), витамин С и бета-каротин. Растения синтезируют биофлавоноиды, чтобы защититься от окислительных процессов, и в ходе эволюции они сформировали оптимальные сочетания этих соединений. Поэтому особенно эффективно действуют не отдельные антиоксиданты, а природные наборы биофлавоноидов, содержащиеся в овощах, ягодах, фруктах, зернах, орехах и другие продуктах.

Антиоксиданты наряду с белками, жирами, углеводами, витаминами и микроэлементами сегодня считают неотъемлемой частью здорового питания, что подтвердили Всемирная организация здравоохранения, Национальный институт по изучению рака США, Институты питания США,

Великобритании, России, Институт биохимической физики РАН им.Н.М.Эмануэля и другие авторитетные организации. Доказательством полезности антиоксидантов может служить средиземноморская диета. Миллионы жителей Средиземноморья каждый день едят овощи и фрукты, морепродукты, оливковое масло, и пьют красное вино — в результате значительно реже страдают сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями (в некоторых странах их частота вдвое ниже среднемировой). На основании опубликованных результатов сотен разных исследований мы пришли к заключению, что в здоровом рационе должны присутствовать жирорастворимые антиоксиданты и водорастворимые, в том числе обязательно антоцианы (природные красители, содержащиеся в окрашенных ягодах, овощах, фруктах). Антоцианы — это отдельный класс водорастворимых флавоноидов, которые несут постоянный положительный заряд и благодаря этому лучше проникают в клетку.

Во многих странах разрабатывают программы функционального питания и пищи как лекарства. Постоянное превышение необходимой дозы антиоксидантов также нежелательно, поскольку некоторые из них при повышенных концентрациях становятся прооксидантами. Считается, что каждый день здоровые люди должны потреблять около 350 мг разных антиоксидантов, а больные, ослабленные и те, кто работает при повышенных нагрузках и в неблагоприятных условиях, — 1000—1300 мг («Рекомендуемые уровни потребления пищевых продуктов и биологически активных веществ». Утв. Г.Г.Онищенко, Москва, 2004, с. 24—27. Введены с 2004 года). В нормах Минздрава указано общее количество антиоксидантов, поскольку, увы, точное соотношение водорастворимых и жирорастворимых пока дать невозможно. Если вы хотите хотя бы приблизительно посчитать, сколько чего надо съесть и выпить, чтобы получить дневную норму, нужно знать, сколько антиоксидан-

ВЕСТИ ИЗ ЛАБОРАТОРИЙ

Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (ССА) в наиболее распространенных пищевых продуктах и напитках (стандарт — кверцетин)

№	Наименование	ССА	Разовая порция	ССА на порцию, мг
1	Зеленый чай	50-200 мг/г	2 г	100-400
2	Чай оолонг	30-150 мг/г	2 г	60-300
3	Черный чай	20-100 мг/г	2 г	40-200
4	Кофе	20-50 мг/г	3 г	60-150
5	Какао	1,4-25,7 мг/г	3 г	4-77
6	Красные вина	1,5-2,5 мг/мл	100 мл	150-250
7	Белые вина	0,3-0,5 мг/мл	100 мл	30-50
8	Бальзамы	0,4-3,0 мг/мл	10 мл	4-30
9	Коньяки	0,1-0,4 мг/мл	50 мл	5-20
10	Виски	0,1 мг/мл	50 мл	5-10
11	Пиво темное (премиум, Очаково)	0,7 мг/мл	200-500 мл	140-350
12	Пиво светлое	0,3 мг/мл	200-500 мл	60-150
13	Квас (Очаково)	0,1-0,2 мг/мл	200 мл	20-40
14	Мед	0,1-0,3 мг/г	20 г	2-6
15	Ягоды (черная смородина, клюква, брусника, вишня и др.)	1-7 мг/г	100 г	100-700
16	Фрукты (яблоки, апельсины, груши и др.)	1-3 мг/г	100 г	100-300
17	Овощи (свекла, перец, томаты и др.)	0,2-2 мг/г	100 г	20-200
18	Поливитамины (Алфавит, Витрум, Поливит)	10-40 мг/г	1 таблетка (500 мг)	5-20
19	Проросшие зерна (пшеница, рожь, овес, гречиха)	2,7-3,2 мг/г	50 г	135-160
20	Картофель	0,1-0,7 мг/г	100 г	10-70
21	Хлеб белый	0,23 мг/г	100-200 г	23-46
22	Мука ржаная	0,29 мг/г	100 г	29
23	Крупа гречневая ядрица	1,55 мг/г	100 г	155
24	Хлопья гречневые	0,63 мг/г	100 г	63
25	Специи, приправы	0,3-51 мг/г	2 г	0,6-102
26	Зелень	0,1-1,1 мг/г	50 г	5-55

Суммарное содержание жирорастворимых антиоксидантов (ССЖА) в наиболее распространенных пищевых продуктах (стандарт — галловая кислота)

№	Наименование	ССЖА	Разовая порция, г	ССЖА на порцию, мг
1	Рыба и рыбопродукты	6-88 мг/100г	100	6-88
2	Мясо и мясные продукты	10-54 мг/100г	100	10-54
3	Молоко	13-26 мг/100 г	200	26-52
4	Творог	7-54мг/100г	100	7-54
5	Сыр	10-117 мг/100 г	20	2-23
6	Масло сливочное	15-17 мг/100 г	10	1,5-1,7
7	Прочие молочные продукты	5-66 мг/100г	100	5-66
8	Какао	6-522 мг/100 г	3	0,18-15,7
9	Шоколад	34-135 мг/100 г	20	6,8-27
10	Орехи, семечки	36-99 мг/100 г	25	9-25
11	Растительные масла (подсолнечное, кукурузное, оливковое, пальмовое и др.)	0,1-0,8 мг/г	25-50	2,5-40

1. Разброс значений внутри одного вида продуктов или напитков зависит от сорта и производителя.
2. Разовая порция – это среднее количество продукта или напитка, которое обычно употребляет человек за один раз.
3. Эти данные получены в НТЦ «Хроматография» (НПО «Химавтоматика») в рамках работы по созданию Банка данных содержания антиоксидантов в пищевых продуктах, напитках, БАДах, экстрактах лекарственных трав по заданию правительства Москвы.

тов содержится в каждом продукте, напитке, БАД, витаминах, экстрактах лекарственных трав — то есть во всем, что мы едим и пьем каждый день.

Эта работа была проведена за два года у нас в ОАО НПО «Химавтоматика». Она будет закончена в конце мар-

та этого года. Исследовано более тысячи пищевых продуктов, напитков и БАД, причем большинство определенных выполнено впервые. Все это многообразие разделили на группы: овощи, фрукты, ягоды, соки, орехи, корнеплоды, специи, зерна, семена, ра-



ВЕСТИ ИЗ ЛАБОРАТОРИЙ

стителные масла, рыбные продукты, мед, чай, кофе, вино, пиво, коньяк и многие другие. Аналогичный банк данных создается сейчас в США, подобные же работы проводят во Франции, Японии и других странах.

Доступ к Банку данных получают в первую очередь врачи, биохимики, диетологи и другие специалисты. Используя эти сведения, врачи смогут назначать специальную антиоксидантную диету разным больным, в том числе онкологическим пациентам до и после операции, во время и после химиотерапии и облучения. Производителей пищевой продукции она должна стимулировать к созданию новых продуктов на научной основе, ее должны учитывать спортсмены перед соревнованиями и после них, а также люди, которые работают в тяжелых и вредных условиях, подвергаются частым стрессам, перегрузкам и т. д. В идеале этой информацией должны пользоваться все люди, заботящиеся о своем здоровье.

Профилактическая медицина, о которой так много сейчас говорят, должна была бы наряду с другими исследованиями, регулярно определять уровень окислительного стресса — о нем можно судить по специальным маркерам в биологических жидкостях. И убирать его, пока он не вызвал серьезное заболевание. Спланировать антиоксидантную терапию как раз и поможет Банк данных антиоксидантов.

Чтобы перейти от слов к делу, проводим таблицы с суммарным содержанием антиоксидантов в самых распространенных пищевых продуктах и напитках. Это выборка из огромного массива Банка данных, полученного за два года.





«ЦветЯуза-01-АА»

автоматизированный прибор
для экспресс-определения
антиоксидантов



Сертификат об утверждении типа средств измерений № 21449 от 31 августа 2005 года.

Зарегистрирован в Госреестре под номером 20706-05

Прибор получил Регистрационное удостоверение № ФСР 2009/06380 как изделие медицинского назначения (изделие медицинской техники).

Методики выполнения измерения аттестованы:

— для водорастворимых проб
(свидетельство № 31-07 от 4 мая 2007 года).

— для жирорастворимых проб
(свидетельство № 120-08 от 25 ноября 2008 года).

Причина многих опасных заболеваний — окислительный стресс (избыточное содержание свободных радикалов). Их вредное воздействие можно уменьшить за счет регулярного потребления продуктов и напитков, обладающих высокой антиоксидантной активностью.

Однако до недавнего времени не было данных о содержании антиоксидантов в пищевых продуктах. С помощью прибора «ЦветЯуза-01-АА» было измерено суммарное содержание антиоксидантов в пищевых продуктах, напитках, БАД и на основе этих результатов впервые создан **БАНК ДАННЫХ**.

Сегодня с помощью прибора «ЦветЯуза-01-АА» в некоторых медицинских учреждениях можно быстро оценить состояние здоровья человека, определив его антиоксидантный статус, а если он понижен, назначить профилактическое лечение антиоксидантами и контролировать его ход.

Прибор «ЦветЯуза-01-АА» можно использовать для экспресс-оценки качества и подлинности винно-водочных изделий, меда, чая, кофе, растительных масел и пр. Оценка происходит по суммарному содержанию антиоксидантов в этих продуктах.

Получено хорошее соответствие между амперометрическим методом определения суммарного содержания антиоксидантов, используемым в приборе «ЦветЯуза-01-АА», и методом ORAC, принятым для определения антиоксидантной активности в США и других странах.

Метод и прибор были высоко оценены на международных конференциях «Pittcon-2006» (США) и на IV Международной конференции по полифенолам (Мальта, ноябрь 2007 года).

Прибор награжден дипломом победителя конкурса IV международной выставки «AnalyticaExpo-2006» в номинации «Новая технология и разработка», дипломом I степени и золотой медалью международной выставки «Химия-2005», а также имеет награды конкурса «Национальная экологическая премия» за 2006 год фонда имени В.И.Вернадского.

Научно-технический центр «Хроматография»

тел. (499) 181-53-27, 181-14-02
факс: (499) 181-14-02
e-mail: yashinchrom@mail.ru

Олива, она же маслина

Что такое маслина? Маслина европейская, она же оливковое дерево (*Olea europaea* L.), принадлежит к семейству маслиновых (Oleaceae). Живут деревья лет 300—400, а плодоносить начинают с 10—12 лет.

Маслинами также называют черные плоды оливкового дерева. По ботанической классификации маслина — костянка (одна косточка с мясистым околоплодником). Незрелые плоды желтовато-зеленые, а спелые бывают разных цветов — почти черные, темно-синие или темно-фиолетовые. В других языках специального слова для обозначения черных оливок нет.

Все ли черные оливки спелые? Большинство россиян имеет дело с оливками из консервной банки. Они бывают зеленые и черные, но степень зрелости, а точнее, незрелости у них одинаковая: и те, и другие собраны в октябре, когда оливки уже достигают максимального размера, но еще очень горькие. Чтобы избавиться от горечи, плоды приходится месяцами вымачивать в рассоле, однако производители научились ускорять процесс, обрабатывая оливки щелочью. После обработки плоды хорошо промывают и засаливают; щелочи в них не остается, равно как и соответствующей надписи на консервной банке.

А если через щелочной раствор еще и кислород пропустить, оливки на глазах чернеют. Так получается продукт, который в России называют «маслины», а в остальных странах — черные окисленные кислородом оливки (Black oxidized olives). Они быстро бледнеют, поэтому в рассол добавляют фиксатор черной окраски глюконат железа. Эта соль обычно заявлена в составе продукта и обличает окисленные оливки. Вреда от них нет, но и пользы не очень много. Зато октябрьские оливки твердые, их можно смело стряхивать с дерева и сгребать лопатой — это дешевый экспортный продукт.

Жители Средиземноморья «черных окисленных» вообще не признают, предпочитая зрелые плоды ручного декабрьского сбора. К этому времени в них остается лишь легкая горечь, которую удаляют, вымачивая оливки в рассоле с добавлением красного винного уксуса. Оливки получаются мягкими и тают во рту.

Плоды, не снятые с дерева в декабре, вянут на ветках, и горечь исчезает естественным путем. Вяленые на солнце январские оливки в Средиземноморье очень ценят. После сбора их сохраняют в крупной морской соли с небольшим количеством оливкового масла.

А чтобы было еще вкуснее, люди вывели специальные столовые сорта оливок. Они отличаются сочной, нежной мякотью, и косточка у них легко отделяется.

Что такое оливки блондин? В ноябре оливки еще не спелые, но уже не такие твердые и горькие, как в октябре. На этой стадии созревания их вне зависимости от сорта называют блондин, белокурые или золотые оливки. (На самом деле их окраска варьирует от розовой до коричневой.) Чтобы удалить горечь из золотых оливок, их вымачивают в воде с красным винным уксусом и хранят в рассоле.

Чем полезны оливки? В плодах оливкового дерева много белка и клетчатки, поэтому они питательны и стимулируют работу кишечника. Оливки богаты витаминами С, Е, Р и витаминами группы В, а также калием, фосфором и железом. Содержат они и полифенолы, которые препятствуют образованию тромбов в сосудах. Специалисты утверждают, что в оливках есть практически все необходимые человеку витамины и микроэлементы. Все это, естественно, относится к натуральным оливкам, не прошедшим обработку щелочью.

Но главная ценность плодов — масло, составляющее до 80% сырой мякоти оливок. Оно содержит практически все полезные вещества, которыми богаты оливки.

Что такое прованское масло? Чем лучше оливки и чем бережнее из них выжимают масло, тем оно ценнее. Самое лучше (и дорогое) называется «сверхдевичье» или «сверхнатуральное» — на бутылке с ним написано *extra virgin olive oil*, а в России оно получило название «прованского». Его выжимают самым мягким прессованием (из 5 кг оливок получается всего один литр) и при температуре не выше 27°C. Никаких добавок и консервантов прованское масло не содержит.



Прованское масло густое, темное и горьковатое. Его можно нагревать до 208°C — при более высокой температуре оно начинает дымиться, поэтому им только салаты заправляют, а для жарки не используют. Впрочем, для неспециалистов прованское и оливковое масло — синонимы.

Что такое кислотность масла? Один из показателей качества масла — его кислотность, то есть содержание в нем свободных жирных кислот. В хорошем масле жирные кислоты присутствуют в составе триглицеридов, а когда масло портится, кислоты от глицерина «отрываются». Кислотность масла измеряют в весовых процентах. У прованского масла она не выше 1%, то есть в 100 г продукта может быть не больше 1 г свободных жирных кислот, или 0,8 г олеиновой кислоты — основного компонента оливкового масла.

Зачем оливковое масло рафинируют? Качество масла зависит от многих факторов. Если оливки, например, оказались не надлежащего качества или на них поднажали сильнее, оливковое масло уже не extra virgin. Оно вполне подходит для заправки салатов, но изысканного вкуса прованского масла лишено. Когда содержание свободной олеиновой кислоты в нем превышает 3,3 г, масло надо рафинировать, то есть очищать химически.

Вкус у рафинированного масла уже не тот, да и содержание полезных веществ тоже. При очистке масло теряет фосфолипиды, часть витамина Е и каротиноидов. Зато олеиновой кислоты в нем мало, до 0,3 г, оно не мутнеет, не образует осадка и хранится дольше. Кроме того, на рафинированном оливковом масле можно жарить и даже использовать его во фритюрнице — при многократном нагреве оно не образует канцерогенных веществ. Производители называют такое масло Light — очевидно, из-за его нейтрального вкуса и прозрачности.

Есть еще масло pure olive oil, или olive oil, — смесь рафинированного масла и 5—15% высококачественного масла холодного отжима. Получается относительно недорогой продукт с легким оливковым вкусом, на котором можно жарить.

Что такое деревянное масло? Деревянное масло выжимают из оливкового жмыха и косточек, причем при высокой температуре. Оно дешевое, но вкуса и пользы в нем уже нет. По некоторым данным, его небезопасно употреблять в пищу, поскольку масло горячего отжима может содержать канцерогенные вещества. Поэтому деревянное масло идет на технические нужды: его используют для производства мыла, заправляют им масляные лампы и лампы. Горит оно хорошо, почти без копоти.

Так в чем же польза оливкового масла? Оливковое масло содержит стеролы, которые блокируют поглощение пищевого холестерина в кишечнике, и антиоксиданты: каротин, витамин А и токоферолы. Антиоксиданты и витамин Е противодействуют старению организма. Олеиновая кислота, преобладающая в составе оливкового масла, препятствует развитию рака груди. Стоит также упомянуть терпены, которые способствуют секреции желчных кислот, и фосфолипиды — главные компоненты клеточных мембран.

В оливковом масле присутствует олеокантал — вещество довольно сложной структуры. Это эфир тирозола, природного фенольного антиоксиданта. В последнее время олеокантал привлекает внимание медиков, которые открывают у него чудодейственные свойства. Например, это болеутоляющее, которое действует не хуже ибупрофена. Правда, 50 грамм масла содержат приблизительно 10% эквивалента «взрослой» дозы ибупрофена, то есть для достижения болеутоляющего эффекта пациент должен проглотить полкило масла. Кроме того, олеокантал обладает противовоспалительным и антиоксидантным действием. Об остальных его свойствах говорить пока не будем — дождем подтверждения от ученых.

Оливковое масло увеличивает чувствительность клеток к инсулину и потому служит эффективным средством предупреждения диабета второго типа, снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний и ожирения.

Кстати, насчет ожирения. Оливковое масло, как и любое другое, очень калорийно (900 ккал/100гр), поэтому его не пьют стаканами, а просто заменяют им часть других жиров.

Как лучше хранить оливковое масло? Хранят оливковое масло в прохладном темном месте, так оно простоит два-три года. Но открытую бутылку надо использовать в течение одного-двух месяцев, иначе масло прогоркнет. Иногда масло в холодильнике мутнеет или в нем появляется осадок. В этом случае бутылку выставляют в тепло или держат под струей теплой воды. Масло снова становится прозрачным, а нагревание не влияет на его вкус.

Для чего нам оливковая ветвь? Незрелые оливки содержат горький гликозид олеуропеин, от которого люди всеми силами стараются избавиться. Между тем это ценнейшее вещество, которое обладает антимикробной, антивирусной, антигрибковой и даже антипаразитарной активностью. К счастью, олеуропеином напоены листья оливкового дерева. Еще в древности их использовали для лечения лихорадок и гнойных ран и даже для мумификации покойников. Отвар или настой из оливкового листа хорош при респираторных инфекциях и сниженном иммунитете, при высокой температуре и приступах гликемии у больных сахарным диабетом. Для профилактики грибка специалисты рекомендуют местный согревающий влажный компресс из оливковых листьев.

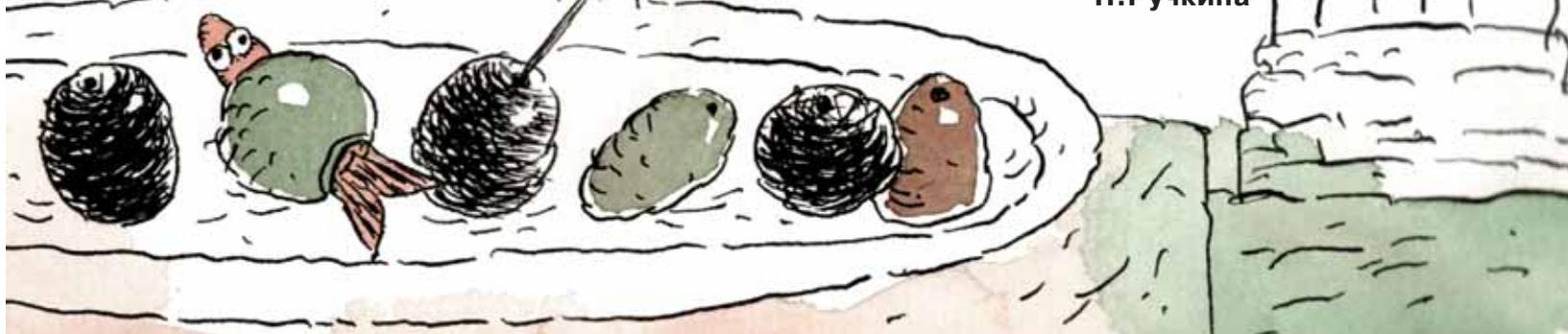
Помимо олеуропеина, оливковый лист содержит витамин С и биофлавоноиды рутин, лютеолин и гесперидин. Эти вещества благотворно действуют на сосуды. Для профилактики гипертонии тоже надо пить отвар: 20 сухих или свежих оливковых листьев кипятить в 300 мл воды в течение 15 минут, процедить и выпить в горячем виде одну чашку утром натощак и одну чашку — на ночь.

Так что оливковая ветвь может служить не только символом мира, но и эмблемой медицины.

ЧТО МЫ ЕДИМ

Художник Е. Станикова

Н. Ручкина





Путь в глубины вещества

В аннотации эта книга представлена как научно-популярное издание, но из текста становится понятно, что создана она была как учебник. Очевидно, издатели взяли макет учебника, отбросили вводную главу и все, как есть, напечатали, не внося никаких корректив. Поэтому мы не знаем, что означают звездочки, отмечающие некоторые из глав. В тексте есть также ссылки на предшествующий курс «Окружающий мир» и ранее изданную (и, вероятно, изученную) книгу «В просторы космоса». К каждой главе даны вопросы и упражнения. Все это свидетельствует об учебном назначении книги. Не понятно, правда, для какого возраста предназначен курс и какое место он занимает в системе других естественно-научных курсов. Но для читателя это и не важно. А важно то, каким путем ведет его автор «в глубины вещества».

Лев Васильевич Тарасов замахнулся на грандиозную задачу – показать неподготовленному читателю (вероятно, школьнику младшего возраста, не изучавшему физику и химию), как устроено вещество и, главное, как устроена и функционирует клетка живого организма. Начинает он, как водится, с древних греков и «четырех стихий», затем Тит Лукреций Кар и его поэма «О природе вещей», а там и периодическая система химических элементов. Вроде бы все как в других учебниках и научно-популярных книгах. Так, да не совсем!

Во-первых, Л.В.Тарасов не забывает, что обращается к читателю, не сведущему в физике и химии, а поэтому растолковывает все простыми словами и фразами, не вводя до поры новых терминов. Так, химические элементы он именуется, как и древние греки, первоначалами. Как-зальсь бы, отчего не дать современное название? Обычно так и делают. Но тогда потеряется преемственность в рассуждениях античных философов и взглядах современной науки, а для автора она важна. Во-вторых, поэма Тита Лукреция Кара в книге не просто упоминается, а широко цитируется. Читатель сам может проследить ход размышлений античного автора и приводимые им доказатель-

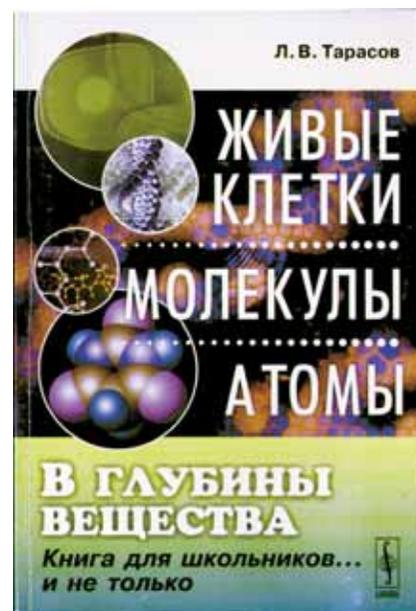
ства дискретности материи. В-третьих, и это главное, рассказ Л.В.Тарасова – не плавно журчащее изложение фактов из истории науки. Автор постоянно будоражит мысль читателя вопросами, требующими дальнейшего продвижения по пути, проделанному научной мыслью: «Возможно, у тебя возникли два серьезных вопроса ... Возможно, однако, что эти вопросы у тебя пока не возникали. Тогда было бы неплохо тебе задуматься над ними теперь. Это очень важные вопросы. Мы их подробно обсудим в следующей теме». Заодно становится понятно, что к своему читателю автор относится с большим уважением.

Л.В.Тарасов не выдает читателю готовый продукт в подарочной упаковке, а побуждает его участвовать в поиске. Он хочет, чтобы ученик – ведь мы держим в руках учебник! – не просто узнал и запомнил, а проникся смыслом и понял. Тогда и запоминание будет эффективным. Кстати, автор, судя по всему, хорошо знает, как облегчить запоминание. В теме «Клетка – элементарная живая система» есть глава «Волшебное представление: что там внутри клетки и зачем?». В этой главе сказочные персонажи на сцене оживляют (превращают в человеческие существа) органеллы клетки, и те рассказывают о себе. Похоже на сценарий для школьного биологического вечера. А может быть, это и есть сценарий. Можно подумать: что за дурацкая идея – изображать рибосому в виде старушки с вязаньем, а ядро – в виде начальника? А на самом деле это прием опосредствованного запоминания. Связь между хорошо знакомым зрительным образом старушки и непонятным термином «рибосома» будит в сознании цепочку ассоциаций, и вот уже ученик вспомнил функции рибосомы. А отличие законов микромира от законов макромира Л.В.Тарасов сравнивает с похожими природными закономерностями: «Оказываются, законы природы в мире больших объектов и в мире малых различны. Крупные живые существа и малые характеризуются разными способностями и разным поведением. Мышь безболезненно прыгнет с высоты, равной десяти ее ростам, а человек, свалившись с высоты десяти своих ростов, разобьется». К сожалению, в последней теме «Как человек исследует материю» автор сбивается на скороговорку, пытаясь чуть ли не весь оставшийся курс химии и отчасти физики изложить на нескольких страницах, и эта тема вряд ли бывает понятна младшим школьникам.

Л.В.Тарасов.

В глубины вещества:
Живые клетки, молекулы, атомы.
Москва,
Издательство ЛКИ, 2008

Еще одно достоинство книги, которое рада отметить: в отличие от большинства научно-популярных изданий, в книге Л.В.Тарасова четко разграничиваются понятия «химический элемент» и «простое вещество», и автор специально уделяет этому разграничению немалое время и место в своей книге, за что ему спасибо. Но есть и кое-какие недочеты, заметные химику. Например, железная окалина отождествляется с ржавчиной, в то время как ржавчина – не оксид, а гидроксид железа. Процесс коррозии меди представлен как взаимодействие с водой и углекислым газом, а кислород как участник процесса не назван. В классификации простых веществ металлам противопоставлены полупроводники, хотя эти классы выделяются по разным признакам: полупроводники, проводники и диэлектрики подразделяются по электропроводности, а металлы и неметаллы – по совокупности физических и химических свойств. Разумеется, любая классификация условна, но смешивать классы веществ, выделенные по разным основаниям, не стоит. Еще один непростой момент – накопление энергии в молекулах АТФ – не получил внятного объяснения, как и в большинстве научно-популярных и даже части учебных пособий по биологии для школы. Фраза: «При разрушении молекулы энергия высвобождается и продолжает свои превращения», – может быть истолкована как утверждение о возможности выделения энергии при разрыве химической связи, поскольку в ней не сказано, что выделяется энергия не в результате разрыва макроэргических связей, а в результате образования взамен более прочных связей в продуктах реакции. Разрыв связей всегда требует затрат энергии, хотя бы и небольших. Связь, при образовании которой энергия поглощается, а при разрыве соответственно выделяется, не может образоваться – это противоречит законам природы.



Все это и кое-что еще можно было исправить, если бы с текстом поработал научный редактор. Да есть и просто опечатки: «шеллак» вместо «шеллак», «Н₂» вместо «Н₂O», «металлы» вместо «минералы». Даже понятно, как такие опечатки могли получиться. Не понятно, почему они не были замечены на этапе подготовки книги к печати.

Есть нарекания и к оформлению. Иллюстрации к научно-популярному тексту делать сложно. Но в книге для детей нельзя без картинок! Однако однообразные силуэты воздевающих руки к небу подростков, мелькающие почти на каждой странице, раздражают. К тому же одеты эти подростки по моде прошлого века. А на картинке, изображающей домашний «мир электричества», вообще изображена квартира в стиле 60-х годов: модели телевизора и электрического чайника, торшер, вазочка с веточками и эстамп с березками не позволяют в этом усомниться. И еще одно.

Хотелось бы, чтобы эта хорошая книга была переиздана с достойными иллюстрациями. В ситуации, когда рынок научно-популярной литературы заполнен дурно переведенными книгами зарубежных авторов, это особенно важно. Книга будет полезной школьникам, которые хотят понять то, что не может объяснить учебник. Впрочем, и взрослые, которые хотят освежить в памяти свои знания из химии

Десять экспериментов

и биологии, разочарованы не будут. Нынче в моде рейтинги: «Десять самых богатых людей», «Десять самых красивых женщин», «Сто чудес света» ... Американский журнал «Мир физики» провел опрос читателей и создал рейтинг десяти лучших, то есть самых красивых, экс-



периментов из области физики. Известный в Америке популяризатор наук Джордж Джонсон пошел по стопам журнала и создал свой список. Критерии отбора он определил так: «Я хочу найти те редкие случаи, когда, используя подручный материал, любопытствующая душа умудряется задать вопрос Вселенной и не успокаивается, пока не получит ответа. В идеале даже сами приборы, с помощью которых ищется этот ответ, должны отличаться красотой – полированное дерево, бронза, сияющий черный эбонит. Но еще большее значение имеет красота схемы эксперимента и его исполнения, чистота линий человеческой мысли».

Начать Джонсон решил с опытов Галилея, а закончить опытами Миллиkena. При этом автор не исключает, что кто-то из читателей не согласится с предложенным списком и составит свой.

А список Джонсона следующий: 1) Галилео Галилей, изучение движения шарика по наклонной плоскости; 2) Уильям Гарвей, изучение кровообращения и роли сердца в нем; 3) Исаак Ньютон, оптические опыты; 4) Антуан Лоран Лавуазье, опыт по окислению ртути на воздухе и разложению полученного оксида ртути; 5) Луиджи Гальвани, опыты по сокращению мышц лягушачьей лапки; 6) Майкл Фарадей, опыты по вращению плоскости поляризации света в магнитном поле; 7) Джеймс Джоуль, эксперимент по установлению взаимосвязи между работой и теплотой; 8) Альберт Абрахам Майкельсон, попытка измерения скорости движения Земли относительно мирового эфира; 9) Иван Петрович Павлов, опыты по изучению условного рефлекса у собак; 10) Роберт Милликен, измерение заряда электрона.

Книга невелика по объему и не претендует на подробное жизнеописание ученых. В центре изложения находится самый красивый эксперимент, а также и ряд других экспериментов, по мнению Джонсона не таких «красивых», но важных для развития научной мысли. Конечно, не обходится и без биографических фактов. Некоторые весьма любопытны.

Оказывается, Роберт Гук опасался кражи интеллектуальной собственности и опубликовал результаты своего исследования упругости в виде латинской анаграммы «ceiiniossstuv», что означает «*Ut tensio sic vis*» — «Каково растяжение, такова и сила». Позднее этот борец за научный приоритет обвинял Ньютона в плагиате своих трудов. Интересно также, что Ньютон проводил оптические опыты не только с линзами, но и с собственным глазным яблоком: нажимал палочкой «между глазом и костью, ближе к бо-

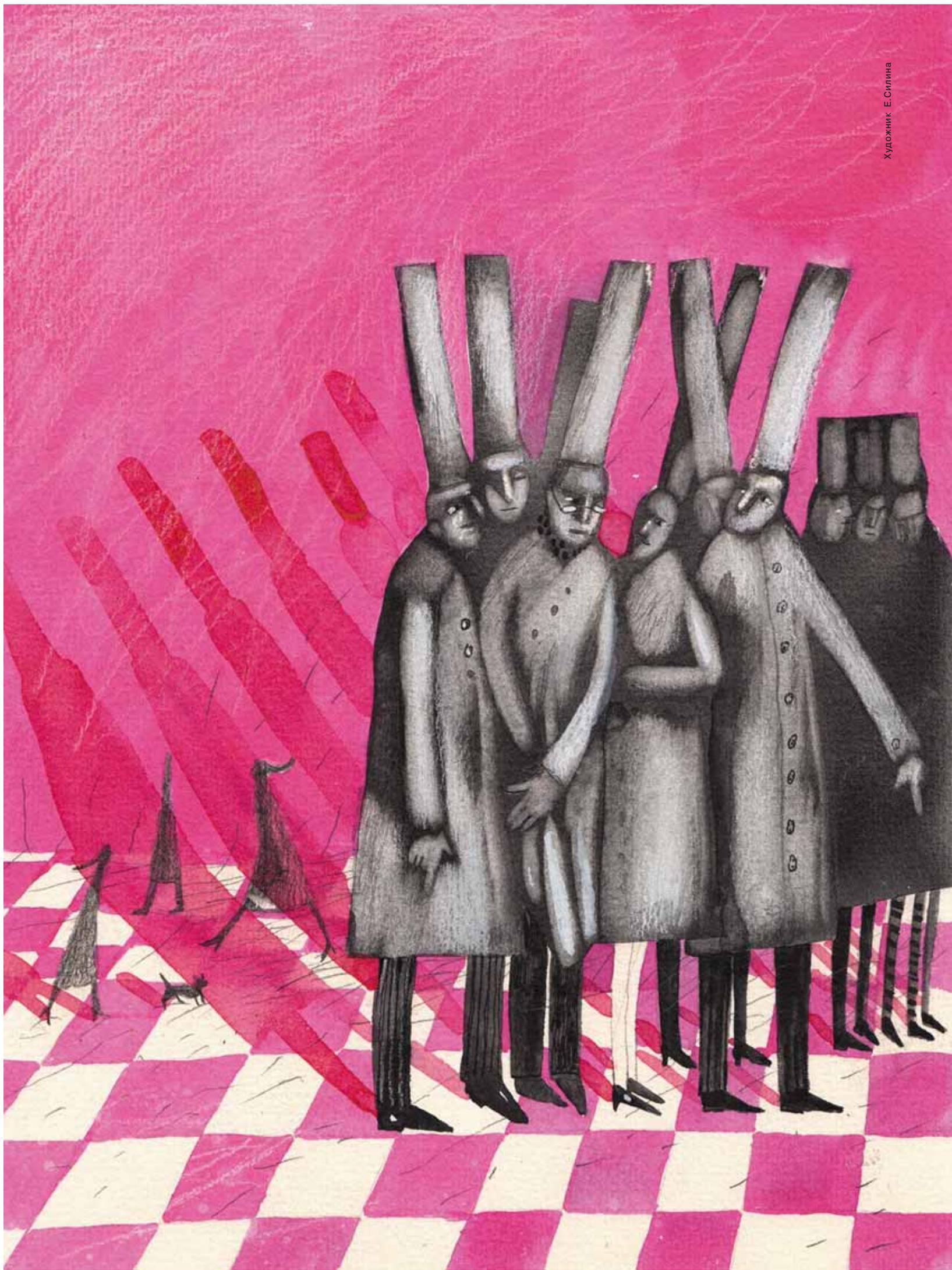
вой части глаза» (бр-р-р!) и наблюдал возникновение перед глазами разноцветных кругов, меняющих цвет в зависимости от условий эксперимента. А про Гарвея его друг, литератор Джон Обри, писал так: «Глядя на него, нельзя было не сказать, что человек – всего лишь проказливый павлин» (хорош друг!). Про Лавуазье существует легенда, что перед казнью он решил поставить последний эксперимент – опытным путем определить, действительно ли смерть на гильотине мгновенна и безболезненна. Для этого он договорился с кем-то из своих знакомых-ученых (вроде бы даже с Лагранжем), что начнет мигать глазами перед самой казнью, а наблюдающий за гильотинированием ученый должен отметить, через какое время после удара гильотины голова Лавуазье перестанет моргать! Возможно, что это вымысел, но он заставляет содрогнуться. А вот молодая жена Лавуазье после падения Робеспьера была освобождена из заключения и поселилась в имении мужа. В 1801 году гостем в ее салоне оказался Бенжамин Томсон, граф Румфорд. Четыре года спустя ему удалось жениться на Марии Анне Лавуазье, но брак просуществовал недолго. Чтобы избавиться от новоиспеченного мужа, Мария Анна заплатила ему несколько сотен франков.

Что же касается описываемых опытов, то о них нам рассказывали еще на школьных уроках физики, но не так детально. Однако разобраться в описании опытов в книге Джонсона не легко. Перевод довольно мутный. Это видно по некоторым признакам. Например, в книгах об истории открытия кислорода часто цитируют слова Пристли о полученном им газе: «Кто бы мог отрицать, что когда-нибудь этот чистый воздух станет модным средством для развлечений?» – или что-то в этом роде. В книге «Десять самых красивых экспериментов» перевод этой фразы звучит так: «Кто бы мог предположить, что ... (и т. д.)». А никто ничего и не мог предположить, ведь про полученный газ знали только Пристли и две его мыши! Понятно, что перевод не может быть абсолютно дословным, но ведь не в ущерб же смыслу! А вот еще в рассказе про эксперимент Лавуазье упоминается какая-то «плоская колба», «нижняя часть» которой «была круглой». При этом на рисунке Марии Анны Лавуазье аккуратно изображена реторта.

Но все-таки книга Дж. Джонсона достойна того, чтобы ее читать. Вероятно, тем, кто владеет английским языком, лучше читать в оригинале. Но и перевод дает представление о замысле автора. И там, где не требуется особое знание физики, он хорош. Некоторые фразы Джонсона афористичны: «Самой темпераментной частью лабораторного оборудования всегда является человеческий мозг».

Е. Лясота

Дж. Джонсон.
Десять самых красивых экспериментов в истории науки.
Москва.
Издательство «Колибри», 2009



Белая кошка в черную клетку

Едва Миша приоткрыл дверь, как изнутри раздался громкий, сравнимый с паровой сиреной Танин вопль:

— Стой, зар-р-р-раза!

Миша замер. В следующую секунду его едва не сбил с ног пушистый черно-белый метеор. От неожиданности молодой человек позволил животному проскочить мимо и радостно умчаться вдаль по коридору. Однако спустя секунду Миша уже сориентировался:

— Я мигом! — и, швырнув сумку в приоткрытую дверь, понесся по коридору вслед за беглянкой, благо ее привычки были давно известны. Машка, будучи невероятно свободолюбивой кошкой, не отличалась, однако, особым интеллектом. Ей уже несколько раз удавалось улизнуть, и каждый раз Миша находил ее в конце коридора, забившейся в щель между ящиком со старыми телефонными книгами и телефонным же столиком, на котором уже лет восемь как не было соответствующего названию аппарата.

В предыдущие разы им везло больше: кошку удавалось поймать и вернуть в родную лабораторию до того, как ее успевали увидеть посторонние. Но на этот раз, шагая назад по коридору с присмирившей Машкой в руках, Миша наткнулся на выходящих из соседней лаборатории Николая Семеновича Деньжинского и одну из его лаборанток. Оба они застыли посреди коридора и уставились на Машку.

— Разрешите пройти? — буркнул Миша.

— Что это? — не двигаясь с места, поинтересовался Деньжинский.

— Кошка.

Деньжинский молча переводил взгляд с Машкиной невозмутимой морды на Мишину невозмутимую физиономию. Миша понял, что присутствует при событии исторического масштаба: Деньжинский растерян и не знает, что сказать! Молодой человек подался вперед, тем самым намекая, что не собирается стоять здесь до вечера, и Николай Семенович невольно сделал шаг в сторону. Миша зашагал к лаборатории.

— А почему она такого... такого цвета? — вслед ему раздался голос лаборантки.

— Вы что, черно-белых кошек никогда не видели? — не оборачиваясь, откликнулся Миша.

Подойдя к двери, он собрался было постучать носком ботинка, но тут Таня сама открыла, не дожидаясь стука.

— Кто это был, в коридоре? — поинтересовалась она, еле сдерживая хохот.

— Деньжинский с лаборанткой.

Таня посерьезнела:

— Паршиво. Со Светой или Натальей Михайловной? Хотя это уже все равно.



Юлия Гофри

ФАНТАСТИКА

— Без понятия. — Миша на секунду задумался, затем уточнил: — Пожалуй, скорее с Натальей Михайловной. Постарше женщина.

— Ну да, она! — Таня фыркнула. — А ты молодец все-таки. Уел!

— И заметь, ни словом не соврал, — довольно улыбнулся Миша, глядя Машку по спинке.

По черной спинке в крупную белую клетку.

Однажды, будучи в несколько меланхолическом настроении, Елена Витальевна пожаловалась мужу на неудачи в работе. (Впоследствии дата этого вечера отмечалась в ее лаборатории ежегодно и сопровождалась непременными возлияниями в честь ее замечательного спутника жизни.)

— Понимаешь, Дим, — говорила она негромко, закинув руки за голову и глядя в темноту, — это мечта всей моей жизни. Я из-за этого, можно сказать, и пошла в науку. Конечно, было еще несколько дурацких... как их?... мечтов, мечт.

— Мечтаний, — негромко подсказал муж с соседней подушки.

— Вот. Типа «изобрести средство для бессмертия» и «найти лекарство от СПИДа». Детский сад, одним словом. У всех такие идеи есть, и обычно они отваливаются довольно быстро. Я думала, что и эта отвалилась, а она просто затаилась в каком-то дальнем уголке, годами заставляла по крупицам собирать сведения, информацию, если случайно где-то что-то попадалось. Однажды меня так достали эти постоянные мыслишки, что я решила сесть и логически себе объяснить, почему все это глупости. А когда начала подбирать аргументы...

— Для спора с самой собой? — уточнил муж.

— Да. Так вот, я вдруг поняла, что эта идея, собственно, не противоречит никаким фундаментальным законам. Ничего принципиально невозможного, как в вечном двигателе, там нет. Более того, я поняла, что современный уровень развития науки в принципе может позволить осуществить мою детскую мечту... И вот: второй год бьюсь, добралась до экспериментов, но не могу понять, где же я ошиблась и почему не получается!

— Знаешь, у меня если на работе творится такая ерунда, я кому-нибудь подробно рассказываю, что пытаюсь сделать и как это воплощаю в жизнь. И обычно где-нибудь на пятой минуте вдруг понимаю, что сделал не так.

— Ага, — раздраженно сказала Елена Витальевна, — и кому же я пойду рассказывать? Может, Деньжинскому? Он выслушает, можешь не сомневаться! А через год я узнаю, что мы с ним, оказывается, независимо друг от друга пришли к одинаковым результатам. Ха-ха!.. Тут

ко мне из его лаборатории новый парень перевелся, Миша Снежников, биохимик, невероятно талантлив. Представь, этот Миша чуть не вешался: стоило ему заняться более или менее стоящей темой, как Деньжинский либо отдавал ее другому, либо закрывал совсем. Уж не знаю, чем парень ему не угодил, но у меня он через три месяца уже отправил статью в журнал, а у Деньжинского за два года — ни одной.

— Зачем же идти к Деньжинскому? — сказал Дмитрий. — Попробуй рассказать мне. Хотя бы общий принцип. Тут даже не столь важно, пойму я или нет, — главное, что ты сформулируешь проблему вслух. А кроме того, мне попросту интересно.

Елена Витальевна вздохнула, пытаясь подобрать понятные мужу выражения.

— Представь себе, — наконец заговорила она, — что в ДНК хранится что-то вроде инструкций, как построено человеческое тело. Все, что с телом происходит, закладывается в момент зачатия, ты это наверняка слышал. Какого роста человек будет, какого цвета у него будут глаза и волосы, в каком возрасте вырастут коренные зубы... Разумеется, некие экстремальные обстоятельства могут что-то изменить: скажем, если ребенка плохо кормить, то это отрицательно скажется на росте, а если он будет испытывать недостаток кальция, то зубы выпадут раньше, чем задумано природой. И тому подобное. Однако в каждой клетке его организма останется информация о том, как это все должно было быть в идеале. Так вот, представляешь, как было бы здорово, если бы мы научились заставлять организм использовать эту информацию, чтобы исправить что-то! Например, выпал у человека зуб — найти информацию о том, какой зуб должен расти на этом месте, — запустить, так сказать, программу из ДНК и вырастить на этом месте новый зуб вместо старого.

— Постой. Получается, что можно будет отращивать себе, скажем, новые руки взамен старых?

— Ну... теоретически, но это уже совсем другой этап. Вряд ли в ДНК есть информация о том, как отрастить себе новую руку. Кости и мышцы формируются в самом начале развития одновременно со всем остальным организмом, там все переплетено вместе. Но суть ты уловил!

— То есть разница в том, что для зуба программа уже есть, а для руки ее сначала нужно будет придумать?

Елена Витальевна озадаченно замолчала.

— В некотором смысле, да, — ответила она после паузы. — Но эту программу, которая уже есть, еще нужно найти. А потом суметь запустить. Вот способом этого запуска я и занималась весь последний год. Была уверена, что получится, но результатов — ноль!

— Зуб не растет?

— Да при чем тут зуб! Зуб — это так, для примера! У меня — кошки. Я собиралась менять окрас. Ты же знаешь, как это работает у кошек.

Последнее было не вопросом, а утверждением. Кошек Дмитрий любил, разбирался в них и одно время даже разводил. С тех насыщенных, хотя и слегка сумасшедших лет в доме остались на постоянное жительство британцы Тофсла и Вифсла.

— К примеру, разноцветный окрас, «торти». Пятна располагаются случайным образом... ну, ты в курсе. Вот

на изменении этой случайности я и собиралась построить эксперимент.

— Вывести белых кошек в черный и оранжевый горошек? — В голосе Дмитрия послышалась улыбка.

— Да хоть бы одну горошину! И не вывести! В в том-то и дело! А взять взрослую кошку, подподвести электроды к специальным областям мозга и с их помощью передавать «программу». Буквально — надеть на голову шлем с электродами, включить — и кошка понемногу начинает перекрашиваться. Хоть в горошек, хоть в полосочку. Два года занималась теорией. Шлем сама разработала, потому что существующие не подходили. Комбинацию и частоту сигналов. На бумаге — все должно работать. Хоть убей, не пойму, что же я упустила!

— Знаешь, Лен, — задумчиво сказал Дмитрий, — если продолжать сравнивать человека с неким сложным компьютером... Вот есть в нем, допустим, определенные программы, которые работают автоматически, с минимальным вмешательством пользователя. Другие пользователь должен запустить сам, а дальше они уже на автомате. Но если ты программист, то можешь многие программы менять или запускать вручную тогда, когда нужно, с другими параметрами. Я очень поверхностно сейчас объясняю, конечно, но суть вот в чем... Перед тем как запустить программу заново, с новыми параметрами, мне нужно как минимум остановить ее работу. Нельзя вносить изменения, пока программа работает. Может быть...

Елена Витальевна резко села на постели.

— Ты гений, Дим, — сказала она, уставившись в пространство перед собой.

Во все подробности проекта были посвящены лишь трое: Таня, Миша и Денис. Таня с Мишей были младшими научными сотрудниками, Денис — аспирантом; все трое были лояльны к заведующей и имели причины не любить Деньжинского. Елена Витальевна не первый год заведовала лабораторией и, когда надо, могла описать проект словами настолько общими, что за ними легко угадывалось все, что угодно, кроме того, что делалось на самом деле. Однако надежды на то, что Деньжинский недооценит увиденное, было маловато.

— Елена Витальевна уже пришла? — спросил Миша.

— Она у себя, с Денисом. Может, не надо отрывать? Пусть закончат, они последнюю модель шлема обсуждают.

— Что обсуждать! Все давно обсудили, испытывать пора.

— Нам легко говорить, — вздохнула Таня, — а Елена Витальевна, если что, за все отвечает.

Не зря именно эта троица оказалась вовлеченной в проект. Миша, которого уже год как пыталась зазвать к себе крупная фармакологическая компания, изрядно помог Елене Витальевне в выведении формулы того самого вещества, инъекция которого, по выражению Дмитрия, «останавливала программу и давала доступ в систему». Денис, в школе увлекавшийся радиотехникой, был главным по шлемам с электродами, которые приходилось разрабатывать чуть ли не заново для каждого вида животных. Таня увлеченно программировала — составляла наборы электросигналов, включавших ту или иную генетическую программу. На будущее она ставила себе амбициозную цель — научиться не просто запускать существующие в ДНК программы, но и писать свои.

— Признавайся, — поддразнивал ее Денис, — ты просто мечтаешь о собственном салоне красоты нового образца. Представляешь, какой успех: любое разумное изменение внешности без хирургического вмешательства! Дамы повалят толпами!

— Смейся, смейся, — отвечала Таня, — будущее за нами, биопрограммистами! А самыми частыми клиентами в таком салоне наверняка будут не дамы.

— Мужчины меньше парятся по поводу своей внешности, — возражал Денис.

— Это смотря какой внешности, — хитро улыбалась Таня. — Судя по спаму, который я получаю через день, кое-какие перемены были бы весьма популярны. Так что нечего, как говорят англичане, швыряться камнями, если живешь в стеклянном доме.

Денис шутливо поднимал руки вверх и возвращался к работе. Последний шлем не зря делался еще более тщательно, чем предыдущие.

Опыты по перекрашиванию кошек были в числе первых успешных и завершились около двух лет назад. С тех пор в клетках лаборатории успело побывать множество разных животных; последними — очаровательные шимпанзе Чак и Чан. Опыты с ними были удачными, и теперь все участники проекта с волнением ожидали решения Елены Витальевны. Возможны два пути: либо публикация на данном этапе (а, видит бог, материала хватило бы на десяток диссертаций), либо следующий логический шаг в испытаниях. Все трое, уверенные в успехе, не раз предлагали себя в качестве объектов, но Елена Витальевна колебалась.

Поразмыслив, Миша решил повременить с рассказом до обеда и собрался было вернуться к работе, но тут постучали в дверь. На пороге стоял Деньжинский.

— Здравствуйте, эээ...

— Михаил Степанович, — напомнил Миша.

— Здравствуйте, Михаил Степанович. Разрешите?

Не впускать в лабораторию заведующего соседней лабораторией — значит нарываться на неприятности. Миша посторонился.

— Интересно, интересно, — бормотал Николай Семенович, неторопливо шагая вдоль клеток. — Интересные вы тут выводите породы, однако. Очень интересно, да-да... Я и раньше слышал, что Елена Витальевна очень увлечена кошками. Что же, и о кошках тоже кому-то надо думать, не все же о людях.

Таня открыла было рот, но тут же снова закрыла. Деньжинский крайне редко говорил то, что у него на уме, — слова могли быть попыткой заставить сотрудников начать оправдываться и при этом случайно выдать нужную ему информацию. Миша тоже молчал.

— Ну что же, — продолжил Деньжинский, — спасибо, молодой человек, за эту небольшую экскурсию. Я и думать не мог, что Елена Витальевна достигла таких успехов в... м-да. Всего хорошего! — И, улынувшись на прощание, он вышел за дверь.

Молодые люди переглянулись.

— Пожалуй, я их все-таки оторву от работы, — поднялся с места Миша.

Таня кивнула:

— Он явно что-то задумал, но что?

— Ясно что, — устало сказала Елена Витальевна три не-



ФАНТАСТИКА

дели спустя. — По институту ходят слухи, что я впустую расходую деньги и время сотрудников на дурацкие гламурные проекты по перекрашиванию кошек. И даже слух о том, что я планирую грандиозное мошенничество, перекрашивая генетически бракованных породистых котят и потом продавая их втридорога.

— Идиоты! — фыркнул Денис. — Они себе представляют, сколько будет стоить такая «перекраска» даже для одной кошки? Дешевле целый питомник купить!

— Ну, этот слух на научном совете никто и не примет всерьез, — пояснил Миша, — это для создания, так сказать, подходящей атмосферы.

— Совершенно верно, — кивнула заведующая. — Деньжинский хочет попытаться урезать мне финансирование, чтобы выгадать срок и поставить за это время свои эксперименты. У него это все равно не получится, но он наверняка думает, что попытаться стоит. Либо хочет вынудить поспешную публикацию и тогда уж подхватить с того места, где мы остановились.

— Елена Витальевна, — негромко сказал Миша, — мы уже обсуждали, я все понимаю и не тороплю вас, но ведь это решило бы все проблемы!

Елена Витальевна, поколебавшись, кивнула:

— Да, вынуждена признать, что вы правы, Миша.

— Бросаем жребий? — немедленно вскинулся Денис.

— Нет. Я с каждым поговорю индивидуально. И приму решение.

Какой именно эксперимент ставить, было решено давно. Оставалось внести в программу поправку с расчетом на индивидуальные особенности организма, и Таня немедленно этим занялась. Миша чувствовал одновременно и страх, и радость и заранее теребил языком то место, где год назад рос коренной зуб.

— Танюш, — посмеивался Денис, — вот тебе отличный шанс попробовать себя в качестве — как ты там говорила? — биопрограммиста, да? Представь себе, что у Мишки на этом месте вырастет огромный вампирский клык! Ему бы пошло, а резонанс какой!

— Не мешай, — серьезно отзывалась Таня, — и помни, что и твоя очередь настанет!

— О, со мной все просто! — Аспирант похлопал себя по рано начавшей лысеть макушке. — Можешь выращивать любого цвета, лишь бы не в клеточку, как у Машки.

— Штрихпунктир, как у Пушка, тебе больше подойдет?

— А что? Такой авангард! А сама-то ты, Тань, что соберешься выращивать, когда твоя очередь наступит, а? Зубы у тебя все на месте, ты говорила. Или удалишь ради такого случая?

— Делать мне больше нечего.

— Так что же?

Таня, не поднимая глаз от бумаг, осторожно положила карандаш на указательный палец и покачала его, как качели. Подвинула немного, добываясь равновесия.

— Почку, — сказала она.

Воцарилось молчание.

— Тань, ты серьезно? — негромко спросил Миша.

— Совершенно. У меня трансплантат. Поставили два года назад — помните, я отпуск брала по здоровью? Средний срок жизни у них, если от постороннего донора, — порядка девяти лет. Плюс-минус. Я бы очень хотела успеть. Трудно найти другой трансплантат, да и шансов на успех во второй раз меньше.

Таня говорила спокойно, и от этого ее собеседникам было еще жутче.

— Тань!.. — Денис едва ли не впервые за все время их знакомства выглядел абсолютно серьезным.

— Не надо, ребята. Я с этим с десяти лет живу. Привыкла. Ко всему привыкаешь. Я бы не стала рассказывать, но все равно ведь придется, если... — Таня поднялась из-за стола и, обойдя остолбеневшего Дениса, молча направилась к двери.

Миша нагнал ее в коридоре у лестницы.

— Тань, я только хотел сказать, что мы успеем, непременно успеем!

— Я тоже так думаю, — кивнула девушка. — Время у меня еще есть. Было бы здорово перестать пить иммунодепрессанты, знаешь. Конечно, начинать с меня неразумно: это слишком сложный эксперимент. Скорее всего, одну почку придется удалить, чтобы освободить место. Надо договариваться с клиникой, врачами. Да и вообще, мы ведь ничего подобного не пробовали на животных. В общем, мы пока явно не готовы отращивать новые внутренние органы, хотя неплохо было бы потрясти общественность таким результатом! — Таня улыбнулась. — Ладно, извини, Миш, я тут покурю. Ты иди, я скоро вернусь.

«Ты же не куришь!» — хотел было сказать Миша, но прикусил язык.

Таня стояла возле полок с дисками и с удовольствием смотрела на коллекцию программ, созданных за четыре года. Разумеется, тут были не только ее работы, но к большей части она так или иначе приложила руку.

За спиной, скрипнув, приоткрылась дверь.

— Танечка, — вкрадчиво произнес Деньжинский, — добрый день. Как продвигается работа?

— Спасибо, неплохо, — отозвалась Таня.

— Поздравляю вас! Мне говорили, вы диссертацию защитили? В добрый путь, в добрый путь!

Пожелание «в добрый путь» по поводу защиты докторской легко можно было принять за издевательство, но вряд ли оно было намеренным. Деньжинский, как-никак, пришел просить об одолжении. В последние два года почти весь институт неофициально пользовался появившимся в его стенах изобретением для всяческих несложных процедур. То зуб вырастить, то зрение улучшить. Исправление близорукости, впрочем, давало лишь временное улучшение: вскоре она возвращалась и быстро прогрессировала до прежнего уровня. Видимо, была заложена генетически. А вот дальность зрения уходила если не навсегда, то надолго.

Елена Витальевна сперва хотела запретить все это, но потом махнула рукой и только заставляла желающих подписывать соответствующие документы, оформляя бумаги как на добровольцев для экспериментов. Самой сложной операцией было сращение перелома — но уже через две недели пациенту сняли гипс к изумлению лечащего врача. До новой почки, конечно, еще не дошло, но Таня теперь и вправду не сомневалась, что они успеют вовремя.

— Зуб? — поинтересовалась Таня.

— Зуб, — кивнул Деньжинский.

Таня протянула папку с бумагами:

— Заполните, пожалуйста.

— Ну, Та-а-а-нечка, — умильно протянул тот, — неужели это обязательно, между своими-то?

— Увы, Коленька, — злорадно улыбнулась Таня, наблюдая, как у собеседника исказилось лицо, — абсолютно обязательно. Заполняйте, я пока найду программу. Какой зуб-то?

— Верхний правый клык, Татьяна Сергеевна. — Иногда Деньжинский умудрялся понимать намеки.

Таня привычно потянулась за диском «Зубы». Вставила в дисковод, краем глаза глянула на склонившегося над бумагами Николая Семеновича и вдруг открыла папку с программами, над которыми работала вчера. Чуть помедлила, затем улыбнулась, и, если бы Деньжинский видел эту улыбку, он, пожалуй, предпочел бы обратиться к стоматологу.

— Все, готово? — спросила она.

— Да, вот, пожалуйста.

— Здесь вы забыли подпись поставить. — Таня протянула неподписанный документ.

Деньжинский скривился, но подписал и даже буркнул что-то вроде «извините».

— Садитесь, — кивнула на специальное кресло Таня, — надевайте шлем. Дайте я проверю... Да, все в порядке. Закатайте рукав.

Она достала из шкафа банку с прозрачной жидкостью и одноразовый шприц, привычно набрала полкубика жидкости и быстрым плавным движением сделала укол в предплечье. Бросив шприц в урну, вернулась к компьютеру и запустила программу.

— Это займет около пятнадцати минут, — проговорила Таня, вставая. — Результаты — в течение недели.

Был вторник.

В пятницу, встретив Таню в столовой, Деньжинский покровительственно улыбнулся и шепнул, наклонившись к ее уху:

— Растет, почти уже вырос... Спасибо вам, милая, выручили...

А утром в понедельник он в ярости ворвался в лабораторию:

— Что это такое! Что вы себе позаяете!

Таня, сидевшая с Машкой на руках, недоуменно подняла брови, а Миша и Денис вытаращили глаза. Рот Деньжинского был закрыт высоко намотанным шарфом, что придавало речи странноватый акцент.

Из кабинета появилась Елена Витальевна:

— В чем дело, Николай Степанович?

— Я уам сейчас покажу, в щем дело! — угрожающе произнес он, снимая шарф.

Изо рта торчал, мешая челюстям сомкнуться, огром-

ный, сантиметра в полтора длиной, клык.

— Что это? — холодно поинтересовалась Елена Витальевна. — Вроде для Хеллоуина рановато?

— Хеллоуин? Рановато? Да я... я вам покажу «рановато»!

— Елена Витальевна, — вмешалась Таня, — я, кажется, понимаю. В прошлый вторник Николай Степанович предложил себя в качестве добровольца для одного из наших экспериментов. Похоже, что эксперимент не очень удачен, хотя результат неожиданный и любопытный. Необходимо задокументировать.

— Что значит неожиданный? — уже не так громко спросил Деньжинский, поняв, что его вопли никакого впечатления не производят.

— При опробовании новых технологий так иногда бывает, — пожала плечами Таня.

— Что значит — новых технологий? Уы же делали это множество раз.

— Мы же научно-исследовательская лаборатория, а не зубокабинет, — пожала плечами Елена Витальевна, — уж вы-то должны это понимать. Мы все время вносим коррективы, проверяем различные комбинации сигналов. В настоящее время пытаемся добиться большей скорости восстановления костных тканей. Я смотрю, нам это удалось, хотя и не без побочного эффекта.

— Поочного зукта? — переспросил Деньжинский, с трудом стараясь придать себе грозный вид.

— Как видите. Впрочем, не переживайте. Мы понаблюдаем вас около месяца, после чего этот зуб можно будет удалить, а вам в порядке исключения вырастим новый — по прежней, проверенной технологии.

— Меяц?! Да я его завтра удалю!

— Простите, Николай Семенович, — Елена Витальевна приподняла брови, — это совершенно исключено. Вы



ФАНТАСТИКА

же подписывали документы — значит, должны были читать. Нам необходимо исследовать данный побочный эффект. Разумеется, вы можете нарушить подписанное вами обязательство, не обращаясь же нам в суд, но вряд ли в этом случае мы сможем выделить время и средства на то, чтобы вырастить вам другой зуб. Да и ваше участие в дальнейших экспериментах будет, как понимаете, исключено. Что же касается бытовых сложностей, то вы не волнуйтесь — мы обеспечим жидкую диету, если понадобится, будем вводить глюкозу внутривенно...

После того как за рычащим и истекающим слюной Деньжинским захлопнулась дверь, Елена Витальевна уточнила:

— Он все подписал, что положено?

— Да, — кивнула Таня. — Спасибо, Елена Витальевна.

— Пожалуйста. — Начальница развернулась и, направившись в свой кабинет, бросила: — Только предупреждать же надо!

Таня улыбнулась, поглаживая Машку между ушами. Черными ушами в мелкий белый горошек.



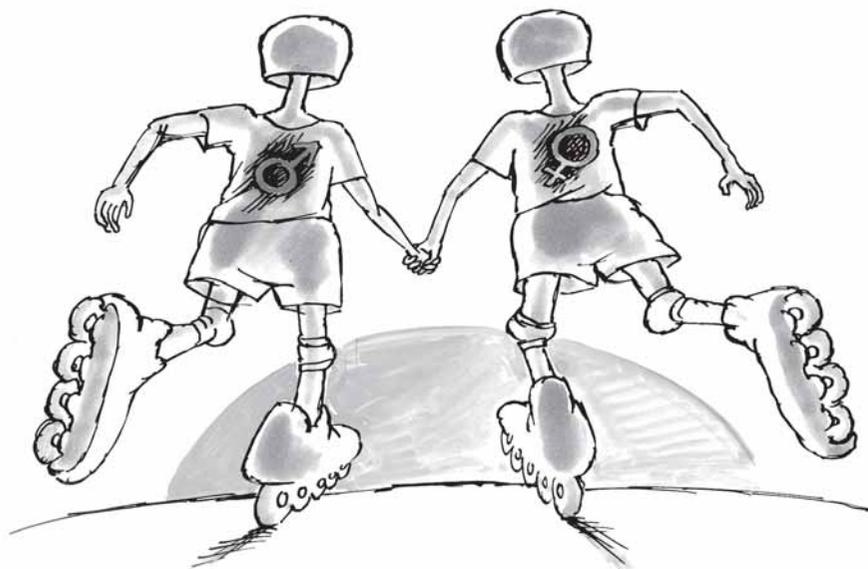
ИНФОРМАЦИЯ

О ПОДПИСКЕ

Напоминаем, что на наш журнал с любого номера можно подписаться в редакции. Стоимость подписки с доставкой по РФ — 600 рублей за полгода (при получении в редакции — 480 рублей).

Подписку можно оплатить и электронными Яндекс-деньгами через киоск: www.hij.ru/kiosk.shtml.

Подписаться можно также на любой почте: каталоги «Роспечать», индексы 72231 и 72232; «АРЗИ» (Пресса России), индексы 88763 и 88764; «МАП» (Почта России), индексы 99644 и 99645. Кроме того, обращайтесь в агентства «Урал-пресс», uralpress.ur.ru; «Информнаука» (495) 127-91-47, www.infomnauka.com; «Артос-Гал», (495) 981-03-24 и другие.





КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Возрождение кок-сагыза

В 30-е годы в СССР, да и не только в нем, были предприняты попытки возделывать растения-каучконосы, чтобы избежать зависимости от поставщиков природного каучука. В частности, были заложены обширные плантации кок-сагыза (его даже стали называть русским одуванчиком) и гуаюлы — вечнозеленого кустарника из семейства астровых. Каучук у обоих растений добывают из млечного сока, который выжимают главным образом из корней. Из-за экономической нецелесообразности в пятидесятых годах от кок-сагыза отказались, заменив натуральный каучук синтетическим.

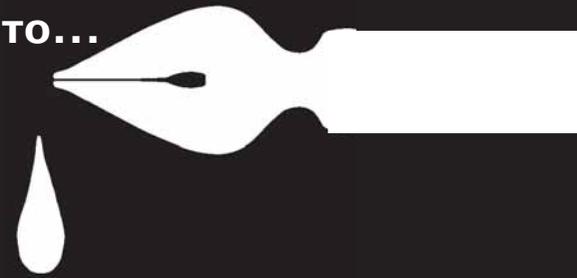
Теперь же концепция снова меняется. Как оказалось, в медицинских изделиях, в обуви и в качестве компонента клеев природный каучук незаменим. А его производству угрожают, во-первых, изменение климата, а во-вторых, рост потребления в развивающихся странах. Из-за последнего обстоятельства с 2007 по 2009 год цена на природный каучук выросла в два раза. Более того, возникла опасность, что те тропические страны, где есть плантации главного каучконоса планеты — гевеи, объединятся и договорятся о единой, причем, естественно, высокой цене на свою продукцию. Желая побороться с существующей зависимостью от южных стран, северные страны снова начали подумывать о переходе на собственное растительное сырье. С этой целью в Евросоюзе создали консорциум (агентство «АльфаГалилео», 29 января 2010 года), который должен изучить возможности кок-сагыза и гуаюлы в качестве каучконосов. В частности, предполагается провести генетический анализ имеющегося разнообразия, определить гены, ответственные за выработку млечного сока, выявить возможности их мутагенеза, определить агротехнику и в результате резко увеличить выход каучука из этих растений. Пока что он невелик: с гектара из корней кок-сагыза и гуаюлы в советское время удавалось выжать два-три центнера каучука. Зато кок-сагыз можно выращивать хоть в Швеции, а мексиканская гуаюла отлично растет в Средиземноморье.

Есть у этой идеи и еще один плюс. Синтетический каучук делают из нефти. Если с помощью генетических манипуляций евросоюзцам удастся получить кок-сагыз с огромным корнем (или гигантским цветоносом, заполненным млечным соком), то им удастся и снизить зависимость от нефтедобытчиков, и выполнить повышенные обязательства по извлечению углекислого газа из атмосферы. В общем, каучуковая биотехнология сулит немало новаций.

Кстати, почему-то никто не обращает внимания на всевозможные грибы из рода груздей. Вот уж кто буквально наполнен клейким млечным соком! Сумей биотехнологии совладать с их разведением, сырье для искусственного каучука окажется еще и съедобным.

А.Мотыляев

Пишут, что...



...в университете Кембриджа создали клеточную машинерию, способную читать четырехбуквенный генетический код, с помощью которого можно «записать» в гене более двухсот аминокислот, не аналогичных природным («New Scientist», 2010, № 2748, с.3, 14)...

...хотя микроскоп ближнего поля использует свет для возбуждения молекул, он в состоянии различить объекты, разнесенные на расстояния в десятки раз меньшие, чем длина волны этого света («Успехи физических наук», 2010, т.180, № 1, с.83—87)...

...в сердечной мышце монгольских песчанок, летавших в космос на «Фотон-М3», обнаружены изменения состава белков, связанные с увеличением силы сердечных сокращений («Доклады Академии наук», 2010, т.430, № 2, с.264—267)...

...компьютерную модель биологической самоорганизующейся системы, одноклеточного *Physarum polycephalum*, можно использовать для оптимизации транспортных сетей («Science», 2010, т.327, № 5964, с.419—420)...

...идентифицированы геномные участки, характерные для десяти пород собак, в том числе для такс и шарпеев («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2010, т.107, № 3, с.1160—1165)...

...существуют математические модели стадного поведения, где начиная с некоторого участника все последующие принимают одинаковое решение независимо от того, какой информацией располагают сами («Экономика и математические методы», 2010, т.46, № 1, с.97—103)...

...медицинские изделия из биоабсорбируемых полигидроксиалканоатов, выпущенные в Красноярске, переданы в медицинские учреждения для испытаний («Наука в России», 2010, № 1, с.4—8)...

...смоделированы молекулярные процессы, происходящие при плетении пауком каркасной нити паутины («Молекулярная биология», 2010, т.44, № 1, с.162—169)...

...на корнях облепихи, трансгенной по гену лектина гороха, обнаружены клубеньки, в которых содержатся азотфиксирующие бактерии («Физиология растений», 2010, т.57, № 1, с.108—116)...

...одаренность ребенка может ошибочно диагностироваться как синдром дефицита внимания с гиперактивностью или расстройство Аспергера («Психологический журнал», 2010, т.1, № 1, с.41—54)...

...показано влияние различных вариантов гена транспортера серотонина 5-НТТ на проявления агрессивности у мужчин и женщин («Физиология человека», 2010, т.36, № 1, с.48—55)...

...«конструирование» любого из внутренних органов требует вмешательства не более 3—5% всех генов, а развитие и функционирование мозга позвоночных обеспечивается мобилизацией более половины генов («Успехи физиологических наук», 2010, т.41, № 1, с.26—44)...

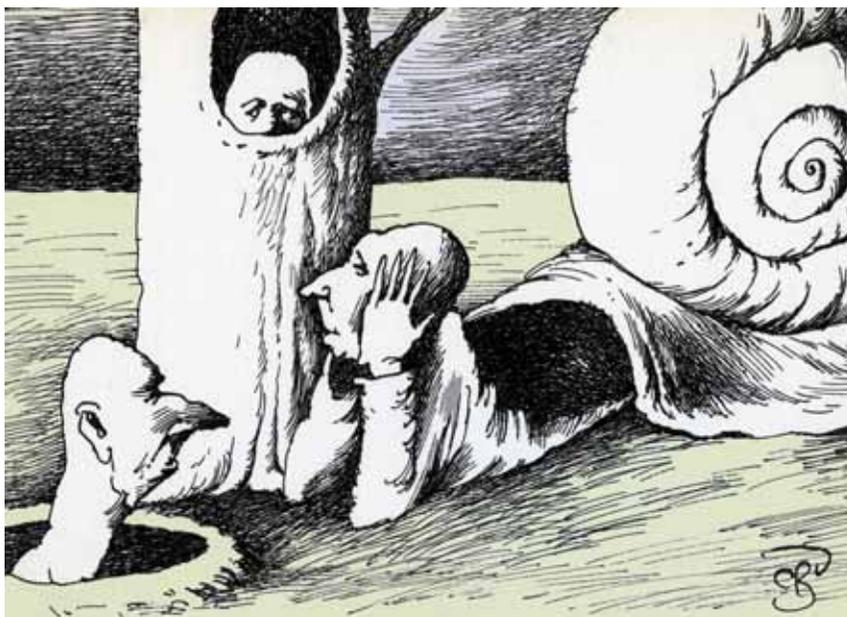
...инвентаризация российских полигонов и свалок твердых бытовых отходов показала, что их потенциал по метану весьма значителен («Экология и промышленность России», 2010, № 1, с.30—31)...

...для архитектуры дерева предложена модель, в которой на верхушке дерева ритмически появляются виртуальные деревья; варьирование параметров дает распределения биомассы, характерные для реальных видов («Журнал общей биологии», 2010, т.71, № 1, с.19—29)...

...древний «знак вечности», или свастика, возможно, изображает не солнце, а положения созвездия Большой Медведицы на ночном небосклоне зимой, весной, летом и осенью («Земля и Вселенная», 2010, № 1, с.68—82)...

...методами капиллярной газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии в аромате сушеных шампиньонов идентифицировано 56 компонентов («Прикладная биохимия и микробиология», 2010, т.46, № 1, с.119—124)...

Художник С.Дергачев



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Страдания по игреку

Не так давно прошел слух, что Y-хромосома, присущая только мужскому полу у млекопитающих, стремительно укорачивается и через несколько миллионов лет представители мужского пола, в частности мужчины *Homo sapiens*, могут совсем исчезнуть (см. «Химия и жизнь», 2009, № 7). Одна из причин тревоги состоит в том, что расшифровать Y-хромосому совсем не легко — сотни имеющихся в ней повторов одинаковых фрагментов ставят в тупик стандартную технику секвенирования. В результате весь остальной геном нашего ближайшего родственника — шимпанзе расшифровали в 2005 году, а последовательность генов в его Y-хромосоме, да и то не всей, а так называемого MSY (male-specific region), с приемлемой точностью удалось получить только в 2009 году. Эту работу проделали американские ученые из института Уайтхеда при помощи коллег из Геномного центра Вашингтонского университета. Поскольку эта же группа в 2003 году расшифровала Y-хромосому человека, логично было провести сравнение, что ученые и сделали («Nature», 2010, № 463, с. 536). Оказалось, что для более чем 30% последовательностей хромосомы шимпанзе ученые не нашли аналогичных участков (гомологов) в хромосоме человека, в то время как в среднем по геному это значение не превышает 2%. При этом за 6 миллионов лет Y-хромосома шимпанзе потеряла значительные фрагменты генов и групп генов, способных кодировать белки, которые были у нашего общего предка. Все это лишний раз свидетельствует о ее быстрой эволюции. А в чем же польза?

Поскольку с изучаемым участком в значительной степени связана интенсивность образования спермы, ученые предполагают, что брачному поведению тут отведена немалая роль. У шимпанзе много самцов может за короткий промежуток времени вступить в связь с одной и той же самкой. Очевидно, что тот, у кого будет больше сперматозоидов, имеет больше шансов на оплодотворение и передачу своих генов. По итогам жизни многих поколений те линии, у которых относительное количество потомков оказалось меньше, могут исчезнуть, несмотря на то что у их представителей были какие-то полезные качества. А вот способность вырабатывать много спермы, наоборот, дает преимущество даже наряду с некоторыми недостатками, в частности удалением каких-то генов из хромосомы.

У древнего человека поведение, видимо, изначально было сложнее, вот Y-хромосома не только не обеднела, но могла и усложниться по сравнению с предками.

Чтобы подтвердить свой тезис, американские биохимики собираются провести точную расшифровку Y-хромосом других млекопитающих.

С.Анофелес



Керамика: его величество Фарфор

С.Н.АГАТИНУ, Волгоград: *Резиновые клеи действительно содержат синтетический или натуральный каучук, но не все они вулканизирующиеся: некоторые схватываются просто за счет испарения растворителя или дисперсионной среды.*

А.Н.ПОНОМАРЕНКО, Москва: *Инулин — это полимер фруктозы, употреблять его как заменитель сахара нельзя, поскольку он не сладкий; но его используют как стабилизатор эмульсий и взбитых десертов, а также для имитации содержания жира в диетических продуктах, и он действительно рекомендован диабетикам.*

М.А.ПРОНИНОЙ, Иркутск: *Массу папье-маше для изготовления изделий сложной формы можно приготовить из мелких кусочков газеты: размочите их в горячей воде и разотрите руками, а лучше размелите в миксере; откиньте на сито и когда вода стечет, добавьте в равных количествах клей ПВА и обойный клейстер, пока масса не станет чуть липкой.*

С.В.ЛУГОВОЙ, Санкт-Петербург: *Водка черного цвета содержит экстракт древесины акации *Acacia catechu*, произрастающей в тропической Азии и культивируемой в Индии и Пакистане; из экстракта получают дубильные вещества, в том числе катехин; местное население использует его для дубления и крашения, производители водки, однако, заверяют, что язык эта водка не окрашивает.*

Д.П., Украина: *Мы не одобряем фантастов, которые практикуют веерную рассылку своих рассказов (и кроме того, мы по-прежнему не рассматриваем рассказы вне нашего конкурса); кстати, альманах «Порог-АК» предложил вам опубликоваться на платной основе, по два доллара за тысячу знаков, а письмо нам прислал.*

К.К.Карпову, электронная почта: *Вынуждены вас огорчить, мы не собираемся бороться за «исключительные эволюции из программ обучения», поскольку не считаем теорию эволюции ни ошибочной, ни опасной — кстати, того же мнения придерживаются и многие образованные верующие.*

В.П., Москва: *Мы очень рады, что Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору отметила свое 290-летие; альтернативная история сейчас в моде, искусственному любителю этого жанра не составит труда вообразить атомный двигатель на ботике Петра I...*

«Голубой, как небо после дождя, блестящий, как зеркало, тонкий, как бумага, звонкий, как гонг, гладкий и сияющий, как озеро в солнечный день» — таким увидели европейцы фарфор, впервые привезенный из Китая в начале XVI века. Как повезло Китаю! Сама природа предназначила ему стать родиной фарфора. В провинции Цзянь-си находятся огромные залежи редчайшего минерала, «фарфорового камня», состоящего из кварца и полевого шпата — слюды. Смешивая его с высококачественной белой глиной каолином, получают пластичную фарфоровую массу, готовую для обжига. Уже во II веке до н. э. китайские мастера умели делать фарфоровые блюда и кувшины, вазы, фигурки людей и животных, колокольчики. Термин «фарфор», по-видимому, произошел от персидского названия «фегфур», а в Китае фарфор назывался «тссени» — словом, имитирующим чистый мелодичный звук, который слышится, если постучать по тонкой фарфоровой чашечке.

Технология изготовления фарфора в Китае была государственной тайной. Иностранцев не пускали в город Цзинь-дэ-чжень, центр фарфорового производства. Во многих странах Европы пытались разгадать секрет китайского фарфора. Он был предметом роскоши, доступным только аристократам. Тонкий изысканный фарфор ценился на вес золота. Его и называли «белым золотом».

Первым предложил состав и технологию производства фарфора немецкий физик Эренфрид Чирнгауз в 1703 году. Вместе с ним работал Иоганн Бетгер, придворный алхимик саксонского курфюрста Августа Сильного. После внезапной смерти Чирнгауза Бетгер объявил себя изобретателем европейского фарфора. Но только через четыре года он получил фарфор, внешне очень похожий на китайский. В 1710 году Август построил первую в Европе фарфоровую фабрику в городе Мейсене недалеко от Дрездена. И по сей день знаменит мейсенский фарфор — тонкий, утонченно-строгий, прозрачный, звонкий. Его эмблема — скрещенные синие мечи, — ставшая престижнейшим товарным знаком, наносится на каждое изделие вручную начиная с 1722 года. Август по-королевски «отблагодарил» Бетгера: чтобы сохранить в тайне рецептуру фарфоровой смеси, он заточил его в тюрьму, там Бетгер и умер в возрасте 37 лет.

В России фарфором серьезно заинтересовался Петр I, после того как из Китая была привезена необычная посуда для Московского аптекарского приказа. Когда король Саксонии преподнес Петру I великолепный подарок — мейсенский кофейный сервиз, — он повелел начать поиски фарфорового состава. Людей посылали в Китай и Саксонию, чтобы «вызвать тайну». Только в 1746 году русский мастер Дмитрий Иванович Виноградов, друг и соратник М.В. Ломоносова, разработал состав фарфоровой смеси, при обжиге которой получались изделия, неотличимые от китайских. Производство российского фарфора было открыто на Императорском заводе близ Петербурга. (Теперь это фарфоровый завод имени М.В. Ломоносова.) Сначала там делали небольшие предметы — пасхальные яйца, подсвечники, чашечки, солонки, табакерки, шахматные фигуры, пуговицы. Первый расписной сервиз был изготовлен в 1756 году для императрицы Елизаветы. Тарелки разных размеров, блюдца, сахарницы, ложки, вилки с фарфоровыми ручками были искусно расписаны пурпурной сеткой с мелкими цветами. Отечественная фарфоровая промышленность бурно развивалась, чему способствовал указ императора Павла I, ограничивавший ввоз в страну европейского фарфора. Работы русских мастеров по качеству, изяществу и красоте не уступали немецким, но были много дешевле.

Ушли в прошлое те времена, когда состав фарфоровой массы был государственной тайной, за разглашение которой можно было поплатиться жизнью. Попытки сделать китайский фарфор, длившиеся несколько веков, привели к тому, что был открыт новый вид керамики. Европейский



фарфор — не повторение китайского. Современная наука называет его твердым фарфором. Он состоит из каолина (50%), кварца (25%) и полевого шпата (25%) и обжигается при высоких температурах (1400—1500°C). Он прочен, термостоек, почти прозрачен при малой толщине, белоснежен, обладает чистым колокольным звуком. Мейсенский фарфор — это классический твердый фарфор.

Китайский фарфор, как и русский, относится к так называемому мягкому фарфору, который по прочности уступает твердому, поскольку в нем заметно меньше каолина (около 30%) и ниже температура обжига. Мягкий фарфор иногда называют фриттовым. Фритты — это многокомпо-

нентные добавки, включающие в себя песок, селитру, морскую соль, алебастр, квасцы, гипс, свинцовое стекло. Мягкий фарфор необыкновенно красив — прозрачен, нежного бело-сливочного цвета, долго сохраняет тепло.

Если в состав твердого фарфора добавить костную золу (фосфат кальция), получится так называемый костяной фарфор, изумительно красивый, сочетающий в себе прочность, белизну, звонкость твердого фарфора и прозрачность, сияние и блеск мягкого.

Как любую керамику, фарфор покрывают глазурью (неглазурованный фарфор называется бисквитным) и расписывают красками. Подглазурные или керамичес-

кие краски — это оксиды металлов. Синий цвет придает оксид кобальта, зеленый — оксид хрома, желтый и красный — оксид железа. Палитра надглазурных красок много богаче: используются матовая или блестящая позолота, серебро, платина. Дополнительные оттенки краскам придают флюсы — оксиды свинца, бора и кремния.

Фарфоровой бывает не только посуда или статуэтка, но и свадьба, когда супруги отмечают 20-летие совместной жизни. В этот день юбилярам по традиции дарят фарфор как символ нежности, теплоты, элегантности и благородства.

М. Демина



19–22 апреля 2010 года
Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



11 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА **ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ** HIGH TECHNOLOGY OF **XXI** **ВЕКА**

- нанотехнологии и новые материалы
- биотехнологии и медицина
- энергоэффективность и энергосбережение
- экология
- авиационно-космические технологии
- телекоммуникационные системы
- стратегические информационные технологии
- неогеография
- радиоэлектроника
- машиностроение

**ПРИГЛАШАЕМ
 К УЧАСТИЮ**



www.vt21.ru

Устроитель: ООО «ЭКСПО-ЭКОС»

Информация по телефонам: (495) 332-3595, 332-3601