



₪

7
2009

ХИМИЯ И ВИШИХ





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 30.6.2009

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 Константина Сомова «Вол-
шебство». Современная наука создает
такие технологии, которые еще
недавно казались магией. Об этом
читайте в статье «Невидимость».

*Синица в руках безопаснее,
чем журавль над головой.*

*Малоизвестный седьмой
закон Ньютона*

Содержание

Роснаука

ИСТОЧНИКИ РАЗНЫЕ, ТОК ОДИН	2
ВОДА И КЛЕЙ ДАЮТ ДОПОЛНИТЕЛЬНУЮ НЕФТЬ	2
ЧТО МЕНЬШЕ ПИКСЕЛЯ?	2
ОКСИД ЦИРКОНИЯ В ОПЕРАЦИОННОЙ	2
РОБОТ ПОЛЗЕТ ПО СОСУДУ	3
ВЫДЕЛИТЬ ДНК — ЭТО ПРОСТО	3
БАКТЕРИИ ПРОТИВ СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ	3

Научный комментатор

РЕАКЦИЯ НАЧАЛА ЖИЗНИ. Е. Клещенко	4
---	---

Здоровье

ЭКО: ОТ СЕНСАЦИИ ДО КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ. М. Б. Аншина	6
--	---

Фотоинформация

НАНОБАКТЕРИИ И КАЛЬЦИФИКАЦИЯ ПЛАЦЕНТЫ. П. М. Шварцбург, М. Б. Вайнштейн ...	14
---	----

Расследование

У-ХРОМОСОМА: ОСТАТОК ИЛИ ИТОГ? Н. Л. Резник	16
---	----

Глубокий эконо

ХИМИЯ И КРИЗИС. С. А. Заболотский	22
---	----

Вещи и вещества

НЕОБЫЧНЫЕ СВОЙСТВА ОБЫЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ. А. В. Марков	27
--	----

Технологии

СВЕРХПОЛИЭТИЛЕН. С. М. Комаров	30
--------------------------------------	----

Элемент №

МАРГАНЕЦ. М. П. Лябин, С. Ф. Строкатова	32
---	----

Расследование

РАДИОАКТИВНОСТЬ ВНУТРИ НАС. И. А. Леенсон	36
---	----

Проблемы и методы

НЕВИДИМОСТЬ. Митио Каку	40
-------------------------------	----

Технология и природа

ВЕРЬ ГЛАЗАМ СВОИМ! Н. В. Селезнева	44
--	----

Ученые досуги

ДИНО САПИЕНС. Г. Панченко	48
---------------------------------	----

Радости жизни

ОДА АХАТИНЕ. Н. Резник	52
------------------------------	----

Непростые ответы на простые вопросы

УКРОП. Н. Ручкина	54
-------------------------	----

Фантастика

ПЕРВАЯ ЗАПОВЕДЬ ДУЭЛЯНТА. Евгений Цепенюк	56
---	----

Материалы нашего мира

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ. М. Демина	64
-----------------------------------	----

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	20	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
ИНФОРМАЦИЯ	13, 39	ПИШУТ, ЧТО...	62
КНИГИ	31, 35	ПЕРЕПИСКА	64



Дорогие читатели! Мы продолжаем знакомить вас с научными исследованиями и разработками, выполняемыми российскими исследователями при поддержке правительственного агентства «Роснаука». Все исследования, представленные в новой рубрике, получили государственное финансирование в рамках контрактов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» (www.fcpir.ru).

ИСТОЧНИКИ РАЗНЫЕ, ТОК ОДИН

Хорошо, когда в нашем распоряжении есть альтернативные источники электроэнергии. Если по какой-то причине не работает один, можно переключиться на другой. В эйфории от широких возможностей, предоставляемых альтернативной энергетикой, как-то забывают о проблеме сопряжения различных источников питания. Топливные элементы, солнечные батареи, химические источники тока, автономные генераторы, ветроэлектрогенераторы, разнообразные аккумуляторы дают как переменный, так и постоянный ток с разными напряжением, силой тока и мощностью. А промышленным потребителям, например, нужен трехфазный переменный ток напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Эту проблему решили специалисты Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексева. Они разработали устройство сопряжения, позволяющее объединить в единую цепь различные первичные источники электроэнергии. Исследователи изготовили и испытали экспериментальный образец устройства сопряжения мощностью 10 кВА, на очереди образец устройства мощностью 100 кВА. Потери энергии при различных преобразованиях относительно невелики — суммарный коэффициент полезного действия устройства превышает 60%. Его отличительная особенность — модульное исполнение. В зависимости от имеющихся в наличии источников энергии и собственных нужд потребитель может сам определять архитектуру устройства сопряжения и из-

менять ее по мере надобности. Сами же модули выполняются как для промышленного применения, так и для бытовых целей (контракт 02.516.11.6045).

ВОДА И КЛЕЙ ДАЮТ ДОПОЛНИТЕЛЬНУЮ НЕФТЬ

Когда скважина истощилась, это вовсе не значит, что нефть закончилась. Может случиться так, что нефть в пласте еще есть, но действующего там давления не хватает, чтобы доставить ее из глубин на поверхность. В этом случае применяют методы повышения нефтедобычи, причем набор этих методов зависит от структуры каждого конкретного месторождения. В арсенал специалистов входят такие способы, как закачивание в пласт воды, добавление поверхностно-активных веществ, создание давления в пласте за счет жизнедеятельности микроорганизмов, разрушение препятствий для движения нефти с помощью гелей, перекрытие пластов и другие.

Перед учеными из Всероссийского нефтегазового НИИ им. академика А.П.Крылова была поставлена задача разработать технологию, которая повысила бы выход нефти на месторождениях ОАО «Славнефть». Для решения задачи они прежде всего создали трехмерную геологическую модель Ачимовского и Максимкинского месторождений нефти и сформировали базу данных кернов — образцов породы, полученных во время пробного бурения. Эти данные, а также информация о распределении давления и температуры в пластах дали ученым возможность выбрать методы, соответствующие условиям именно этих месторождений. Таких методов оказалось два. Первый — гидродинамическое воздействие, второй — изоляция высокопроницаемых слоев, через которые уходит нефть, за счет закачки в них жидкого стекла и гидрофобных эмульсий (контракт 02.532.12.9004).

Испытания этой технологии на скважинах трех участков Аганского месторождения в 2007 году позволили дополнительно получить 20 тыс. тонн нефти. В 2008 году в результате применения технологии на 15 участках шести месторождений было получено дополнительно 191 тыс. тонн нефти, а экономический эффект составил 1,15 млрд. рублей.

ЧТО МЕНЬШЕ ПИКСЕЛЯ?

В наш век цифровых технологий всем известно, что пиксель — это неделимая точка в графическом изображении, размер которой определяет пространственное разрешение изображения. Можно ли разделить неделимое? Такое по силам только физикам. Специалисты Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе РАН выдвинули идею субсегментированных, то есть состоящих из множества ячеек, пикселей. Более того, физики реализовали эту идею — создали образцы полупроводниковых субсегментированных пикселей и разработали узлы электронных устройств для регистрации сигнала от субсегментов. Следующий шаг — сборка из субсегментированных пикселей матриц размерностью 8x16 и объединение их в большие детектирующие экраны (контракт 02.516.11.6098).

Зачем все это нужно? В первую очередь — для детектирования с высоким позиционным и энергетическим разрешением ядерных излучений. Такие детекторы необходимы для контроля ядерных производств и технологий атомной энергетики. Их можно использовать также в радиационной медицине и для нейтронной томографии твердых объектов.

ОКСИД ЦИРКОНИЯ В ОПЕРАЦИОННОЙ

Оксид циркония с добавками оксида иттрия — самый перспективный керамический материал. За несколько десятков лет его исследования ученым удалось добиться, чтобы эта керамика держала удар лучше любой другой. К тому же она твердая, прочная, не боится высоких температур и химически инертная. Одно плохо — хрупкая. Теперь, благодаря российским исследованиям, хрупкость оксида циркония удалось снизить до приемлемого уровня.



Специалисты из Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН создали технологию получения кристаллов оксида циркония с легирующими добавками в виде нанопорошков и обычных кристаллов (контракт 02.523.12.3018).

Нанопорошки керамики сейчас проходят испытания, а из макрокристаллов уже удалось изготовить разные изделия — износостойкие, химически инертные волокна, применяемые при изготовлении проволоки, а также втулки подшипников. Но пожалуй, самое перспективное из них — керамический скальпель. (О подобных разработках «Химия и жизнь» рассказывала в октябрьском номере за прошлый год.)

В России каждый год делают более 6,5 млн. операций. При этом врачи используют либо одноразовые стальные скальпели, либо многоразовые, которые выдерживают не более 20 операций. Ученые создали технологическую схему, позволяющую выращивать кристаллы оксида циркония со скоростью 10 мм в час, затем разрезать кристаллы на пластины и затачивать. Полученные в результате скальпели давали рез почти в два раза более тонкий, нежели стальные, а служили в десять раз дольше — от ста до пятисот операций одним скальпелем. По оценке создателей технологии, при серийном производстве 1000 штук в месяц керамические скальпели будут стоить на 20% дороже, чем многоразовые стальные, но с учетом их большего срока эксплуатации экономия средств окажется значительной, не говоря уже о том, что отечественные изделия смогут заменить импортные.

РОБОТ ПОЛЗЕТ ПО СОСУДУ

Одно из частых заболеваний, особенно в пожилом возрасте, — закупоривание крупных сосудов атеросклеротическими бляшками, что приводит к так называемым аорто-бедренным и бедренно-подколенным окклюзиям. Зачастую следствием болезни становится ампутация конечностей. Смертность при проведении хирургических операций для лечения этого заболевания достигает 7–11%. Поэтому медики ищут способы, как снизить риск во время таких операций. Самое лучшее — ввести инструмент внутрь сосуда и удалить вещество, перекрывающее его просвет.

Чтобы достичь успеха, инструмент должен быть оснащен видеокамерой, средствами удаления бляшки, например, разрушения ее ультразвуком, а при движении по сосуду не повреж-

дать его стенки. Сотрудники МГТУ им. Н.Э.Баумана создали макет микроробота, способного передвигаться по достаточно крупным сосудам и удалять бляшки. Чтобы отработать детали устройства, исследователи создали специальный стенд, имитирующий поток крови. Диаметр робота — 8 мм, соответственно диаметр сосуда для него — 9–12 мм. Способ передвижения микроробота подобен тому, который использует червяк, то есть сокращение и расширение отдельных члеников тела. Такое движение возможно благодаря изменению давления жидкости во внутренних полостях микроробота (контракт 02.523.12.3009).

Именно такой способ перемещения, простота в управлении, а также отказ от небезопасных электромагнитных и пневматических двигателей выгодно отличают российского робота от подобных европейских и американских устройств. По сути, за рубежом нет прямых аналогов микроробота, разработанного в МГТУ им. Н.Э.Баумана. Из этого следует, что в России можно создать конкурентоспособное производство новых устройств медицинской техники.

ВЫДЕЛИТЬ ДНК — ЭТО ПРОСТО

Получение ДНК из любого образца в полевых условиях скоро перестанет быть фантастикой. В московском Институте молекулярной биологии разработали полностью закрытую автоматизированную систему, в которую можно поместить клинический образец, а на выходе получить ДНК (контракт 02.512.11.2089). Все операции выполняются в сменном модуле (картридже). Исследователи провели лабораторные испытания на различных образцах: цельной крови, плазме, слюне, моче. В испытаниях участвовал соисполнитель — Московский научно-практический центр борьбы с туберкулезом. Новый экстрактор ДНК доказал свою эффективность для выявления возбудителя туберкулеза и анализа его лекарственной устойчивости — задача, к сожалению, снова ставшая актуальной для России. С его помощью можно выявлять и другие инфекционные заболевания, а также контролировать чистоту донорской крови — ведь болезнетворные микроорганизмы удобнее всего распознавать именно по характерным последовательностям в их геномах. По результатам работы подана заявка на патент, предполагается, что изобретение будет конкурентоспособным и на мировом уровне.

АДАПТОГЕНЫ ИЗ ПРОБИРКИ

Запасы лекарственных растений в природе ограничены, кроме того, не все дикорастущие растения легко приживаются в культуре. Поэтому фармакологическая промышленность нуждается в новых источниках сырья. Один из путей решения этой проблемы — выращивание лекарственных растений в виде клеточной культуры. В Томском государственном университете получили два различных вида культуры клеток княжика сибирского. Это растение обладает ноотропным действием — стимулирует работу мозга, а также является адаптогеном. Такой способ выращивания княжика до сих пор нигде в мире не применяли. Ученые исследовали световой режим, оптимальный для культуры, и питательные добавки, регулирующие скорость роста. Обнаружилось, что биологически активных веществ в полученных клетках столько же, сколько в дикорастущих растениях, а значит, лекарство из клеточной культуры окажется таким же эффективным (контракт 02.512.11.2220).

БАКТЕРИИ ПРОТИВ

СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

«Цветение» воды вызывают синезеленые водоросли — микроорганизмы, которые на самом деле относятся не к растениям, а к особой группе живых существ, близкой к бактериям. Чтобы предотвратить позеленение воды, например, в бассейне, можно добавить в нее антисептик. Но для пруда, в котором помимо водорослей обитают и другие живые существа, лучше воспользоваться биологическим альгицидом — препаратом, убивающим водоросли. В уникальной коллекции микроорганизмов ФГУП ГосНИИгенетика удалось отыскать штамм (разновидность) безвредной бактерии *Brevibacillus laterosporus*, который выделял вещества, уничтожающие клетки водорослей. В присутствии этих бактерий зеленая вода сначала светлела, а потом становилось прозрачной. На основе этих бактерий создан биопрепарат, пригодный для борьбы с синезелеными водорослями в различных водных системах, как природных, так и технологических; подана заявка на патент (контракт 02.512.11.2159). В рамках Межправительственного российско-китайского соглашения планируются испытания препарата в Китае, в провинции Сычуань.



Реакция начала жизни

Абиогенный синтез рибонуклеотидов

Вопрос, который волнует не только любителей фантастики, но и ученых: когда мы найдем жизнь на экзопланете, похожей на Землю (а специалисты утверждают, что ждать осталось недолго, см. «Химию и жизнь», 2009, № 5), будут ли биообъекты построены из тех же белков и нуклеиновых кислот — или из совершенно иных молекул? От ответа на этот вопрос зависит многое. В сюжете фантастического рассказа — сможет ли герой съесть на завтрак инопланетное животное (или наоборот), насколько опасной окажется для героя местная микрофлора (или микрофлора кожи и кишечника героя для местной биосферы) и, наконец, возможны ли будут серьезные отношения между землянином и прекрасной инопланетянкой? Первые два вопроса наверняка будут важны и в реальной жизни, когда начнутся изучение и колонизация экзопланет. Но главное, что нам предстоит выяснить, связано все-таки с Землей, с историей жизни на нашей собственной планете. Случайными или неизбежными были химические реакции, которые привели к появлению биомолекул? Почему именно эти пять азотистых оснований, почему рибоза и дезоксирибоза, а не другие сахара, почему именно такой набор аминокислот и почему им соответствуют именно такие нуклеотидные триплеты? (Об аминокислотах и генетическом коде см., например, «Химию и жизнь», 2008, № 2.) Иначе говоря, химия живых существ — это закономерный результат заданных условий, в которых протекали реакции, или итог цепочки случайностей? И достаточно ли высока вероятность именно такого развития событий в «первичном бульоне», которое приводит к появлению жизни? Ведь если вероятность окажется низкой, это будет очко в пользу креационизма.

В мае 2009 года журнал «Nature» опубликовал статью, которая, без преувеличения, открыла новую эру в исследовании абиогенного синтеза. Мэтью Паунер, Беатрис Гирленд и Джон Сазерленд (Химическая школа Манчестерского университета) описали получение из элементарных органических молекул цитидина и уридина — двух из четырех нуклеозидов, входящих в состав РНК.

Теория «РНК-мира» (один из самых

последовательных ее сторонников в России — академик А.С.Спирин) признает сейчас большинством ученых. РНК — уникальное вещество, которое сочетает свойства фермента и носителя информации (иногда даже в пределах одной молекулы, вспомним самосплаивающую матричную РНК, которая сама катализирует вырезание своего некодирующего участка и сшивание кодирующих). Но если в начале была РНК, то хотелось бы продемонстрировать, как она возникла в отсутствие ферментов. А с этим до сих пор были проблемы. Простые органические молекулы достаточно охотно объединялись в более сложные, получались и сахара, и пурины с пиримидинами. Однако чтобы получить нуклеозид, азотистые основания должны были прореагировать с рибозой.

Напомним, что азотистые основания в составе нуклеиновых кислот — это пурины аденин (А) и гуанин (Г), а также пиримидины цитозин (Ц) и урацил (У), который в ДНК заменен тиминном. Они же плюс остаток моносахарида рибозы — рибонуклеозиды аденозин, гуанозин, цитидин, уридин, а нуклеозид плюс остаток фосфорной кислоты — это фосфорный эфир нуклеозида, или рибонуклеотид, мономер РНК (они называются аденозин-, гуанозин-, цитидин-, уридинмонофосфатами, или АМФ, ГМФ, ЦМФ, УМФ).

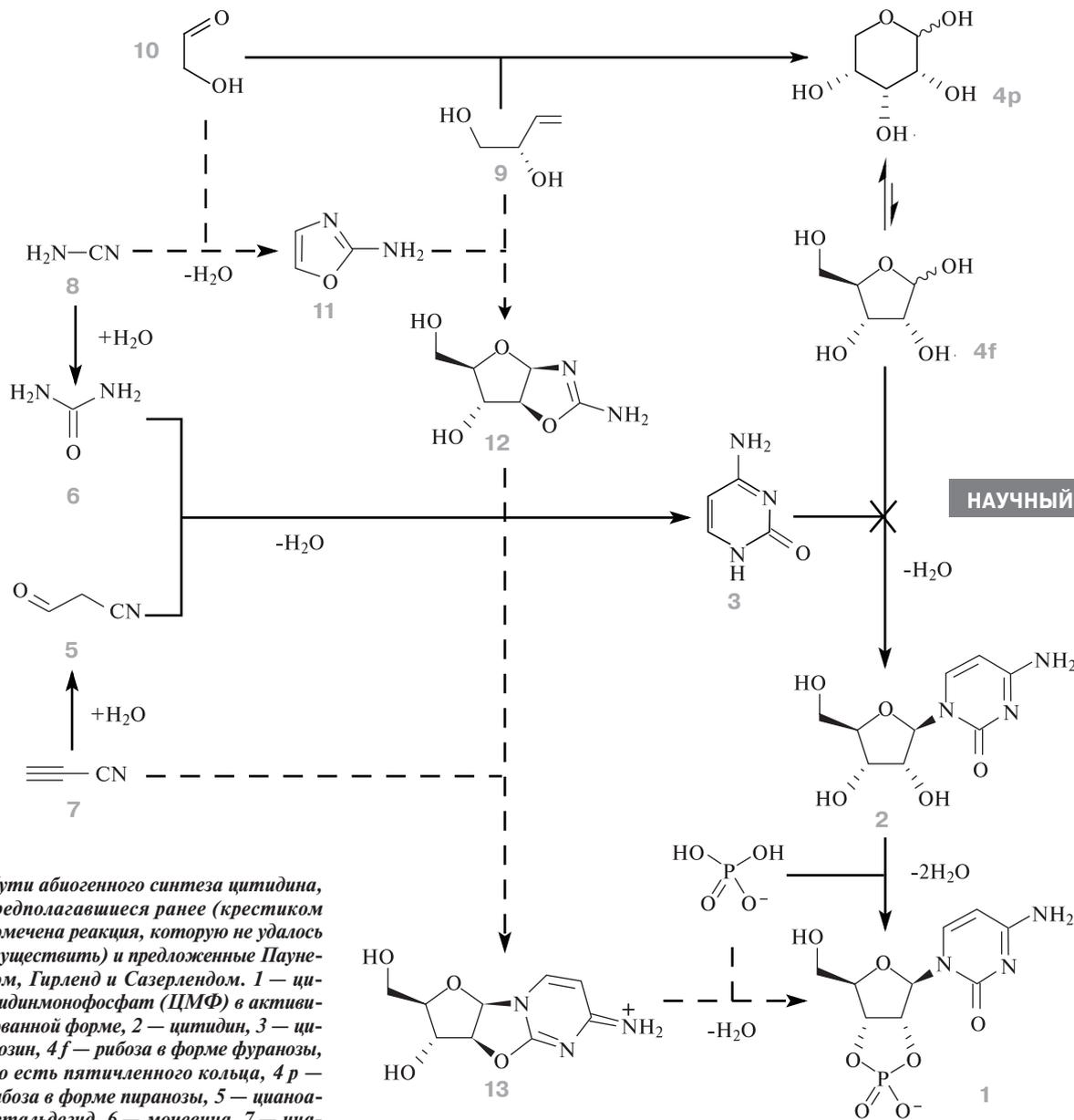
Так вот, аденозин и гуанозин в абиотических системах получить удавалось, хотя и с низким выходом, пиримидиновые же нуклеозиды и соответственно нуклеотиды никто получить не мог (см. формулы 1, 2, 3, 4). Пиримидины оказались настолько упорными, что научная общественность засомневалась: может быть, в начале была все-таки не РНК, а какой-нибудь полимер попроще?

До сих пор казалось очевидным, что исходными веществами для рибонуклеозида должны быть азотистое основание и рибоза. Поэтому в течение сорока лет экспериментаторы старались получить то и другое по отдельности, а потом заставить прореагировать. (Две капли или маленькие лужицы сначала были изолированы друг от друга, а затем слились...) Например, инкубация формальдегида в щелочном растворе давала смесь сахаров, а производные цианидов и аммиака — азотистые основания. Точнее, в том

и другом случае образовывались многокомпонентные смеси, малоперспективные для дальнейших реакций. Предполагалось, что разделение реакционных смесей увеличит выход нужных продуктов: чем больше исходных веществ, тем больше возможных комбинаций. По той же причине и фосфат не добавляли до самых последних стадий: сначала пусть будет нуклеозид, потом нуклеотид.

Британские исследователи поступили иначе: они соединили в одной реакционной смеси и азотсодержащие, и углерод-кислородные простейшие молекулы и туда же добавили фосфат. В результате «встречи» цианамида (8) и гликольальдегида (10) появился ключевой промежуточный продукт, казалось бы не очень похожий на «кирпичики» РНК: 2-аминооксазол (11). Ранее было известно, что такая реакция идет в сильно щелочной среде, не подходящей для следующих стадий, но фосфат действовал здесь и как рН-буфер, и как катализатор, позволив осуществить превращение при нейтральных значениях рН. Затем был получен арабинозоаминооксазол (12), причем присутствие фосфата снова резко повышало его выход. И на следующем этапе, когда арабинозоаминооксазол реагирует с цианоацетиленом (7), фосфат оказался полезным. В обычном водном растворе на этом этапе реакционная смесь застывает, образуется много разнообразных веществ, и выход «целевого» продукта получается низким, фосфат же стабилизирует кислотность. Кроме того, он «оттитровывает» избыток цианоацетилена, который иначе вступает в другие реакции, образуя «ненужные» продукты. Таким образом, добавление дополнительного компонента, который ранее считался нужным только на последней стадии, не увеличило, а, наоборот, ограничило разнообразие продуктов.

Реакция, известная и ранее, — фосфорилирование арабинозоангидронуклеозида — осуществляется при небольшом нагревании (как написал Александр Марков в новости, посвященной этой работе, на сайте Элементы.ру, «настало утро, вода в луже согрелась»). При этом получается так называемый активированный ЦМФ, в котором фосфат как бы распределен между двумя ОН-группами рибозы: ранее было показано, что такие мо-



НАУЧНЫЙ КОММЕНТАТОР

Пути абиогенного синтеза цитидина, предполагавшиеся ранее (крестиком помечена реакция, которую не удалось осуществить) и предложенные Паунером, Гирленд и Сазерлендом. 1 — цитидинмонофосфат (ЦМФ) в активированной форме, 2 — цитидин, 3 — цитозин, 4f — рибоза в форме фуранозы, то есть пятичленного кольца, 4p — рибоза в форме пиранозы, 5 — цианоацетальдегид, 6 — мочевина, 7 — цианоацетилен, 8 — цианамид, 9 — глициральдегид, 10 — гликольальдегид, 11 — 2-аминооксазол, 12 — арабинозааминооксазол, 13 — арабинозаангидро-нуклеозид

лекулы могут полимеризоваться, образуя рибонуклеотидную цепочку. А катализатором на этом этапе выступает обычная мочевина, причем для фосфорилирования используется либо пиррофосфат, либо фосфат (во втором случае в растворе должен присутствовать также формамид).

Найденный реакционный путь действительно очень красив, однако некоторые «неправильные» нуклеозиды и нуклеотиды все же возникают в реакционной смеси, а вот урацила не получается. Но что самое удивительное, обе эти проблемы разрешило ультрафиолетовое облучение смеси. (Прием, который не первое десятилетие используют исследователи абиогенного синтеза: в том, что ультрафиолета на пребиоти-

ческой Земле было в достатке, сомнений нет.) Под его воздействием разрушились все «посторонние» нуклеозиды, кроме цитидина, а часть цитидина превратилась в уридин. Цитидин и уридин оказались устойчивыми к ультрафиолету — видимо, это значит, что их присутствие в составе РНК не случайно.

И еще одна примечательная деталь: 2-аминооксазол способен возгораться при небольшом нагревании. В популярном синопсисе статьи Паунера и соавторов Джек Шостак (американский биолог, известный в том числе своими исследованиями «молекулярной эволюции») высказывает предположение, что в результате испарения и конденсации, например при смене дня и ночи, в укромных местах могли накапливаться значительные количества чистого 2-аминооксазола — вещества, из которого в три-четыре стадии получают ЦМФ и УМФ.

Конечно, осталось сделать еще многое: определить, где и как могли накоп-

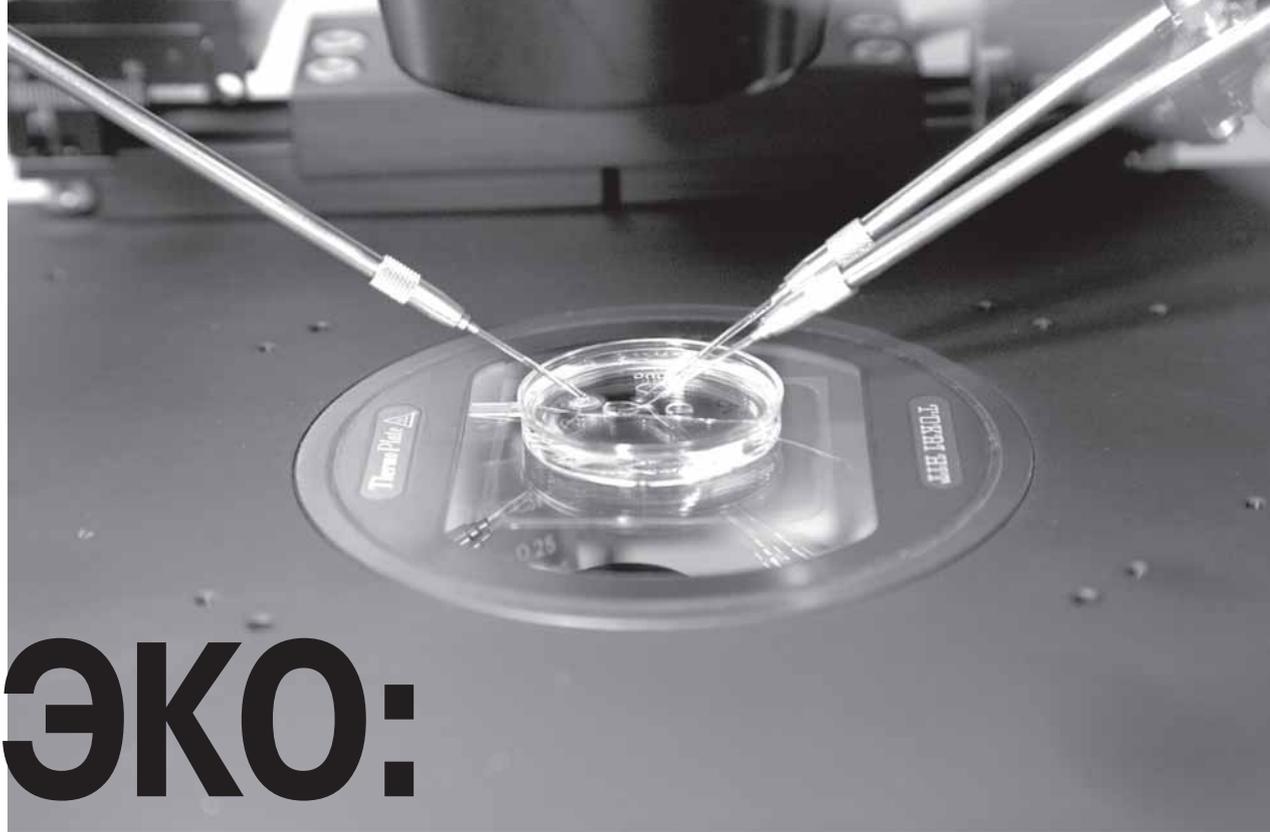
ливаться исходные вещества (хоть и простые, сами собой эти молекулы в водном растворе не возникают), найти столь же хороший путь синтеза пуриновых нуклеотидов — АМФ и ГМФ. Но даже без учета будущих возможностей ясно, что результаты получены блестящие. Первичный синтез биомолекул отныне стал менее загадочным. А химики, которых огорчает, что в последнее время лучшие открытия выпадают на долю биологов, имеют повод лишний раз напомнить: все началось с химической реакции.

Е.Клещенко

Источники:

Matthew W. Powner, Beatrice Gerland, John D. Sutherland. Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible condition. «Nature», 2009, т. 459, с.239.

Jack W. Szostak. Origins of life: Systems chemistry on early Earth. «Nature», 2009, т.459, с.171.



фотограф А. Константинов

ЭКО: от сенсации до клинической практики

М.Б. Аншина,

директор Центра репродукции
и генетики «ФертиМед» (Москва)

Вспомогательные репродуктивные технологии (ВРТ) — это комплекс методов, направленных на лечение бесплодия. В их число входят внутриматочное оплодотворение спермой мужа или донора, экстракорпоральное оплодотворение в различных модификациях, суррогатное материнство. Поскольку экстракорпоральное оплодотворение (ЭКО) — базисная технология для всех методов, относящихся к ВРТ, мы будем использовать эти термины — ЭКО и ВРТ — как синонимы.

Прорыв в области лечения бесплодия можно считать одним из самых значительных достижений XX века. Когда на свет появился первый ребенок «из пробирки», это было не просто сенсацией: много лет даже врачи-гинекологи отказывались верить в реальность «пробирочного» зачатия, пугали пациентов его чудовищными последствиями и продолжали лечить бесплодие путем бесмысленного и бесконечного продувания маточных труб. Сегодня вспомогательные репродуктивные технологии дают возможность иметь ребенка практически всем, в том числе и парам, еще совсем недавно считавшимся обреченными на бездетность. В мире родилось уже более трех миллионов детей, зачатых in vitro, и их число продолжает стремительно расти, составляя в некоторых странах (Исландия, Франция, Дания) 3–4% от общего числа всех новорожденных. Можно с уверенностью сказать, что сегодня из чуда этот метод превратился почти в рутинную практику.

Что такое бесплодие

В половине случаев причина бесплодного брака — нарушение репродуктивной функции у женщины: отсутствие проходимости маточных труб, нарушение или отсутствие овуляции, спайки в малом тазу, дефекты матки, эндометриоз и др. Однако не менее частая причина бесплодного

брака — нарушение репродуктивной функции у мужчины: не вырабатываются или недостаточно вырабатываются сперматозоиды, непроходимы семявыносящие протоки и т. д. Примерно в трети случаев детородная функция снижена у обоих партнеров. И наоборот, нередко у обоих могут быть идеальные показатели детородной функции, а беременность не на-

ступает из-за несовместимости партнеров (например, иммунологической). Это именно те случаи, когда после развода и у мужа, и у жены в новых браках рождаются дети. Примерно у 5% пар все показатели идеальны, а беременность не наступает. Это так называемое неясное, или необъяснимое, бесплодие.

В каких случаях нужно ставить диагноз «бесплодие» и начинать лечение? Было время, когда врачи не занимались обследованием пары, пока «стаж» бездетного брака не достигал четырех лет. В настоящее время считается, что, если при регулярной половой жизни без предохранения беременность не наступит в течение года, надо ставить вопрос о бесплодии. Этот срок — один год — определен статистически. У 20% здоровых супружеских пар беременность наступает в первый месяц совместной жизни, еще у 60% — в течение последующих семи, у оставшихся 20% — через одиннадцать-двенадцать месяцев после начала половой жизни. Таким образом, год — достаточный срок. Для женщин старше 35 лет этот срок должен быть сокращен до полугода. Для юных женщин он может быть удлинен до 2–3 лет.

Почему именно 35 лет считают рубежом? После 35 лет способность к естественному зачатию у женщины резко снижается. Это происходит потому, что в яйцеклетках накапливаются мутации —

Таблица 1.

Результаты лечения женского бесплодия разными методами (при хорошей сперме партнера)

	Все виды лечения, направленные на достижение естественного зачатия, включая хирургическое (за всю жизнь)	Внутриматочное оплодотворение (по сумме четырех попыток)	ЭКО (за одну попытку)
Если трубы непроходимы	13—17%	0%	30—50%
Если трубы проходимы, но есть спайки	13—17%	0—5%	30—50%
Эндометриоз	15—20%	15—17%	30—50%
Неясное бесплодие	10—12%	15—22%	30—50%
Если у женщины нет матки (программа суррогатного материнства)	0%	0%	30—50%
Если у женщины нет яичников (донорские яйцеклетки)	0%	0%	30—50%

Таблица 2.

Результаты лечения мужского бесплодия разными методами (при проходимых трубах у партнерши)

	Медикаментозное лечение (за всю жизнь)	Хирургические методы (за всю жизнь)	Внутриматочное оплодотворение (по сумме четырех попыток)	ЭКО (одна попытка)	ЭКО + ИКСИ (одна попытка)
Легкая форма мужского бесплодия	15—20%	15—20%	15—22%	30—35%	30—50%
Умеренная форма мужского бесплодия	7—8%	7—8%	15—18%	20—27%	30—0%
Тяжелая форма мужского бесплодия	0%	0%	0%	5—7%	30—40%
Отсутствие сперматозоидов в эякуляте (сперматозоиды получают путем биопсии)	0%	0%	0%	0—3%	25—30%

чем старше женщина, тем больше риск рождения ребенка с генетическим заболеванием, например с болезнью Дауна. Но чаще всего дефектные эмбрионы отторгаются организмом матери — беременность либо не наступает, либо прерывается на раннем сроке. Точно так же и при искусственном зачатии вероятность наступления беременности у молодых женщин значительно ниже, а вероятность рождения больного ребенка значительно выше, чем у женщин моложе 35 лет. Еще один фактор работает против беременности у женщин старшего возраста: активность яичников падает, с возрастом вырабатывается все меньше яйцеклеток.

Хотя ЭКО признано самым эффективным способом преодоления практически любой формы бесплодия, его не принято рассматривать как первый в ряду возможных методов лечения бесплодия. Тому есть несколько причин. Первая заключается в том, что ментальность и пациента, и врача пока еще не позволяет отказаться от предпочтительности естественного зачатия. Другая причина со-

стоит в высокой стоимости процедуры ЭКО, особенно если учесть, что для наступления беременности нередко требуется несколько попыток. Третья — в серьезных бытовых неудобствах, в необходимости для многих больных резко менять образ жизни, а порой и место жительства. Наконец, сложная, связанная с выполнением большого числа исследований, инъекций и манипуляций, а также с напряженным ожиданием положительного исхода, процедура ЭКО — сильный стресс для пациентов. Упомянутые причины заставляют во многих случаях идти традиционным путем: диагностика причины бесплодия, попытка



восстановления способности пары к естественному зачатию и только в случае неудачи — применение ВРТ.

Чем бы ни было вызвано мужское бесплодие, это найдет свое отражение в анализе спермы (спермограмме), поэтому оценка детородной функции мужчины сводится к этому простому исследованию. Другое дело — женское бесплодие. Здесь причин много: отсутствие анатомических условий для зачатия (непроходимость маточных труб, спайки в малом тазу), дефекты матки, эндометриоз, нарушение овуляции и др.

Когда причина бесплодия установлена, следующая задача — определить, какой метод приведет к наступлению беременности с наименьшей затратой времени, сил и денег? О мужском бесплодии подробнее расскажем ниже. Что касается женщин, некоторые формы эндокринного бесплодия хорошо поддаются гормональному лечению. Для всех остальных форм женского бесплодия вероятность наступления беременности естественным путем составляет не более 13—17% в течение всей жизни. В результате ЭКО — эта вероятность составляет 40—45% в расчете на одну попытку.

Если получается, что без ЭКО обойтись нельзя, нужно исключить наличие противопоказаний к этой процедуре и факторов, снижающих его эффективность: всевозможные опухоли, при которых ЭКО противопоказано, патологию матки и яичников, если она может помешать наступлению и вынашиванию беременности. Очень важно отсутствие инфекций и воспалительного процесса в слизистой и шейке матки, поэтому необходимо сделать мазки на флору и при необходимости вылечить воспаление. И конечно, женщине придется сдать множество анализов и пройти всестороннее обследование, чтобы исключить осложнения, связанные как с процедурой ЭКО, так и, собственно, с беременностью.

Допустим, обследование показало: делать ЭКО необходимо и можно. А как именно это делается?

Что такое ЭКО

Экстракорпоральное оплодотворение — это оплодотворение яйцеклетки вне организма женщины с последующим

переносом эмбрионов в ее матку. Детей, родившихся благодаря применению этого метода, с легкой руки журналистов называют «детьми из пробирки», поскольку те этапы развития яйцеклетки и эмбриона, которые обычно происходят в маточной трубе в первые дни после оплодотворения, при ЭКО происходят в условиях лаборатории.

Изначально метод ЭКО был разработан для женщин, у которых по тем или иным причинам удалили маточные трубы. Однако сегодня ЭКО в различных его вариантах стало самым эффективным способом лечения практически всех видов бесплодия. Эффективность ЭКО в некоторых центрах достигает 40–50%. Это очень много, если вспомнить, что вероятность естественного зачатия у совершенно здоровых мужчины и женщины в одном цикле не превышает 20%.

Во время предварительного ультразвукового исследования не только определяют состояние органов малого таза, но и оценивают фолликулярный резерв яичников. Зачем это нужно?

Яйцеклетки созревают в фолликулах — «пузырьках», заполненных жидкостью. Зрелая яйцеклетка после овуляции из яичника попадает в фаллопиеву трубу, а оттуда — в матку, где в случае оплодотворения имплантируется (прикрепляется к стенке): это и считается началом беременности. Созревание и выход яйцеклетки из фолликула (овуляция) регулируются гормонами гипофиза: фолликулостимулирующим (ФСГ) и лютеинизирующим (ЛГ), причем пик последнего «запускает» овуляцию. Этими гормонами, в свою очередь, управляет рилизинг-гормон, вырабатываемый в гипоталамусе.

Итак, с помощью УЗИ определяют количество «спящих» фолликулов в яичниках. К сожалению, бывает и так, что фолликулярный резерв полностью отсутствует (причиной может быть климакс или некоторые заболевания). Это значит, что придется использовать донорскую яйцеклетку. Если же результаты обнадеживают, следующей стадией будет стимуляция яичников.

Получение яйцеклеток

Первые попытки ЭКО проводились в естественных циклах: врачи прогнозировали момент овуляции, чтобы непосредственно перед ней отсосать содержимое фолликула и извлечь из него яйцеклетку. Именно с помощью ЭКО в естественном цикле появилась на свет Луиза Браун, первый «ребенок из пробирки». Однако этот способ оказался неудобным и малоэффективным. Работа целой лаборатории «привязана» к моменту овуляции пациентки — а происходит овуляция в большинстве случаев с двух до пяти часов ночи. Но самое



Манипуляции с половыми клетками требуют твердой руки



главное, что в естественном цикле невозможно получить более одной яйцеклетки, которая может оказаться незрелой, непригодной к оплодотворению. В итоге вероятность наступления беременности весьма невысока. Очень скоро практически все врачи, занимающиеся лечением бесплодия, перешли к контролируемой индукции суперовуляции или стимуляции яичников. Использование препаратов—индукторов овуляции (кломифена, а затем и гонадотропинов) повысило частоту наступления беременности в 2–3 раза. Дело в том, что стимуляция позволяет получить не одну, а сразу несколько яйцеклеток и соответственно несколько эмбрионов, затем выбрать из них наиболее качественные для переноса в матку, а оставшиеся заморозить.

Нельзя сказать, что применяемые к началу 90-х режимы стимуляции яичников удовлетворяли клиницистов. Зачастую получение яйцеклеток срывалось из-за преждевременной овуляции. Эта проблема была решена с помощью препаратов — агонистов гонадотропин-ри-

лизинг-гормона и последующего введения гонадотропинов, что позволило полностью взять под свой контроль рост и созревание фолликулов. Поиск идеальных препаратов и режимов их применения продолжается по сей день. Появились рекомбинантные, то есть полученные методами генной инженерии, гонадотропины и антагонисты гонадотропин-рилизинг-гормона.

Особая роль в ЭКО принадлежит хорионическому гонадотропину (ХГ). Оказалось, что он имитирует биологические эффекты лютеинизирующего гормона, в том числе вызывает овуляцию через определенное время после введения. Поэтому его используют для завершения процессов созревания яйцеклеток.

Единого, идеального для всех пациентов протокола стимуляции не существует. У разных женщин яичники по-разному реагируют на одни и те же препараты. Бывают чрезвычайно активные яичники, и в этом случае велик риск синдрома гиперстимуляции. Чаще этот синдром протекает в легкой форме. У женщины могут быть вздутие и боль в животе из-за увеличения яичников, одышка, головокружение, иногда тошнота и рвота. Однако в некоторых случаях, особенно при наступлении беременности, он может оказаться настолько тяжелым, что понадобится госпитализация. Отсюда ясно, что гормональная стимуляция требует от врача большой осторожности и индивидуального подхода при выборе режимов и доз индукторов суперовуляции.

Ответ яичников на стимуляцию контролируют с помощью УЗИ (трудно переоценить значение этого метода для вспомогательных репродуктивных технологий). Это позволяет корректировать дозу препаратов и расчитать момент получения яйцеклеток. Пункцию выполняют амбулаторно, под ультразвуковым контролем, как правило, с использованием внутривенного обезболивания.

В 70–80-е годы для получения яйцеклеток делали лапароскопию, то есть разрез брюшной стенки. Сегодня эта техника ушла в прошлое, а повсеместное распространение и признание получила трансвагинальная (то есть производимая через влагалище) ультразвуковая пункция яичников, которая с успехом применяется уже два десятка лет. Процедура, хотя и хорошо отработанная, не самая простая: возможны такие серьезные осложнения, как внутрибрюшное кровотечение. Обычно пациентка после пункции два часа находится в стационаре, и при малейшем подозрении на кровотечение ее немедленно госпитализируют. Экстренное хирургическое вмешательство требуется лишь в редких случаях.



Некоторым женщинам стимуляция яичников категорически противопоказана, например, при злокачественных опухолях в прошлом и настоящем, тиреотоксикозе и других заболеваниях. Кроме того, есть категория женщин, которые не отвечают на стимуляцию яичников, — и в естественном, и в стимулированном цикле у них созревает в лучшем случае один фолликул. Наконец, есть женщины, не желающие подвергаться гормональной стимуляции. Для всех этих пациенток возможно проведение ЭКО в естественном цикле. Его эффективность — около 18% в расчете на перенос эмбрионов, то есть около 10% в расчете на начатый цикл, поскольку далеко не каждая пункция завершается переносом эмбриона. Альтернативой остается ЭКО с донорскими яйцеклетками.

Почему может быть двойня?

Наконец, яйцеклетки, полученные во время пункции, «встречаются» со сперматозоидами, и начинается культивирование в специальных условиях, при температуре 37°C и почти стопроцентной влажнос-

переносом искусственно проделывают в оболочке эмбриона отверстия. В некоторых случаях это повышает частоту имплантации эмбриона.

Для ЭКО характерна высокая частота многоплодных беременностей. Если при естественном зачатии рождается одна двойня на 70–80 родов, одна тройня на 9000 родов и одна четверня на 50 000 родов, то после ЭКО многоплодие, включая двойни, тройни и четверни, встречается примерно в половине всех беременностей!

Количество переносимых эмбрионов поначалу никак не ограничивали — переносили столько, сколько удавалось получить. Однако опыт показал, что перенос более четырех эмбрионов практически не повышает частоты наступления беременности, зато повышает вероятность многоплодной беременности и всех связанных с этим проблем: преждевременных родов и рождения маловесных нежизнеспособных детей.

Впервые об ограничении числа переносимых эмбрионов заговорили в 1990 году на заседании европейского совета Всемирной организации здравоохране-



Оплодотворение яйцеклетки производится в стерильном боксе, под микроскопом

ти сначала половых клеток, а затем и эмбрионов. Продолжается оно от трех до шести суток. Время культивирования зависит от количества и качества эмбрионов. Показано, что оптимальный срок для переноса эмбрионов в матку женщины — пятый день после пункции, то есть на стадии бластоцисты. Как правило, обезболивания эта процедура не требует. У некоторых женщин, чаще у немолодых, так называемая блестящая оболочка эмбриона может быть очень плотной. Тогда применяют вспомогательный хэтчинг (от англ. hatching — вылупление из яйца): перед

ния. Там обсуждалась впечатляющая статистика: из 10 000 тысяч детей, родившихся во Франции после ЭКО, в живых остались только 6000, остальные, в абсолютном большинстве из многоплодных беременностей, погибли.

В настоящее время принято переносить не более двух эмбрионов, и лишь некоторым женщинам (старше 38 лет, имевшим неоднократные неудачные попытки ЭКО в прошлом) — не более трех. Во многих странах закон запрещает переносить более двух эмбрионов (а вот в США, к примеру, такого ограничения нет: у всех на слуху случай Нади Сулеман, в феврале 2009 года родившей восемь близнецов, зачатых методом

ЭКО). Заметим, что «лишние» эмбрионы необязательно уничтожают: их можно сохранить в замороженном виде. Как и зачем — об этом далее.

Что делать, если многоплодная беременность все-таки наступила? В 30% случаев до 8–9 недель, а иногда и позже происходит спонтанная редукция: «лишние» плоды уходят сами по себе. Если этого не произошло, до 14-й недели беременности проводят редукцию «лишних» плодов под ультразвуковым контролем. Их не удаляют, а при помощи специальных манипуляций останавливают развитие. Риск полного прерывания беременности при этом составляет около 15%. Понятно, что даже при благоприятном для остальных эмбрионов исходе редукция представляет серьезную моральную проблему и для пациентов, и для врачей. Поэтому основные усилия сегодня направлены на профилактику многоплодной беременности путем жесткого ограничения числа переносимых эмбрионов, нередко до одного.

После переноса эмбрионов можно повысить вероятность их имплантации с помощью определенных препаратов (как правило, прогестерона или его аналогов). Назначают их обычно на следующий день после пункции яичников. Очень важно, чтобы пациентка не прекращала принимать их после того, как тест на беременность даст положительный результат: резкая отмена препаратов может привести к ее прерыванию. Вообще, при лечении бесплодия методом ЭКО от женщины требуются большое терпение, дисциплина и скрупулезное соблюдение всех предписаний врача.

Тест на беременность — определение в крови хорионического гонадотропина — проводится на 12-й день после переноса эмбрионов. Если тест положительный, это считается «биохимической» беременностью, то есть подтверждением того факта, что имплантация состоялась. Через две недели после биохимического теста делают УЗИ для визуализации плодного яйца и сердцебиения у эмбриона. Лишь после этого говорят о клинической беременности.

Надо помнить, что наступление беременности — это только начало процесса, который должен закончиться рождением здорового ребенка. Среди бере-

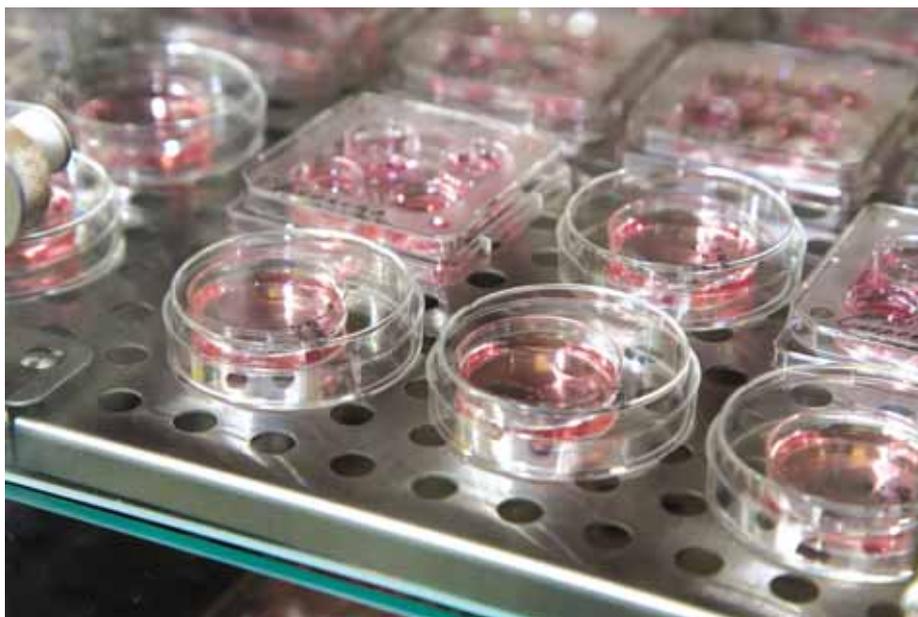
менных после лечения бесплодия, в особенности после ЭКО, очень велик риск невынашивания. Поэтому с самых ранних сроков беременности, практически с момента ее наступления, женщина должна находиться под наблюдением опытного специалиста. Не столь редкое осложнение после ЭКО — внематочная беременность и даже сочетание маточной и внематочной беременности. Поэтому пациентке при малейших болях в животе или кровянистых выделениях следует обратиться к врачу.

ИКСИ

ЭКО помогает многим пациентам с мужским фактором бесплодия, однако если в эякуляте менее 4 миллионов активно подвижных сперматозоидов (в норме — десятки или сотни миллионов), то эффективность метода резко снижается. А ведь иногда удается обнаружить лишь единичные сперматозоиды или их вообще нет! Чтобы повысить вероятность оплодотворения, пытались вводить сперматозоиды под блестящую оболочку яйцеклетки, делать в ней отверстия и т. д., однако эффект был минимальным. В начале 90-х годов Лизелотта Меттлер (Mettler) попробовала вводить сперматозоиды прямо в ооциты, и тогда же она сообщила о полной неэффективности этой микроманипуляции. Лишь спустя 10 лет Джанпьеро Палермо и Андре ван Стейртегейм с соавторами в Брюссельском свободном университете повторили эти попытки и получили частоту наступления беременности, сравнимую с обычным ЭКО. Тогда же стала понятной причина драматической неудачи Меттлер. Оказалось, что недостаточно острый инструмент — игла, несущая сперматозоид, — не проникает в цитоплазму яйцеклетки, а лишь отодвигает мембрану. В итоге мужские половые клетки не попадают внутрь яйцеклетки.

Когда были созданы специальные инструменты и отработана техника инъекции (с контрольным всасыванием цитоплазмы, чтобы убедиться, что игла прошла через мембрану), а также установлено множество других тонкостей (обездвиживание сперматозоидов, ориентация яйцеклетки относительно иглы в момент инъекции и т. д.), выяснилось, что при самых тяжелых формах мужского бесплодия частота наступления беременности после применения этого метода даже превышает таковую после обычного ЭКО. Новый метод получил название ИКСИ (от англ. ICSI, intracytoplasmic sperm injection).

И в тех случаях, когда в эякуляте мужчины вообще нет сперматозоидов, бесплодие иногда удается преодолеть. Сперматозоиды или их клетки-предшественники — сперматиды получают пу-



Здесь, в термостате, начинается развитие эмбрионов

тем биопсии яичек или их придатков и впрыскивают в яйцеклетки. В итоге ИКСИ позволяет практически отказаться от использования донорской спермы, ее применяют сегодня только у 2% пар.

Таким образом, метод ИКСИ дал возможность иметь генетически родных детей даже мужчинам с тяжелыми формами бесплодия. Однако последние исследования говорят о повышенной частоте генетической патологии у таких мужчин и возможности передачи этой патологии потомству. Поэтому вопрос безопасности лечения мужского бесплодия методом ИКСИ пока остается открытым.

Особые случаи

Процедура ЭКО применима даже тогда, когда у женщины удалена матка. Но в этом случае приходится прибегать к помощи суррогатной матери. Полученные у женщины яйцеклетки оплодотворяют спермой мужа, а затем переносят эмбрионы в матку другой женщины, согласившейся вынашивать ребенка и после родов отдать его «хозяйке» яйцеклеток, то есть «генетической» матери.

Все чаще применяется ЭКО и у женщин после удаления яичников или с нефункционирующими яичниками. Таким пациентам переносят эмбрионы, образовавшиеся в результате оплодотворения донорских яйцеклеток спермой мужа. Затем проводится заместительная гормональная терапия, имитирующая состояние женщины при обычной беременности.

В последние годы в центры по лечению бесплодия нередко обращаются женщины далеко за 50, а то и 60 лет, у которых яичники не работают из-за климакса. Некоторые из них становятся матерями, о них пишут СМИ, но они никогда не сообщают о том, что во всех таких случаях



используются донорские клетки. Следует знать, что беременность, роды и применение большого количества гормональных препаратов в таком возрасте — это ломка природы, которая может привести к катастрофическим последствиям для здоровья женщины.

Бывают случаи, когда половых клеток нет у обоих партнеров. Тогда донорские яйцеклетки оплодотворяют донорской спермой и в матку женщины переносят, таким образом, донорские эмбрионы. То есть в результате пара получает генетически чужого ребенка. Более того, случается, что и вынашивает беременность не будущая мать, а суррогатная. Может возникнуть вопрос: зачем так сложно? Не проще ли взять ребенка из детдома или роддома? Это не совсем так. Родители брошенных детей — это, как правило, асоциальные элементы, нередко психически больные, алкоголики и наркоманы. Донорские эмбрионы — результат сливания половых клеток от совершенно здоровых мужчин и женщин, тщательно и всесторонне обследованных, без вредных привычек и чаще всего имеющих собственных здоровых детей.

Иногда ошибочно называют суррогатной матерью женщину, беременность которой возникла в результате внутриматочной инсеминации спермой не ее мужа, а мужа женщины-заказчицы. Это ошибка! В этом случае женщина вына-

шивает генетически родного ребенка и является не суррогатной, а настоящей матерью. Не будет сюрпризом, если она не отдаст ребенка родителям-заказчикам. По этой же причине в центрах ЭКО у суррогатных мам никогда не берут яйцеклетки для тех женщин, чью беременность они будут вынашивать.

Возможность лечения бесплодия существенно расширилась благодаря технике замораживания (криоконсервации) сперматозоидов, яйцеклеток и эмбрионов. (О криоконсервации см. «Химия и жизнь», 2007, № 9.) Представим, например, что женщину путем интенсивной стимуляции подвели к моменту пункции и получения яйцеклеток, а ее мужа внезапно отправили в длительную командировку. Использование замороженной спермы позволяет провести ЭКО и в отсутствие мужа. Другой случай: у мужа неважные показатели спермограммы, однако замораживание и последующее соединение нескольких порций спермы дают возможность набрать минимальное количество сперматозоидов, необходимое для ЭКО.

Замораживание — весьма ценное подспорье при создании банка донорской спермы: во-первых, появляется возможность использовать сперму с нужными характеристиками в любое время и в любом месте (чаще всего требуется определенная национальность, фенотипические признаки, сходные с мужем и т. д.). Кроме того, благодаря полугодовому карантину замороженной спермы удается осуществлять двойной контроль в отношении ее зараженности инфекциями, передаваемыми половым путем (вирусами СПИДа, гепатитов, сифилисом и др.), что практически исключает опасность для женщины и плода.

Замороженные эмбрионы можно использовать в новых циклах ЭКО. При удачном исходе у пары может появиться желание через несколько лет родить еще одного ребенка. В случае неудачи наличие замороженных эмбрионов позволит обойтись без повторной стимуляции и пункции яичников. Доказано, что замораживание и размораживание эмбриона не влияют на здоровье будущего ребенка. Частота наступления беременности после переноса размороженных эмбрионов достигает 20–30%, то есть практически такая же, как после переноса свежих эмбрионов, а в нашей клинике даже выше — 45%. Кроме того, мы применяем так называемый комбинированный перенос эмбрионов, когда одновременно переносят размороженный и свежий эмбрион, полученный в результате ЭКО в естественном цикле. Частота наступления беременности при этом составляет более 70%. Такой перенос особенно показан женщинам, у которых заморожено небольшое число эмбрионов (от одного до трех).

Наконец, о грустном. Замораживание спермы и яйцеклеток перед операцией, химио- или лучевой терапией — это возможность иметь потомство для людей, которым предстоит тяжелое лечение в связи с онкологическими заболеваниями, или людей, чья работа либо служба в армии сопряжены с высоким риском потери фертильности (облучение, высокие температуры и т. д.) или даже рисков для жизни (служба в горячих точках). Сохраненные клетки позволяют получить потомство от уже погибших родных.

Сегодня в мире насчитывается несколько сотен детей, родившихся после использования спермы, взятой и замороженной с той же целью посмертно. Самыми сложными здесь оказались юридические вопросы, связанные с признанием материнства или отцовства людей, которых иногда еще до зачатия нет в живых.

Диагностика до беременности и пренатальная диагностика

Конечно, будущих родителей волнует вопрос о здоровье детей, зачатых «в пробирке». Как уже говорилось, в мире насчитывается более 3 миллионов детей, родившихся благодаря применению ЭКО. Частота уродств у них не превышает таковую у детей, зачатых обычным путем. Всевозможные спекуляции на тему риска врожденной патологии после применения ЭКО и ИКСИ абсолютно бездоказательны и всегда преследуют какие-то политические цели.

ЭКО оказалось не только уникальной технологией лечения бесплодия, но и единственным пока методом, который дает доступ к зародышевому материалу и позволяет осуществлять диагностику наследственных заболеваний еще до переноса эмбрионов в матку матери, то есть до наступления беременности. Иначе говоря, если известно, что один из родителей будущего ребенка — носитель мутации, ответственной за наследственное заболевание, то можно проверить, есть ли этот ген в эмбрионе, и не переносить его в матку матери. Напомним, что в каждой клетке человека имеется двойной набор генов, а в каждую яйцеклетку или сперматозоид попадает один из них. У многих носителей «опасных» генов только один из них связан с болезнью, другой нормальный. Это означает, что вероятность передать ребенку заболевание при естественном зачатии составляет 50%

До недавнего времени единственным способом предотвратить рождение больного ребенка было прерывание беременности после того, как получали подтверждение генетической патологии у плода методами пренатальной диагностики. Не говоря о небезопасности



этих методов, следует сказать об огромной моральной травме, связанной с прерыванием беременности. Всего этого позволяет избежать преимплантационная генетическая диагностика (ПГД). Она существует в двух вариантах.

Если носительница опасного гена — мать, то можно отбраковывать яйцеклетки, взяв для анализа поллярное тельце — маленькую «сестринскую» клетку, которая отделяется от яйцеклетки на последнем этапе ее созревания и идентична ей генетически. При втором подходе выполняют биопсию эмбриона, например, на третий день культивирования (на дальнейшем развитии эмбриона это никак не скажется), то есть отщипывают от эмбриона одну клетку, исследуют в ней ДНК, определяя, в каких из них находятся «здоровые» гены, и в дальнейшем переносят в матку именно эти эмбрионы.

Для пар, которые по возрасту относятся к группе высокого риска рождения детей с хромосомными нарушениями, аналогичным образом проверяют кариотип — число и вид хромосом у эмбриона. В тех случаях, когда немолодая женщина во что бы то ни стало хочет родить ребенка, ей также рекомендуется прибегнуть к преимплантационной диагностике. (Как уже было сказано, вероятность хромосомных дефектов после 35 лет резко возрастает.) Если яичники женщины отреагировали на стимуляцию, полученные у нее яйцеклетки проверяют на наличие хромосомных дефектов и отбирают для переноса только здоровые. Оказалось, что частота наступления беременности при таком подходе у пожилых женщин вполне сравнима с таковой у молодых.

Число заболеваний, в связи с которыми выполняется ПГД, неуклонно растет. Если недавно это были пять заболеваний (гемофилия А, муковисцидоз, дистрофия Дюшенна, болезнь Тея — Сакса, дефицит альфа-1-антитрипсина), то сегодня в мире уже выполнена ПГД по ста с лишним наследственным заболеваниям. Более того, сегодня реализована идея профилактики не только наследственных заболеваний, которые проявляются сразу после рождения, но и заболеваний с наследственной предрасположенностью, таких, как различные формы рака, болезнь Альцгей-

мера и др., которые могут проявиться через много лет после рождения человека. Только ПГД дает возможность прервать онкологическую наследственность в «раковых» семьях, где рак передавался из поколения в поколение.

Еще раз подчеркнем, что преждевременно делать заключение о безопасности для пожилых женщин как лечения бесплодия, так и беременности. Однако если они все же принимают такое решение, преимплантационная диагностика хромосомных нарушений — самый разумный подход. К сожалению, она доступна пока еще немногим семейным парам. Поэтому необходимо соблюдать главное правило: независимо от способа зачатия, если беременность наступила у женщины старше 35 лет, она должна пройти пренатальную диагностику.

На определенных сроках беременности (12, 16 и 20 недель) делаются УЗИ и анализ крови на содержание хорио-

нического гонадотропина, альфа-фетопротеина и ассоциированного с беременностью протеина-А плазмы (ПАПП-А). Концентрации этих белков при патологии отличаются от нормы. Данные анамнеза, УЗИ и анализа крови вводят в программу расчета риска. Если программа показывает, что риск рождения ребенка с хромосомными дефектами велик, то генетик рекомендует второй, инвазивный этап диагностики — биопсию хориона или прокол плодного пузыря с последующим культивированием и исследованием клеток, полученных из амниотического жидкости. По результатам этого исследования выдаются рекомендации — вынашивать или прервать беременность. Риск самопроизвольного прерывания беременности после инвазивной пренатальной диагностики составляет около 2%.

В последнее время пренатальную диагностику проводят и на более ранних сроках, начиная с 7–8 недель. В этом

случае при необходимости выполняют биопсию хориона. Риск самопроизвольного аборта при этом еще меньше, а последствия искусственного прерывания беременности (если оно будет рекомендовано) значительно мягче.

Напоследок хотелось бы подчеркнуть, что своевременное обращение к квалифицированным специалистам — это залог успешного лечения бесплодия. Чем моложе пациентка, тем выше их шанс на то, что очень скоро они станут счастливыми родителями. В то же время нельзя приходить в отчаяние, если первая или даже вторая и третья попытки ЭКО оказались неудачными. В конце концов вы обязательно добьетесь успеха, и ваш малыш станет вам наградой за терпение и настойчивость.

Автор статьи — Маргарита Бениаминовна Аншина, директор Центра репродукции и генетики, основатель журнала «Проблемы репродукции», лауреат премии правительства РФ в области репродуктивной медицины — отвечает на вопросы «Химии и жизни».

Правда ли, что в последнее время становится больше бесплодных пар?

Не думаю. Множество примеров бесплодного брака дает еще Ветхий Завет. Многие исторические личности, выдающиеся вожди, политики, ученые, музыканты, художники не оставили после себя потомства. Во все времена доля бездетных пар составляла примерно 15–20% от всей популяции репродуктивного возраста. Эти цифры примерно одинаковы во всех странах, где вообще ведется такая статистика. Существенно другое: резко выросла продолжительность жизни человека и соответственно этому так же резко возросла продолжительность репродуктивного возраста. Ну кому бы еще полвека назад пришло в голову говорить о бесплодии и его лечении у женщин в 40–45 лет, у мужчин в 60? А сегодня это обычная практика — отсюда и впечатление, что бесплодия стало больше.

Но что-то в репродукции человека изменяется со временем, со сменой поколений? Как было у наших бабушек и как сейчас у их внуков? Можно ли пофантазировать о том, что ждет правнуков?

Наши бабушки выходили замуж в 15–18 лет, а с 26 считались «старыми первородящими». Сегодня этот термин вообще потерял смысл, так как возраст первых родов у «внуков» неуклон-

но движется в сторону после 30, а фактом первой беременности после 40 и даже 60 тоже уже никого не удивишь.

Что касается фантазий, то стоит упомянуть вполне реалистичный сценарий: возможно, образованные, деловые женщины и мужчины будут стремиться замораживать и сохранять свои половые клетки до того момента, пока не посчитают свой карьерный путь завершенным, и только после этого прибегнут к искусственному оплодотворению с помощью сохраненных яйцеклеток и сперматозоидов. Кроме того, прогресс в области вспомогательных репродуктивных технологий, а именно клонирование, позволит получать половые клетки из любых других клеток организма, что дает дополнительный шанс на деторождение пожилым, кастрированным по разным причинам людям и представителям нетрадиционной сексуальной ориентации.

Какие причины бесплодия сейчас выходят на первый план?

Самая частая причина бесплодия у женщин — непроходимость маточных труб. Она возникает как результат спаечного процесса в исходе операций, инфекций, аборт. На втором месте — эндокринные факторы, которые ломают овуляцию. Затем эндометриоз, пороки развития половой системы. У мужчин частые причины бесплодия — непроходимость семенных канальцев, нарушение сперматогенеза, связанного с перенесенными инфекциями или



эндокринными нарушениями. Очень сильно калечит сперматогенез варикоцеле — варикозное расширение вен семенного канатика и яичка: застой крови приводит к повышению температуры в области мошонки, как и тесные джинсы, между прочим. Частота мужского бесплодия действительно несколько выросла в связи с распространением вредных для сперматогенеза профессий, связанных с высокими температурами, радиацией, другими источниками энергии. Сегодня считается, что ответственность за бесплодный брак лежит поровну на мужчинах и женщинах.

Что, по вашему мнению, сегодня самое важное в сексуальном воспитании молодого поколения?

Молодым людям обоего пола я бы посоветовала не увлекаться легкой сменой половых партнеров. Простота и доступность сексуальных связей — вопрос не только системы ценностей, в которой любви отводится все меньше места. Это вопрос здоровья, и в первую очередь — способности к деторождению.

СОРБОМЕТР™

АНАЛИЗАТОРЫ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ И ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предназначены для исследования текстурных характеристик дисперсных и пористых материалов, в том числе нанокмпозитов, 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

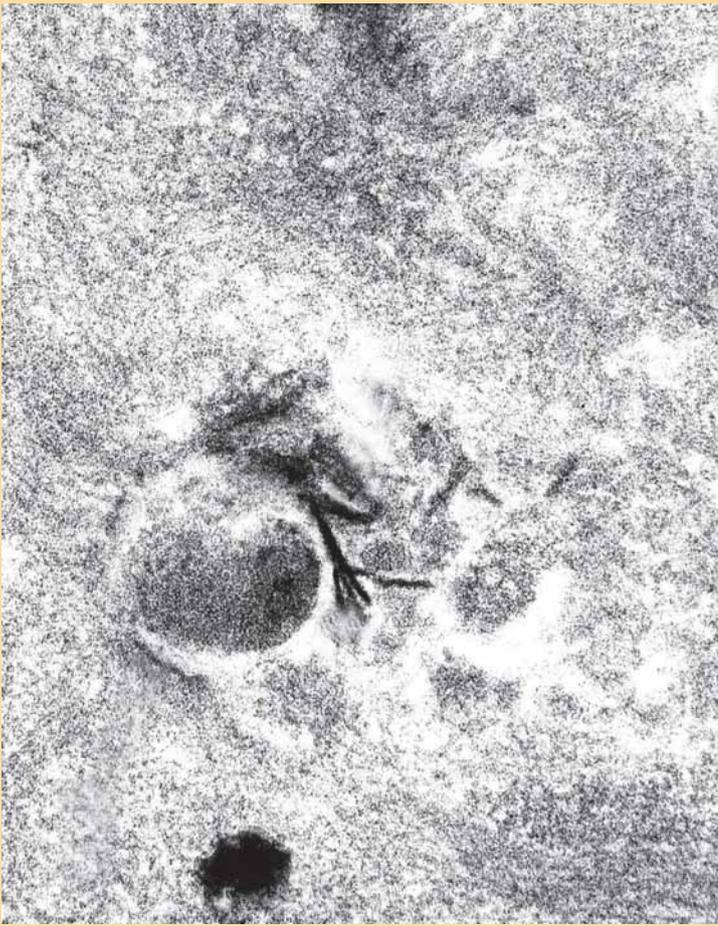


Прибор **СОРБОМЕТР-М** обеспечивает

- Измерение изотермы адсорбции
- Измерение удельной поверхности многоточечным методом БЭТ и STSA, объёма 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



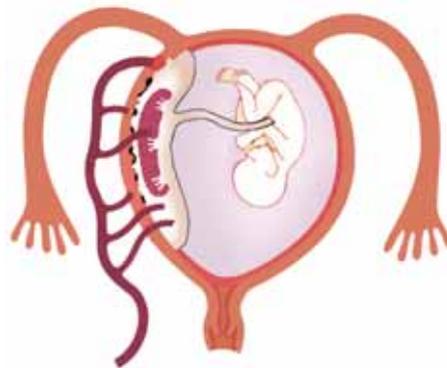
Игольчатые кристаллы фосфата кальция рядом с нанобактериями



Нанобактерии и минеральные отложения (большое черное пятно) находятся в микрополостях кальцифицированной плаценты.

Нанобактерии и кальцификация плаценты

Один из патофизиологических процессов, которые на протяжении последнего столетия привлекают внимание ученых, — биоминерализация мягких тканей, то есть образование в них отложений фосфата кальция. В частности, от кальцификации серьезно страдает плацента. У некоторых беременных женщин уже на 21—31-й неделе беременности в плаценте появляются кальциевые отложения, которые легко обнаружить при ультразвуковой диагностике. Кальцификация мешает развитию плаценты и нормальному росту плода. Добавим, что кальцификация — одна из самых малоисследованных патологий беременности.



Кальцификация плаценты — одна из самых загадочных патологий беременности. Скопления фосфата кальция, нарушающие развитие плода (выделены черным), хорошо видны при ультразвуковом исследовании

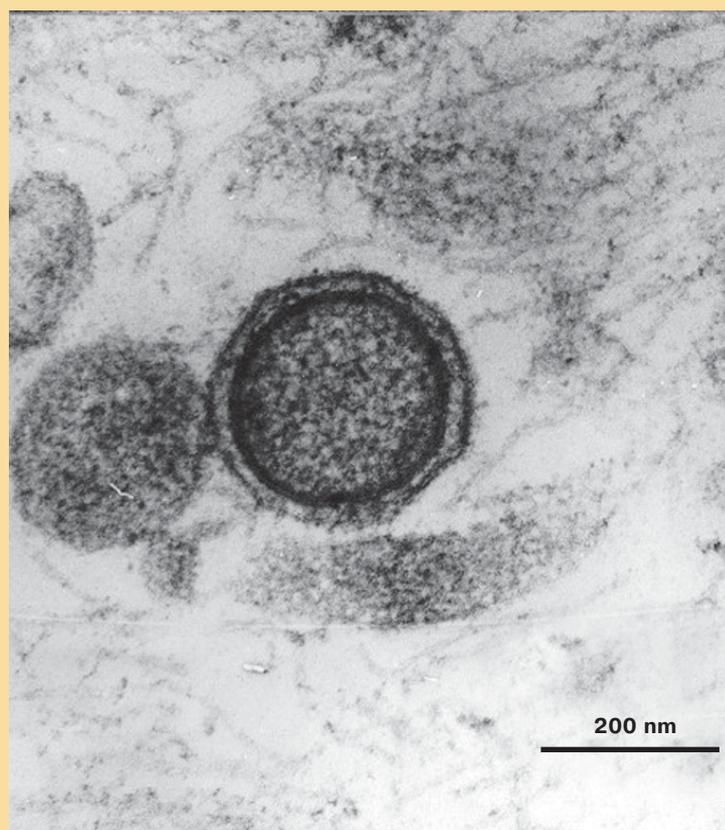
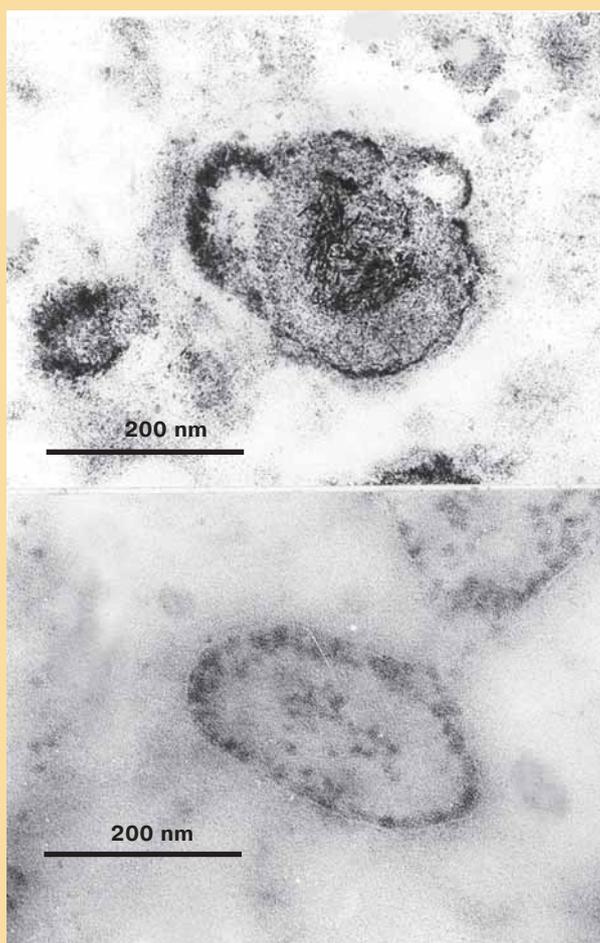
Кальцификация свойственна стареющей плаценте в поздние сроки беременности, однако на 31-й неделе

еще рано говорить о старении. Костноподобные отложения, которые иногда формируются в других мягких тканях организма, по химическому составу и соотношению кальция к фосфору сильно отличаются от бляшек в плаценте.

В конце 1990-х годов финские медицинские микробиологи впервые обнаружили в почечных камнях человека нанобактерии, которые формируют кальцинаты. Похожие структуры несколькими годами позже описали американские ученые в кальцифицированных артериях, а затем их обнаружили в зубном камне. И финские, и американские исследователи наблюдали нанобактерии внутри уже сформировавшихся отложений фосфата кальция. Но участвуют ли они в начальных стадиях кальцификации мягких тканей? Этот вопрос оставался открытым.

В настоящем исследовании мы проверили гипотезу о том, что с нанобактериями связаны ранние стадии кальцификации плаценты.

Нанобактериями принято называть микроорганизмы, столь малые по размеру, что они не различимы в световой микроскоп, разрешающая способность которого составляет 200 нм.



*Нанобактерии – возможная причина кальцификации плаценты.
На фотографиях хорошо видны ДНК, РНК и клеточные мембраны*



ФОТОИНФОРМАЦИЯ

Нанобактерии, имеющие размер от 100 до 300 нм, можно наблюдать только в электронный микроскоп. Они до сих пор остаются малоизученной группой, объединяемой на основании размеров, но не свойств. Финские микробиологи смогли выделить микроорганизмы, обнаруженные ими в почечных камнях, и получить их чистую культуру, однако генетические и биохимические маркеры, которые позволили бы направленно обнаруживать нанобактерии, еще не описаны. Поэтому нам пришлось искать другие методы обнаружения микроорганизмов, связанных с кальциевыми отложениями в плаценте. Мы сочли, что их ультраструктуру, типичную для бактериальных клеток, можно обнаружить с помощью электронного трансмиссионного микроскопа и цитохимического анализа.

Мы отобрали пробы тканей плаценты у рожениц, которым во время беременности был поставлен диагноз «плацентарный кальциноз». После успешных родов из кальцифицированной плаценты готовили ультратонкие срезы. Для этого образцы тканей отмывали в какодилатном буферном растворе (какодилат — это соль диметиларсиновой кислоты), допол-

нительно фиксировали окисью осмия, обезвоживали проведением в серии спиртов по возрастающей концентрации и заливали в эпоксидную смолу. Чтобы обнаружить в тканях нуклеиновые кислоты, ультратонкие срезы окрашивают раствором уранилацетата и раствором цитрата свинца. Поскольку нас интересовали начальные этапы кальцификации, мы отбирали участки ткани с небольшими включениями кальция, а также ткани, соседствующие с кальциевыми отложениями. В нашем распоряжении было четыре пробы кальцифицированных тканей и четыре — некальцифицированных.

Оказалось, что кальцифицированная плацента содержит микрополости размером приблизительно 1000х600 нм, которые никогда не видны в нормальных тканях. Эти микрополости заполнены раствором, перенасыщенным ионами кальция. В этих же полостях находятся нанобактерии. Именно на их внешней поверхности начинается образование кристаллов фосфата кальция. Сначала кристаллы имеют игольчатую форму, затем растут и образуют аморфный кальциевый осадок между поверхностью нанобактерий и стенками микрополостей. Эти кальциевые отложения сопоставимы по раз-

мерам с нанобактериями. Наличие и концентрация минеральных осадков всегда соответствуют распространению и плотности нанобактерий.

Электронная микроскопия не оставляет сомнений в том, что это именно нанобактерии. Они покрыты клеточными мембранами, а распределение нуклеиновых кислот типично для бактериальных клеток, а не для апоптотных тел.

Обнаруженные нами нанобактерии кальцификатов плаценты пока не изучены детально, но сам факт их существования представляет большой интерес и заслуживает пристального исследования.

Доктор биологических наук

П.М. Шварцбурд,

Институт теоретической и экспериментальной биологии РАН,
доктор биологических наук

М.Б. Вайнштейн,

Пушкинский государственный университет

Авторы благодарят Н.Е.Сузину (ИБФМ РАН) за электронно-микроскопический анализ.



В. Камзев

Y-хромосома: остаток или итог?

Кандидат
биологических наук
Н.Л.Резник



РАССЛЕДОВАНИЕ

Вы заметьте: когда при нем поднимаешь какой-нибудь общий вопрос, например о клеточке или инстинкте, он сидит в стороне, молчит и не слушает; вид у него томный, разочарованный, ничто для него не интересно, все пошло и ничтожно, но как только вы заговорили о самках и самцах... – глаза у него загораются любопытством, лицо проясняется и человек оживает, одним словом.

А.П.Чехов. Дуэль

В конце мая планету облетела тревожная весть: Y-хромосома теряет гены. Через какие-нибудь 5–10 млн. лет она может исчезнуть совсем, и что тогда будет с мужчинами? Причиной переполоха стала публичная лекция, которую прочитала студентка Ирландского королевского хирургического колледжа австралийский профессор Дженифер Грейвс. А на лекции присутствовал репортер газеты «Дейли мейл», который и донес точку зрения ученого до широкой общественности.

На самом деле мысль о печальной участи Y-хромосомы не нова, просто репортер «Дейли мейл» о ней раньше не слышал. И высказывала эту идею не только профессор Грейвс, но и другие ученые, в том числе мужского пола, поэтому обвинения в феминизме мы сразу отклоним. Итак, Y-хромосома дегенерирует. Хихикать тут не над чем, хотя бы потому, что Дженифер Грейвс — серьезный ученый с мировым именем. Она много лет занимается исследованиями эволюции половых хромосом млекопитающих, и ссылки на ее работы есть даже в современных учебниках генетики. Так что попробуем разобраться в ее аргументах, которые основаны не только на собственных данных, но и на большом фактическом материале, собранном другими учеными.

Опасения исследователей основаны на тех изменениях, которые претерпела мужская половая хромосома за 300 млн. лет эволюции. Половые хромосомы возникли позже, чем само разделение полов, и многие растения и животные прекрасно обходятся без них. Например, у коловороток и тли пол зависит от количества цитоплазмы в яйцеклетке, которое изначально неодинаково. Из крупных яйцеклеток получают самки, из мелких — самцы. У морского червя *Bonellia viridis* самцы развиваются из личинок, которые прикрепились к мате-

ринскому организму, а такие же личинки, осевшие на грунт, становятся самками, осевшие на грунт, становятся самками. У крокодилов и большинства черепах пол зависит от температуры развития яиц. У пчел, ос, муравьев, пыльщиков и наездников из оплодотворенных яиц вылупляются самки, а из неоплодотворенных самцы. Но очень и очень многие виды имеют половые хромосомы.

Существует несколько систем определения пола с участием половых хромосом. Система, при которой мужской пол гетерогаметный, то есть образует два типа половых клеток, называется XY. Такая система свойственна млекопитающим, некоторым ящерицам, дрозодиле и даже некоторым растениям. Естественно, X и Y — это только принятые для такой системы обозначения, и нуклеотидная последовательность половых хромосом млекопитающих совершенно не такая, как у ящериц или насекомых. У большинства прямокрылых (кузнечиков, сверчков и саранчи), многих клопов, жуков, пауков, многоножек и нематод мужская половая хромосома вообще отсутствует; такой тип определения пола называется XO. У птиц, змей и бабочек гетерогаметный пол женский (то есть у самок половые хромосомы разные, у самцов одинаковые); их половые хромосомы обозначают Z и W. Некоторые виды бабочек имеют только одну половую хромосому (ZO). Ни одна из этих систем не имеет гомологии с системой XY млекопитающих, однако у всех есть общая черта: одна из хромосом пары, X или Z, всегда большая, а другая, Y или W, маленькая, и генов в ней очень мало.

Но вернемся к половым хромосомам млекопитающих. По мнению Дж. Грейвс, они возникли около 300 млн. лет назад из аутосом некоего древнего предка, возможно зверозубого ящера, с температурным определением пола. В одной из хромосом в результате му-

тации появился ген, определяющий пол независимо от внешних условий, и стал играть в этом вопросе решающую роль, вслед за чем пара аутосом начала превращение в половые хромосомы. Естественно, в начале этого процесса X и Y различались незначительно.

Откуда взялся срок в 300 млн. лет? Дж. Грейвс, исследуя X-хромосомы утконоса, представителя древнейшего отряда млекопитающих, обнаружила в них участки, гомологичные X-хромосомам млекопитающих, и последовательности, имеющие гомологию с Z-хромосомами птиц. Следовательно, решила она, системы определения пола млекопитающих и птиц возникли одновременно, в «недрах» одного генома, то есть до отделения эволюционной ветви птиц, примерно 300 млн. лет назад. Если же XY и ZW системы возникли независимо, а есть и такая точка зрения, то это могло случиться и позже, от 300 до 180 млн. лет назад.

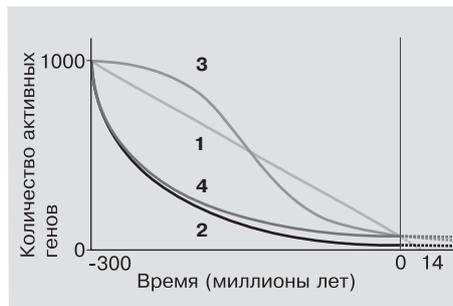
Очевидно, эволюция половых хромосом млекопитающих, рептилий, птиц, насекомых и растений происходила независимо, однако этапы ее были всегда одинаковы. Сначала будущая Y-хромосома в результате мутаций приобретала гены, имеющие функцию определения пола. У млекопитающих самый важный из этих генов — *SRY* (от английского sex determination region Y). Именно с возникновения *SRY*, вероятно, и началось становление системы определения пола млекопитающих. «Предок» этого гена, *SOX3*, находится на X-хромосоме и отвечает за умственное развитие и функции гипофиза. Y-хромосома сохранила еще несколько генов, произошедших от генов X. Перечислять их мы сейчас не будем, но важно, что в мужской хромосоме они выполняют сугубо мужские функции, отвечая за развитие мужских половых желез, сперматогенез и фертильность, и работают исключительно в тканях семенников, а их предки на X-хромосоме продолжают выполнять функции, не связанные с определением пола, и их экспрессия происходит во многих тканях.

Кроме того, Y-хромосома периодически получала генетический материал из других аутосом. Эти гены либо влия-

ли на развитие по мужскому типу, либо обрели эти функции уже в Y-хромосоме. Один из таких генов, *DAZ*, переместился в Y-хромосому около 60 млн. лет назад. Он участвует в обеспечении мужской фертильности и в аутосоме выполняет, видимо, сходную функцию.

X-хромосома в ходе эволюции тоже пережила несколько «вливаний», но она, как правило, сохраняла полученные гены, в отличие от Y, у которой многие гены, не определяющие мужской тип развития, становились неактивными, и хромосома их теряла. В результате она превратилась в уникальный комплекс генов, определяющих пол. Этот комплекс нужно было защитить, «законсервировать», и Y-хромосома претерпела серию делеций и инверсий, которые перемещали немногие оставшиеся гены, имевшие гомолог в X-хромосоме. В результате рекомбинация с X стала невозможной, и Y оказалась в генетической изоляции. Малое число генов (их осталось всего 45 из бывшей тысячи или полутора), большое количество повторов и некодирующей ДНК, генетическая изоляция — это, по мнению многих ученых, признаки дегенерирующей хромосомы. Дж. Грейвс сравнила последовательности Y разных видов млекопитающих и обнаружила, что уже началась потеря генов, определяющих пол. Так, мужская хромосома плацентарных потеряла ген *ATRY*, который у сумчатых функционирует только в тканях семенников. А приматы утратили еще и ген *UBE1Y*, который есть у всех остальных плацентарных млекопитающих, — от него остались только рожки да ножки. По мнению Грейвса, перед нами застывшая картина эволюционных потерь Y-хромосомы. За ними неизбежно последуют новые, последним, вероятно, исчезнет *SRY*, и в конце концов хромосома прекратит свое существование.

Почему в Y-хромосомах млекопитающих так активно происходит деградация? Тому есть несколько причин. Начнем с того, что семенники — опасное место для хромосом. Мужские половые клетки при созревании претерпевают больше клеточных делений, чем женские, а каждое деление чревато мутациями. Кроме того, сперма находится в условиях повышенного содержания кислорода, и в ней отсутствуют ферменты репарации ДНК. А в хромосоме, лишенной возможности рекомбинировать, неизбежно возникают мутации, делеции, встраиваются мобильные элементы, но исправить последние невозможно. Это приводит к быстрой деградации хромосомы, и активными остаются только гены, необходимые для поддержания половых функций.



Дегенерация Y-хромосомы человека с постоянной скоростью (1), со скоростью, убывающей по экспоненте (2), с учетом изменения размеров хромосомы (3) и с учетом действия естественного отбора (4)

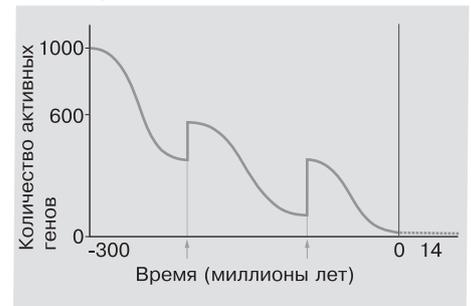
Делециям способствует и большое количество повторяющихся последовательностей, которыми богата мужская хромосома. Например, она нередко приводит к потере 6–7 млн. нуклеотидных пар и нескольких генов, определяющих фертильность, причем эти делеции встречаются все чаще.

Но ведь Y-хромосома нужна для продолжения рода, так почему естественный отбор не остановит ее деградацию, сохраняя гены, не потерявшие свою активность? Отбор, конечно, действует, но неэффективно. Из-за отсутствия рекомбинации весь уникальный набор мужских генов наследуется как единое целое, большое или здоровое. Сохранять избранные гены нельзя. Если хотя бы один ген не в порядке, то выбраковывается вся хромосома, даже если остальные гены в ней самые наилучшие. Кроме того, популяция постоянно теряет некоторое количество здоровых Y-хромосом, если их носители не оставляют сыновей.

Итак, вопрос с деградацией Y-хромосомы решен, осталось определиться с его скоростью. У разных видов она различна и зависит от многих обстоятельств, в том числе от условий жизни, скорости размножения, количества потомков. Например, мышинные хромосомы уменьшаются стремительно. А W-хромосомы питона и страуса деградируют на удивление медленно.

А как обстоят дела у приматов? Шимпанзе и человек разошлись на эволюционном древе около 6 млн. лет назад, поэтому их Y-хромосомы должны быть очень похожи. Однако на том участке, где человеческая хромосома имеет 16 активных генов, у шимпанзе в рабочем состоянии сохранилось только 11. Следовательно, деградация у человека идет медленнее, чем у шимпанзе. Но с какой скоростью?

Это сложный вопрос. Скорость можно считать по-разному. Дж. Грейвс привела несколько вариантов расчета (они представлены на рисунке). Есть



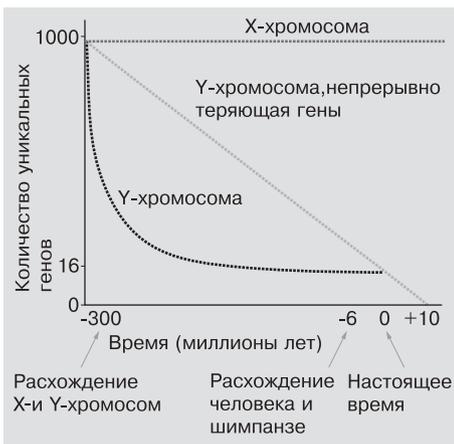
Более реалистичная картина учитывает то обстоятельство, что разные фрагменты Y-хромосомы возникли в разное время и деградировали с разной скоростью. Время присоединения фрагментов обозначено стрелками

средняя скорость потери генов, которая представляет собой разницу между количеством генов X и Y (1000 или 1500 и 45), деленную на количество прошедших лет (около 300 млн.). Получится примерно 3,3 гена на 1 млн. лет, и Y-хромосома, теряя гены с такой скоростью, исчезнет примерно через 14 млн. лет.

Маловероятно, однако, чтобы скорость дегенерации была постоянной. Она может уменьшаться и постепенно, по экспоненте. Кроме того, Y-хромосоме нельзя уподоблять дырявому мешку, из которого сыплются гены, ведь она неоднократно их приобретала. С учетом этого обстоятельства график скорости деградации напоминает синусоиду. Можно также учитывать действие положительного отбора, который будет способствовать сохранению важнейших генов, таких, как *SRY*.

Если усложнить расчеты еще больше, то необходимо учесть, что Y-хромосома приобретала гены порциями, в которых потери происходили с разной скоростью. Так, из 500 генов, имевших гомологи на X-хромосоме, она сохранила только четыре. Из 100 генов, составивших вторую порцию, также утрачено большинство. А был еще третий блок, от которого осталось целых 38 генов.

Но как бы события ни развивались, конец неизбежен. Это не пророчество, уверяет профессор Грейвс, а точный расчет. И что нас тогда ожидает? Можно ли жить без Y-хромосомы? Вообще-то да. В качестве примера австралийский генетик приводит колючую мышь (*Tokudaia osimensis*) и два вида слепушонки, закавказскую и восточную (*Ellobius lutescens* и *Ellobius tancrei*), у которых вообще нет Y-хромосом. У восточной слепушонки оба пола имеют генотип XX, а у закавказской слепушонки и колючей мыши — X0. У слепушонки нет гена *SRY*, и ученые пока не могут найти ген, который выполняет его функции. Они только предполагают,



Y-хромосома человека за последние 6 млн. лет не изменилась

что он находится на какой-то из аутосом. У колючей мыши тоже нет *SRY*, но по крайней мере два гена из *Y* (*ZFY* и *TSPY*) присутствуют в геноме обоих полов. Ученые предполагают, что район Y-хромосомы переместился на X или на одну из аутосом.

Вот вам два возможных варианта будущего: либо уцелевшие Y-гены сбегут на другие хромосомы, либо функции *SRY* возьмут на себя другие последовательности. У мышей, например, при повышенной дозе гена *SOX9* или мутации в его регуляторной области особи с двумя X-хромосомами развиваются в плодовитых самцов. Однако оба варианта подразумевают возникновение новой системы определения пола. Возможно, это будет даже не одна система, потому что у *SRY* может появиться сразу несколько заместителей, а мужские гены могут перемещаться на разные хромосомы. В таком случае нас ожидает взрыв видообразования, и вместо вида *Homo sapiens* появятся несколько других.

Мечта амазонок, размножение без мужчин, у людей невозможна. Устройство нашего генома не допускает партеногенеза. Мыши и обезьяны, у которых пытаются получить партеногенетическое потомство в лабораторных условиях, обычно развиваются неправильно. Эти исследования могут подсказать ученым, какие именно гены препятствуют размножению без мужчин, но не позволят поставить его на поток. Вопрос о возможности получения партеногенетических детей специалисты даже не обсуждают.

Поэтому, если генам Y-хромосомы не найдется нового места или достойной замены, человечество через несколько миллионов лет исчезнет. Как и любой другой вид, попавший в такую же ситуацию.

Это очень мрачный прогноз, но все же прогноз, то есть некая вероятность развития событий. Факты, которые приво-

дит Дж. Грейвс, сомнения не вызывают, но нельзя ли взглянуть на них иначе? Ведь одна и та же бутылка может быть и наполовину пустой, и наполовину полной.

Партеногенез — это, безусловно, не наш вариант, да и слепушонки тоже. Например, у самцов и самок закавказской слепушонки по 17 хромосом. Они образуют половые клетки с восемью и девятью хромосомами. При оплодотворении комбинации 8+8 и 9+9 летальны, то есть половина потенциального потомства погибает. Для невероятного плодовитых грызунов это, может, и неплохо, но человеку совершенно не подходит.

Впрочем, у нас все-таки есть шанс сохранить Y-хромосому. В геноме всех эукариот есть еще одна последовательность, которая практически не рекомбинирует и содержит уникальный набор генов. Это митохондриальная ДНК. Предками митохондрий были поселившиеся в клетках α-протобактерии, которые обладали собственным геномом, но в ходе эволюции часть их генов перешла в ядро, а часть оказалась утрачена. Митохондрии дрожжей очень крупные, они обмениваются ДНК с хромосомами, в них встраиваются мобильные элементы, словом, идет бурная жизнь. Митохондрии млекопитающих практически изолированы от хромосом и гораздо меньше дрожжевых. Однако никто не говорит, что митохондрии деградировали. Скорее, речь идет об отборе в ходе эволюции.

Рассуждая об эволюции, нам следует помнить, что она представляет собой отбор наиболее приспособленных. Y-хромосома не просто потеряла ДНК, а активно перестраивалась. Функции генов, которые она утрачивала, брали на себя аутосомные гены, так что в ходе эволюции никто не пострадал. Y-хромосому можно сравнить с тщательным собранным дорожным чемоданчиком, из которого выложили все лишнее. И такие перестройки происходили у всех видов млекопитающих, да и у всех систематических групп, имеющих две разные половые хромосомы. Небольшое растение, белая смолевка, обрела половые хромосомы всего около 20 млн. лет назад, но и у нее уже происходит редукция одной из них. Неужели хромосомная система определения пола столько раз возникала только затем, чтобы постепенно себя изживать? Логичнее предположить, что такая уязвимая Y-хромосома зачем-то нужна.

Организмы с половыми хромосомами обладают очень сложным и хорошо сбалансированным геномом. Даже небольшие перестройки в нем приводят к бесплодию, болезням и гибели. Что-



РАССЛЕДОВАНИЕ

бы защитить сложное устройство от трагических случайностей, его снабжают предохранителем. В роли такого предохранителя может выступать Y-хромосома. О ее чувствительности к повреждающим воздействиям мы уже говорили. Да, она легко приобретает мутации, но они редко переходят следующему поколению. Естественно, роль регулятора больше подходит мужской хромосоме, потому что мужчина может дать жизнь значительно большему количеству потомков, чем женщина. Носители нормальной Y-хромосомы, даже если их будет немного, обеспечат продолжение рода человеческого. (Заметим в скобках, что экстракорпоральное оплодотворение мешает выбраковке поврежденных Y-хромосом и с этой точки зрения вредно для человечества.)

И еще одно успокоительное известие. Недавно сотрудники Медицинского института Говарда Хьюза (Массачусетс) под руководством профессора Дэвида Пейджа сравнили последовательности Y-хромосом человека и шимпанзе. Y-хромосома имеет участок, на котором расположены повторяющиеся гены, отвечающие преимущественно за сперматогенез. Этот участок богат палиндромными повторами (последовательностями, которые одинаково читаются в обоих направлениях). Такие структуры складываются в шпильки, благодаря чему повторяющиеся гены могут контактировать и обеспечивать репарацию. Но у Y-хромосомы есть и другой район, где нет палиндромов и повторяющихся генов. Именно он, по мнению Грейвса и ее единомышленников, больше всего страдает от деградации. Однако на этом участке, как мы уже знаем, человек за последние 6 млн. лет не потерял ни одного гена, и Дэвид Пейдж видит в этом действие естественного отбора, который надежно защищает человеческую Y-хромосому от деградации. И его точка зрения выглядит не менее обоснованной и гораздо более привлекательной, чем прогнозы Дж. Грейвса.



РОБОТ-ПТИЦА

Робота, который будет следить за происшествиями в городе, создала международная группа инженеров на деньги Евросоюза.

Christophe Leroux,
christophe.leroux@cea.fr,
http://www.ist-microdrones.org

Так называются дроны — автоматические летательные аппараты — сейчас служат военным, осуществляя разного рода разведку и наведение на цели противника. Это большие машины, которые летают весьма высоко. А полицейским, пожарным и спасателям нужны маленькие аппараты, способные летать в городе. Именно такого дрона разрабатывает международная группа инженеров во главе с Кристофом Леруа из Французской комиссии по атомной энергии. Размер нового робота — полметра, вес не превышает одного килограмма плюс 200 граммов полезной нагрузки, а летает он с помощью четырех винтов, защищенных на всякий случай кожухами.



Робот может ориентироваться в пространстве, обнаруживать и облетать движущиеся препятствия и даже запоминать дорогу домой. Он летает по заданному маршруту либо меняет его, пользуясь указаниями оператора. В результате летающий робот способен гораздо быстрее, нежели человек или наземный робот, проникнуть в опасную зону и передать оттуда информацию.

«Сейчас мы заканчиваем проектирование и в ноябре 2009 года начнем испытания микродрона. А заказы от возможных покупателей на такие устройства уже поступают», — говорит Кристоф Леруа.



МАССОВОЕ БЕГСТВО ЭЛЕКТРОНОВ

Случай коллективного туннелирования электронов обнаружили ученые из США.

Alexey Bezryadin,
bezryadi@illinois.edu

В сверхпроводнике электроны связаны в пары, причем длина этой связи, так называемая длина когерентности, составляет несколько десятков нанометров. С ними возможно интересное явление: квантовое проскальзывание фазы. Суть его состоит в том, что с позиции квантовой механики электроны в какой-то степени связаны в пару, а в какой-то — нет, причем соотношение этих степеней колеблется. Если вдруг в некий момент времени электроны окажутся несвязанными, небольшой участок сверхпроводника на мгновение утратит способность проводить сверхпроводящий ток. Когда же диаметр этого сверхпроводника будет много меньше длины когерентности, то он совсем утратит сверхпроводимость — другим парам не удастся обойти внезапно возникшее препятствие.

До сих пор считалось, что такое может происходить только с отдельными электронными парами. Однако ученые из Иллинойского университета во главе с профессорами Алексеем Безрядиным и Полом Гольбрамом обнаружили аналогичный эффект макроскопического масштаба: в тонкой сверхпроводящей проволочке сразу сто тысяч электронных пар испытали проскальзывание фазы. При этом выделилось тепло и проволочка, нагревшись, перестала быть сверхпроводящей. В соответствии с законами классической механики такое поведение невозможно: все эти электроны не должны были перейти в новое состояние, поскольку им нужно сначала преодолеть энергетический барьер. Подчиняясь же квантовому закону, они сумели под ним туннелировать, причем всей группой сразу. «Наши результаты подтвердили, что законы квантовой механики работают даже для больших систем», — говорит Алексей Безрядин.

РНК ПРОТИВ РАКА

Добавив микроРНК к больной печени, американские ученые излечили рак у мышей.

Joshua Mendell,
jmendell@jhmi.edu

«В 2003 году, когда я занялся изучением микроРНК, было известно всего несколько молекул этого типа. А теперь мы знаем более 500 микроРНК, присутствующих в клетках человека, и это далеко не предел», — рассказывает доктор Джошуа Мендель из Университета Джона Хопкинса. Как оказалось, эти молекулы, не связанные с синтезом белков, играют важную роль в жизни клетки. А вот в клетках опухоли микроРНК почти отсутствуют. Что будет, если к больным клеткам добавить микроРНК из здоровых? В поисках ответа на этот вопрос Джошуа Мендель с коллегами поставил свои опыты.



Контроль

микроРНК

Он взял мышей с агрессивным раком печени. В ткани одной группы животных ввели вирус, содержащий микроРНК, а в ткани другой — только вирус. Через три недели у восьми экспериментальных мышей из десяти опухоли существенно уменьшились либо совсем исчезли. В контроле же у шести мышек из восьми опухоль практически поглотила печень. Как оказалось, в присутствии микроРНК раковые клетки погибали, а нормальные никак на них не реагировали. «Мы надеемся, что такого же успеха удастся достичь и с другими видами рака», — говорит доктор Мендель

СВИНЬЯ НА ЗАПЧАСТИ

Превратить обычные клетки свиньи в стволовые сумели китайские биотехнологи.

«Journal of Molecular Cell Biology», 3 июня 2009.

«Мы сделали то, чего еще не удавалось сделать никому, — получили стволовые клетки парнокопытного животного. Через несколько лет эта технология поможет создавать органы для трансплантации, а также даст новые возможности для селекции животных», — говорит доктор Лэй Сяо из Шанхайского института биохимии и клеточной биологии.

Для решения этой задачи ученые взяли клетки из уха и костного мозга свиньи. С помощью вируса в них доставили транскрипционные факторы, которые перепрограммировали клетки и превратили их в стволовые. Они повели себя как самые настоящие эмбриональные стволовые клетки, то есть оказались способными превращаться в эндодерму, мезодерму и эктодерму — те самые слои, из которых состоит тело зародыша в первые дни его развития.

Предполагается, что в эти клетки можно будет добавлять какие-то человеческие гены либо, наоборот, убирать из них свиные гены, выращивать трансгенных животных и получать от них органы для трансплантации. Этот способ подойдет и для создания новых пород свиней, устойчивых к болезням.

ГРИБ С ГЛАЗАМИ

Определен механизм, который позволяет грибу чувствовать свет.

«Proceedings of the National Academy of Sciences», 28 апреля 2009 года

Грибы вида *Phycomyces blakesleeanus* чрезвычайно чувствительны к факторам внешней среды. Их плодовые тела, подобные бусинке на длинной тонкой ножке, чувствуют не только направление силы тяжи или ветра, но и присутствие расположенных рядом объектов, а также свет, причем чувствительность к последнему столь же высока, как у человеческого глаза. Именно на этом грибе международная группа ученых, в состав которой входили, в частности, профессор Луис Соррокано и доктор Хулио Родригес Ромеро из Севильского университета, ставила опыты по изучению зрения низших организмов.

Еще тридцать с лишним лет назад в лаборатории нобелевского лауреата Макса Дельбрюка были получены грибы-мутанты, нечувствительные к свету, и выяснено, что за эту особенность отвечают гены *madA* и *madB*. Теперь же наконец удалось установить, что эти гены вырабатывают белки, один из которых, поглотив фотон, связывается с другим. Образовавшийся комплекс прикрепляется к ДНК и изменяет ее активность. Попутно ученым удалось найти еще несколько схожих генов, присутствие которых и позволяет объяснить чрезвычайно высокую чувствительность гриба к свету.

ЛЕСТЕРСКИЕ ЖИДКОСТИ

Ионные жидкости ищут путь к британским бизнесменам.

Andy Abbott,
apa1@le.ac.uk

Ионные жидкости — одно из двух основных направлений «зеленой» химии (второе — сверхкритический флюид). Предполагается, что эти легкоплавкие соли помогут заменить многие ядовитые растворители и электролиты, применяемые ныне в промышленности.

Как и все новое, эти вещества с трудом находят себе путь в практику (см. «Химию и жизнь», 2007, №11). Чтобы облегчить задачу, ученые Лестерского университета 3 июня 2009 года запустили установку под названием «Демонстратор ионных жидкостей» — набор полупромышленных устройств, с помощью которых можно разрабатывать и демонстрировать соответствующие технологии.

Основа лестерских жидкостей — витамин B_4 , холин-хлорид. Это вещество считается безвредным, во всяком случае, на его применение не наложено никаких ограничений. Добавляя к расплаву витамина соли и другие вещества, можно добиться, чтобы его свойства отвечали той или иной задаче. Сейчас демонстратор показывает возможности ионных жидкостей в металлообработке — электрополировке, гальванике и нанесении оксидных покрытий. Хорошо известно, что та же гальваника — вредное и грязное производство с большим количеством ядовитых отходов. «Использование ионных жидкостей позволяет сократить расходы на энергию, уменьшает загрязнение окружающей среды, а также повышает качество продукции, — говорит декан химического факультета Энди Эббот. — С помощью демонстратора мы поможем бизнесменам нашего графства перейти на качественно новый уровень производства. Перед ними откроются фантастические перспективы».

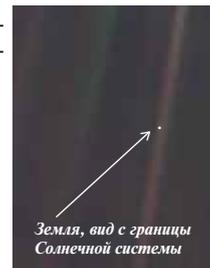
В ПОИСКАХ ГОЛУБОЙ ПЛАНЕТЫ

Изучая цвета планет, можно открыть подобные Земле миры, считают американские исследователи.

Nicolas Cowan, cowan@astro.washington.edu

Когда «Вояджер-1» сфотографировал Землю с расстояния в 6,5 миллиарда километров, она выглядела как синяя точка размером в 0,12 пикселя. Планеты у далеких звезд сейчас не видны даже в таком виде. Однако если НАСА запустит орбитальный телескоп «Кеплер», он столь мелкие точки разглядит. Удастся ли по ним установить наличие на планете жидкой воды? Да, отвечают ученые из Вашингтонского университета во главе с доктором Николасом Коуном.

С помощью спутника «Дип импакт» они провели несколько сеансов съемки Земли в разных частотных диапазонах с расстояния 27 и 53 миллиона километров. И выяснили, что цвет Земли действительно голубой из-за рассеяния света в атмосфере. Однако имеются вариации — Земля бывает то краснее, то синее. По мнению исследователей, это связано с ее вращением и различным отражением света от суши и океана. Значит, зафиксировав у далекой планеты аналогичное изменение спектра, можно надеяться, что на ней есть суша и океан из воды. «Планеты вроде Нептуна тоже голубые, — говорит Николас Коун, — но отличить их от планет земного типа у далекой звезды все равно удастся: их цвет не будет меняться, поскольку поверхность покрыта однородной ледяной коркой».



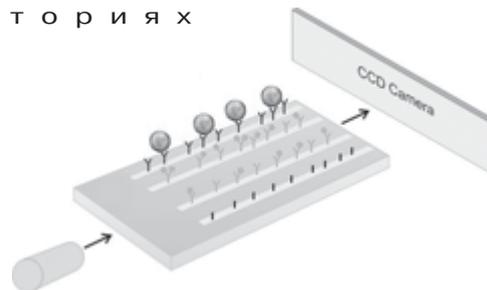
ЛОВУШКА ДЛЯ ВИРУСОНОСИТЕЛЯ

Прибор, позволяющий обнаружить вирус за пять минут, придумали голландские инженеры.

Aurel Ymeti
ymeti@utwente.nl

Самолет прилетел из страны, где распространен свиной грипп, пассажирам померили температуру и, если она нормальная, выпустили в город. А вдруг у кого-то болезнь в начальной стадии? Найти такого человека позволит прибор, созданный инженерами из компании «Остендум» при университете Твенте, исследования в которой возглавляет доктор Аурель Ймети.

Этот прибор представляет собой микроскопическую лабораторию. В ее состав входит система микроканалов, на стенки которых нанесены антитела к тем или иным вирусам, бактериям или чистым молекулам ДНК. Через каналы прокачивают пробу на основе слюны или крови, и, если в ней есть искомым микроорганизм или его фрагмент, он прицепится к антителу в соответствующем канале. В результате изменится прозрачность всей системы, и это зафиксирует просвечивающий ее луч лазера. Чувствительность метода столь высока, что удастся обнаруживать одну-единственную вирусную частицу, прилипшую к стенке канала. Сейчас три прототипа устройства проходят в университете испытания, а в 2010 году они поступят в продажу





Химия и кризис

Кандидат экономических наук

С.А.Заболотский,

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН

Вывозя сырье, Россия вынуждена потом закупать многие продукты нефте- и газохимии, начиная от пластмасс и заканчивая химическими волокнами.

В.В.Путин

Диагноз, который отечественной химической промышленности поставил кризис, начавшийся летом 2008 года, кратко можно сформулировать так: внутренний рынок не развит, а производство — отсталое. Как следствие, большая часть продукции — это дешевое сырье для зарубежных предприятий, и соответственно объем его продаж зависит от конъюнктуры внешнего рынка. Из диагноза следует и средство лечения: необходимо создать условия для возникновения в нашей стране производств замкнутого цикла, а долю конечной продукции в общем объеме довести до 30—40%, как на большинстве анало-

гичных иностранных предприятий. Тогда отрасль приобретет устойчивость к будущим экономическим потрясениям.

Производство

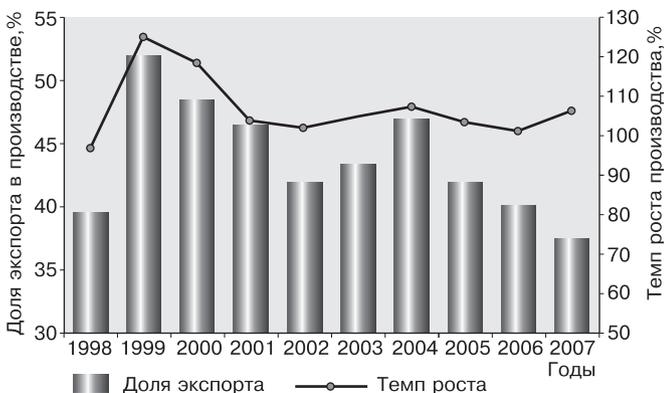
С 1998 года по 2008-й в целом объем химического производства непрерывно рос. Сначала, сразу после дефолта, этот рост был быстрым: поставки на внешний рынок обеспечили загрузку множества предприятий, простаивавших со времен кризиса начала 90-х. Затем темпы роста замедлились, и с 2001 года объем продукции увеличивался на несколько процентов в год. Как правило, этот рост был связан с увеличением объема поставок на экспорт: об этом свидетельствует высокое значение коэффициента корреляции — 0,814 — между долей экспорта и темпом роста производства химического комплекса в 1998—2007 годах (рис. 1). В 2007 году на рынках дальнего и ближнего зарубежья было продано химической продукции на сумму 18 млрд. долларов США, или около 40% от общего производства. В основном на экспорт идут крупнотоннажные химические продукты невысокой добавленной стоимости, а также полупродук-

Производство важнейших видов продукции в 2008 году

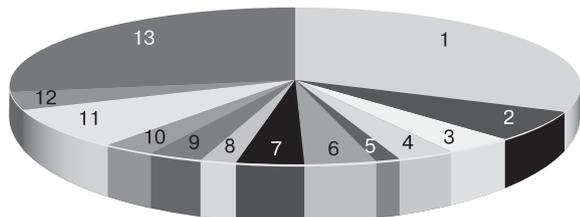
Наименование продукции	2008 г. к 2007 г.	Январь 2009 г. к октябрю 2008 г.	Январь-апрель 2009 г. к январю-апрелю 2008 г.	Апрель 2009 г. к апрелю 2008 г.	Апрель 2009 г. к марту 2009 г.
Волокна и нити химические	82,0	57,2	59,3	82,7	111,3
Синтетические красители	90,6	46,8	58,2	46,3	77,3
Серная кислота	94,0	69,5	73,6	81,8	95
Мин. удобрения (на 100% питательных веществ)	94,1	77,8	75,1	80,6	97,1
Сода каустическая	96,6	80,9	78,1	80,8	95,6
ПВХ смола и сополимеры винилхлорида	98,6	86,6	78,3	62,5	70,2
Синтетические смолы и пластмасса	96,1	86,9	87,4	87,2	84,5
Полистирол	96,6	49,8	91,5	101,4	77,1
Полипропилен	86,2	93,1	96,4	135,8	78,6
Аммиак синтетический	96,4	95,5	96,6	101,5	97,9
Полиэтилен	102,1	104,1	97,8	91,3	85,4

ты низкой степени переработки (рис. 2). Как правило, другие страны их используют в качестве сырья для изготовления конечной потребительской продукции.

Однако уже в 2006 году наметилась новая тенденция: объем производства рос, а поставки на экспорт, наоборот, уменьшались. Дело в том, что мощность финансовых потоков, возник-



1
В период между дефолтом и кризисом темп роста производства был жестко связан с размером доли экспорта отечественной химической продукции



- 1- Минеральные удобрения 30,7
- 2- Аммиак 6,9
- 3- Капролактан 3,7
- 4- Стирол 3,1
- 5- Полистирол 1,1
- 6- Метанол 4,1
- 7- Шины 3,8
- 8- Химические волокна и нити 28,9
- 9- Параксилон 2,6
- 10- Моноэтиленгликоль 2,5
- 11- Синтетический каучук 9,8
- 12- Технический углерод 2,8
- 13- Прочее 26,9

2
Минеральные удобрения, синтетический каучук и метанол — вот основные химические продукты, которые мы отправили на экспорт в 2007 году



ГЛУБОКИЙ ЭКОНОМ

ших из-за высокой цены на нефть, совершенно не соответствовала ее технологической роли. Это привело к возникновению разного рода «пузырей», например в цене на недвижимость или сырьевые товары. Как раз таким нездоровым ростом спроса в строительной отрасли и была в значительной части вызвана благоприятная конъюнктура российского химического рынка, а также опережающий рост цен на химическую продукцию. В результате изготовители многих видов химической продукции стали увеличивать поставки на внутренний рынок. Строительный сектор лопнул, и основной двигатель роста многих смежных индустрий исчез.

Пик падения пришелся на август — октябрь, когда темпы снижения в среднем составили 20,5% в месяц. В ноябре — декабре снижение производства замедлилось, и в январе 2009 года начался рост, продолжающийся по сей день (см. табл.).

Рассмотрим, какое положение сложилось в наиболее развитых отечественных направлениях химической промышленности и какие меры надо предпринять, чтобы развитие кризиса оказалось наименее болезненным.

Минеральные удобрения на экспорт

Минеральные удобрения — главный предмет нашего химического экспорта: за границу в 2007 году ушло 67% изготовленных в России калийных, фосфорных и азотных удобрений (включая аммиак), а их объем составил 37,6% от общего объема поставок. Снижение производства произошло во многом из-за сокращения экспорта: при уменьшении спроса и падении цен отечественные компании уступают свои позиции мировым конкурентам. Относительно низкая стоимость природного газа на внутреннем рынке не компенсирует остальные недостатки производства, а устаревшие технологии определяют высокий расход сырья и соответственно высокую себестоимость производства азотных удобрений. К примеру, в среднем на изготовление тонны аммиака (полупродукта для производства азотных удобрений) идет около 1,2 тыс. м³ газа (лучший показатель в отрасли у холдинга «Акрон» — 1,15 тыс. м³), что на треть выше среднеевропейского уровня. Кроме того, перевозка на большие расстояния, разделяющие производство и рынок сбыта, съедает существенную часть добавленной стоимости.

Сокращение поставок на экспорт можно компенсировать только продажей удобрений на внутреннем рынке. В нашей же стране удобрения, можно сказать, практически не используются: в европейских странах на один гектар применяют около 500 кг удобрений, в США — 250, а в России — всего 21 кг. Правда, как видно из рис. 3, за три года, предшествовавших кризису, потребление удобрений существенно выросло, и потенциал потребления внутреннего рынка остается весьма большим: если в 1990 году в СССР было произведено и использовано 16 млн. т. удобрений, то в 2007-м в РФ — более 17 млн. т, а использовано сельским хозяйством 5,8 млн. т. Освоить внутренний рынок не позволяет низкая платежеспособность сельскохозяйственных предприятий.

Химический комплекс частично может решить проблему освоения внутреннего рынка. Для этого ему надо осуществить интеграцию химических и сельскохозяйственных предприятий, с тем чтобы первые кредитовали последние. Однако повысить

платежеспособный спрос потребителей удобрений возможно только государственными мерами, главная из которых — уничтожить цепочки посредников, которые присваивают себе основную часть добавленной стоимости, изымая таким образом средства из сельского хозяйства. Сделать это можно, создав государственную торговую сеть для продукции сельского хозяйства. Она вполне способна взять на себя мониторинг рынка, обеспечить персональный характер работы с потребителями, гибкое финансирование контрактов, а также надежную и своевременную перевозку продукции.

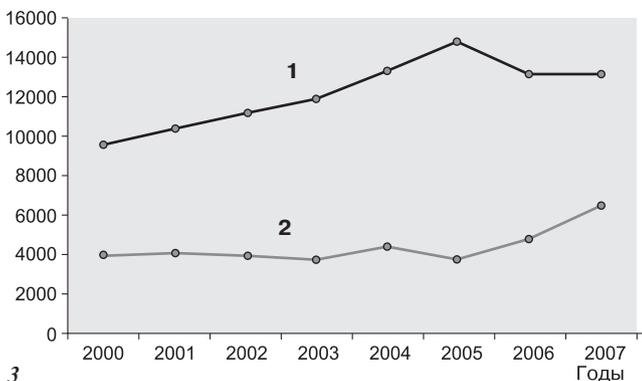
Каучук и углерод

В производстве технического углерода (ТУ) доля экспорта составляет 52%. Около 81% производимого в России ТУ используют как наполнитель для автомобильных шин, 14% — при производстве резинотехнических изделий (РТИ), транспортерных, конвейерных лент, рукавов, ремней, кабелей, а 5% идет на тонеры для картриджей и наполнители для лакокрасочных изделий. Производство синтетических каучуков в России также ориентировано на экспорт, его доля — 63%. Низкий внутренний спрос на каучуки и ТУ обусловлен низким спросом на отечественные шины и РТИ: морально устаревшие технологии не позволяют выпускать конкурентоспособную продукцию, поскольку большую часть оборудования ввели в эксплуатацию 40—50 лет назад. Только масштабное технологическое переоснащение предприятий российской шинной промышленности позволит увеличить внутренний спрос на технический углерод и каучуки. Внешний же будет падать до тех пор, пока не восстановится зарубежная автомобильная и связанная с ней шинная промышленность.

Негативное влияние на рынок синтетических каучуков оказывает и товарная структура отрасли, которая отличается от мировой. За рубежом наиболее популярны бутадиен-стирольные каучуки и латексы (около 50%), а также каучуки специального назначения (нитрильный, этиленпропиленовый, хлоропреновый, бутилкаучук, силиконовый и другие). В отечественной промышленности преобладают так называемые стереоспецифические полибутадиеновые и полиизопреновые каучуки — их доля составляет около 50%, бутадиен-стирольные каучуков около 30%, а специальных каучуков и латексов — 15%. Недостаток этой ситуации заключается как раз в низком удельном весе каучуков специального назначения.

Метанол, смола и пластмасса

В 2007 и 2008 годах 50,8% и соответственно 57,2% произведенного в России метанола уходило за рубеж. В основном этот спирт служит сырьем для карбамидо-формальдегидных, меламино-формальдегидных и фенол-формальдегидных смол, которые применяют при изготовлении фанеры и древесностружечных плит разного вида. Два других крупных направления — производство метил-трет-бутилового эфира, повыша-



3
В три года, предшествовавших кризису, потребление (2) минеральных удобрений значительно выросло, а производство (1) изменилось несильно. По вертикальной оси объем указан в тысячах тонн в пересчете на 100% питательного вещества

ющего октановое число бензина и органических кислот. В России большую долю занимает использование метанола в газовой промышленности для осушения газа.

Если переходить от поставок за рубеж к освоению внутреннего рынка, то именно главное применение метанола выглядит наиболее перспективным — ведь из этих плит изготавливают 75% современной мебели. Более того, до кризиса потребление карбамидо-формальдегидных смол росло на 13% в год. Спрос на мебель как предмет длительного пользования даже в период кризисов остается достаточно высоким (по всей видимости, на четвертом месте после продовольствия, одежды и жилья), поэтому потребность в сырье для ее производства, особенно в экономичном сегменте, будет всегда.

Для тех смол, пластмасс, лакокрасочных и других материалов, которые используют в строительном секторе, настали тяжелые времена. Из-за дестабилизации мировой финансовой системы произошло глобальное снижение покупательной способности населения, и как следствие — спроса на жилье и материалы, используемые в строительстве, отделке и ремонте. А ведь на строительный сектор приходится 40% всех пластмассовых изделий. Поэтому найти альтернативные центры роста их потребления достаточно сложно, и единственным решением могло бы стать возрождение традиционного потребителя.

Полистирол и его сополимеры оказались в числе жертв кризиса в строительном и автомобильном секторе: в январе 2009 года объем производства полистирола упал в два раза по сравнению с октябрём 2008-го. Он служит основой многих пластиков, из которых делают отделочные материалы, бытовую технику и автомобили (рис. 4). Около 55% отечественного стирола (мономера для выработки полистирола) и 23% полистирола уходят на экспорт. Причина в том, что в 90-х годах из-за массового ввоза в страну товаров длительного пользования (автомобилей, бытовой техники, мебели) на внутреннем рынке пластмасс этой группы был заметный спад, продолжавшийся до недавнего времени, когда, желая сократить издержки, многие крупные иностранные изготовители легковых автомобилей и бытовой техники стали переносить свое производство в РФ.

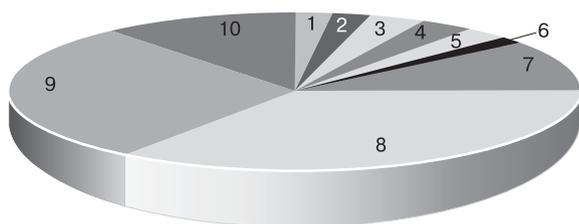
Эти производства, как правило, сборочные, и на них используют импортные комплектующие. Однако в 2006 году было принято постановление правительства «О промышленной сборке», согласно которому за три с половиной года количество ввозимых деталей должно сократиться на треть. Зарубежным компаниям придется либо налаживать производство комплектующих в России, либо закупать их у отечественного изготовителя. В ближайшем будущем следует ожидать роста спроса на полимеры, используемые при производстве автомобильных деталей, а также бытовой техники, среди которых среднечерный и ударочерный полистирол занимает существенную долю. Такое направление действительно развивается: с 2003 года самый крупный изготовитель и экспортер стирола «Нижнекамскнефтехим» начал программу по его переработке в полистирол. Сейчас на этом предприятии больше 40% стирола (123 из 290 тыс. т. в 2007 году) расходуют на синтез полистирола. Своей очереди ждет производство акрилонитрил-бутадиен-стирольного пластика (ABS-пластик) и стирол-акрилонитрильного сополимера (САН).

Впрочем, даже если принять меры по расширению номенклатуры пластиков, изготавливаемых из стирола, оживления рынка можно ожидать лишь после восстановления отраслей-потребителей: строительства жилья, производства бытовой техники и автомобилей.

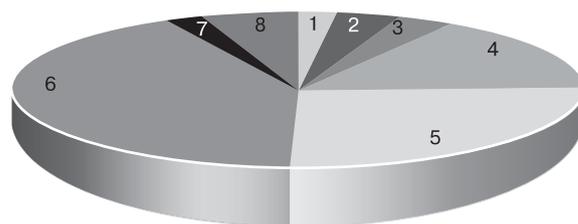
Капролактамы для волокон

Капролактамы — это важнейшее сырье для изготовления синтетических полиамидных волокон или капрона, из которых делают корд для шин, а также различные ткани. На его примере особенно хорошо видна одна из проблем отечественного химического комплекса — отсутствие интеграции между предприятиями.

Если из капролактама делают синтетические волокна, то сырьем для его промышленного производства служит бензол.



- | | | |
|--------------------|-----------------------|--------------------|
| 1- Полиэфиркетон 2 | 4- Полиуретан 3 | 7- Полистирол 11 |
| 2- Тефлон 2 | 5- Поликарбонат 3 | 8- Полипропилен 35 |
| 3- СВМПЭ 3 | 6- Эпоксидные смолы 1 | 9- ABS-пластик 29 |
| | | 10- Другие 11 |



- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1- Полиформальдегид 2 | 5- Полипропилен 25 |
| 2- ПЭТФ, ПБТФ 3 | 6- Полистирол 41 |
| 3- Полиуретан 3 | 7- Полиоксиметилен 2 |
| 4- ABS-пластик 16 | 8- Другие 5 |

4

Полистирол, акрилонирил-бутадиен-стироловый пластик и полипропилен — эти три полимера в основном применяют в автомобилях и бытовой технике

Бензол главным образом получают при риформинге нефтепродуктов, однако самый дешевый бензол могут делать металлурги, перерабатывая газы, отходящие при изготовлении кокса. Казалось бы, логично объединить всю группу производств связями и обеспечить выпуск в стране конечного продукта с большой добавленной стоимостью, то есть самих полиамидных нитей. Тем более что спрос на такие волокна имеется — об этом свидетельствует значительный импорт как самих синтетических волокон, так и готовых текстильных изделий из КНР и с Тайваня. На самом деле все организовано несколько иначе, и изменение мировой конъюнктуры сразу же продемонстрировало слабость этой организации.

Сейчас доля экспорта в производстве капролактама — почти 69,4%, а крупнейший изготовитель — ОАО «Куйбышевазот». Из-за мирового кризиса он был вынужден к началу 2009 года сократить производство на 50%. Нельзя сказать, что руководители предприятия не пытались загодя изменить ситуацию. Так, в начале 2008 года предприятие объявило о приобретении обанкротившегося комбината «Курскхимволокно», чтобы изготавливать на нем технические нити и шинный корд. Однако шинную промышленность кризис тоже затронул, поэтому непонятно, суждено ли этим планам сбыться. Зато совместный проект с Магнитогорским металлургическим комбинатом по выпуску бензола был свернут, поскольку у металлургов из-за кризиса не оказалось средств. А ведь охват всей технологической цепочки, от получения сырья до конечной продукции, мог дать синергетический эффект, который намного превышает сумму результатов действий отдельных компаний. Этого не произошло, и все участники понесли потери.

Легкая промышленность остается одной из самых перспективных отраслей-потребителей: ее предприятия закупают около 66% всех изготавливаемых в России химических волокон и нитей. Остальные 34% поступают из-за рубежа, и от этих поставок невозможно отказаться, поскольку качество и ассортимент импортных материалов превосходят отечественную продукцию. Производства мебели и спальных принадлежностей могут «вытянуть» спрос не только на упоминавшийся ранее формальдегид, но и на некоторые виды синтетических волокон, а также на вспененные полиуретаны — из них делают наполнители для мягкой мебели, матрацев, одеял и подушек, которые нужны всегда, независимо от кризиса.

История с упаковкой

Параксиллол и моноэтиленгликоль — сырье для синтеза полиэтилентерфталата (ПЭТФ), того самого пластика, что идет на изготовление пластиковых бутылок. (Отечественную технологию его получения в результате поликонденсации этиленгликоля с терефталевой кислотой, которую синтезируют из параксилола, разработали в шестидесятые годы в Лаборатории высокомолекулярных соединений АН СССР, отчего и назвали полимер лавсаном.)

С этими веществами сложилась парадоксальная ситуация. В 2007 году из России было вывезено 52% всего произведенного моноэтиленгликоля и 54% параксилола. А сделанный из них ПЭТФ из-за отсутствия мощностей для его производства импортируют, причем в 2007 году доля зарубежного пластика этого типа во внутрироссийском потреблении составила 74,5%. В 2007 году введен в строй завод ОАО «Полиэф» по выпуску терефталевой кислоты и полиэтилентерфталата в Республике Башкортостан. Однако рост мощностей не поспевает за ростом рынка.

А ведь на самом деле для организации отечественного производства достаточно достроить недостающие производственные звенья. К примеру, нефтеперерабатывающее предприятие «Сибнефть—Омский НПЗ» имеет производственную цепочку по выпуску нефтехимической продукции. Параксиллол — один из продуктов этого предприятия, и до 2008 года его полностью экспортировали. Между тем продление производственной цепочки, то есть переработка параксилола в терефталевую кислоту и далее в полиэтилентерфталат, может принести омскому предприятию дополнительную прибыль. ПЭТФ — упаковка для пищевых продуктов, и вряд ли в этом секторе следует ожидать существенного падения производства.

При снижении спроса на базовую полимерную продукцию острокром относительной стабильности оказался еще один полимер, применяемый для упаковки пищевых изделий, — полиэтилен: его производство с октября 2008 по январь 2009 года увеличивалось в среднем на 1,3% в месяц. Хуже положение у изготовителей полипропилена и поливинилхлорида: из-за снижения платежеспособного спроса, главным образом в строительстве, российские предприятия ежемесячно снижали их выпуск во второй половине 2008 года в среднем на 2,3% и 4,5% соответственно.

Синтетические моющие средства

Производство всевозможных стиральных порошков в стране развивается весьма интенсивно: в период с 2001 по 2007 год его объем вырос в 1,6 раза. В значительной мере это связано с присутствием крупных зарубежных компаний. В 90-х годах, вскоре после приватизации, американская компания «Проктер энд Гэмбл» купила крупное предприятие по производству моющих средств — «Новомосковскбыхим», затем немецкий концерн «Хенкель» приобрел предприятие «Эра» чьи заводы расположены в городах Энгельсе и Тосно. В 2001 году концерн добавил к ним пермское ОАО «Пемос», а компания «Юниливер» приобрела ЗАО «Аист». Конкурировать с этими компаниями, которые используют производственную базу бывших советских предприятий, собственные прогрессивные технологии и отечественное сырье с относительно низкой стоимостью, вряд ли возможно.

Сегодня предприятия компании «Проктер энд Гэмбл» выпускают 47,2% всех отечественных СМС, а «Henkel» — 22,8%. Если в 2000—2004 годах доля импорта в потреблении выросла с 16,5 до 24,7%, то в последующие докризисные годы импорт снизился до исходных 17,6%. Экспорт же за 2000—2007 годы уве-



личился с 10 до 29%. При этом за семь лет производство на предприятиях «Хенкель» и «Проктер энд Гэмбл» выросло втрое (с 200 до 600 тыс. т в год), а у отечественных компаний осталось на прежнем уровне: чуть больше 200 тыс. т.

Специальная химия

Чтобы выпускать не сырье, а готовые изделия высокого качества, нужно использовать то, что называют «секретом фирмы», — продукты, вырабатываемые предприятиями специальной химии. Это всевозможные катализаторы, активные вспомогательные вещества, стабилизаторы, ингибиторы, добавки, красители, вещества, улучшающие или модифицирующие свойства пластмасс, резинотехнических изделий, химических волокон, синтетических моющих средств. Российских высокотехнологичных разработок явно не хватает, а за рубежом отнюдь не всегда можно купить нужные вещества, ведь они зачастую представляют собой «ноу-хау» той или иной компании-конкурента. Если же не использовать эти добавки, то потребительские свойства изделия окажутся низкими, что может плохо сказаться на его рыночной судьбе.

Примером служит ABS-пластик, используемый для производства автомобильных бамперов, панелей, ручек и других элементов салона. Формула пластика у российских и иностранных изготовителей идентична, но добавки и поверхностные напыления — разные. Одно из новшеств, появившихся на рынке таких материалов, — так называемые soft-touch materials (в переводе с английского — «мягкие для прикосновения материалы»). Напыление состоит, например, из нескольких упорядоченных слоев полиуретана с добавками. Оно увеличивает ударную прочность материала, стойкость к износу и скольжению. Немаловажное преимущество — повышение комфорта. Отечественные предприятия явно недооценивают эти факторы, и в результате большая часть потребительской продукции, которую они выпускают, может конкурировать с импортом только за счет цены. Между тем с ростом доходов населения данный фактор отходит на второй план и уступает место качеству. Именно поэтому предпочтение смещается в сторону более дорогого, но качественно превосходящего импорта, а отечественная продукция оказывается невостребованной.

Другой пример — шинное производство. Любую шину делают из бутадиен-стирольного каучука и полиамидного корда. Но и в них есть добавки, входящие в состав фирменной рецептуры: они определяют такие качества шин, как нестираемость, растяжимость, морозостойкость. Отечественное производство игнорирует важность постоянного совершенствования этих добавок. Кроме того, плохо внедряются передовые технологии по разработке рисунка протектора. А он должен отвечать современным стандартам, то есть удовлетворять высоким динамическим характеристикам, обладать оптимальным уровнем сцепления с дорожным покрытием и шумопоглощающим эффектом. В результате качество отечественной продукции постоянно снижается по сравнению с качеством продукции зарубежных поставщиков: доля импорта в общем объеме потребляемой продукции с 2000 года выросла в полтора раза и сейчас составляет 30%. На современных технологических линиях изготавливается меньше трети отечественных шин, поэтому при сохранении подобного положения вещей потребительские предпочтения и дальше будут смещаться в сторону импорта.

Впрочем, проблема не только в этом. Когда то или иное предприятие начинает повышать качество продукции, выясняется, что практически всю так называемую «тонкую» химию надо импортировать. Приобретение высокоэффективных добавок позволяет улучшить или повысить экономический эффект основных нефтехимических производств, не требует значительных средств на научные исследования и разработки и сводит к минимуму всевозможные риски при внедрении в производство. Однако, приобретая технологию за рубежом, покупатель, как правило, становится зависимым от технологического процесса, то есть начинает приобретать специальное сырье у инофирм. Понятно, что никто не хочет создать себе сильного конкурента, поэтому наиболее совершенные добавки оказываются недоступны. Таким образом, наши предприятия закупают у зарубежных компаний технологии, отстающие на одно-два поколения.

Образ будущего

Вероятно, за три года острая фаза кризиса завершится. Но это вовсе не означает, что экономика начнет развиваться так же, как прежде. Став частью мировой экономики, РФ вместе с ней может войти в фазу неустойчивого развития, когда подъем в течение нескольких кварталов сменяется спадом и так далее по синусоиде. Учитывая нынешнее состояние, стагнация в отрасли может продлиться пять-шесть лет. Во всяком случае, в прошлый раз, когда капиталистическую экономику охватил нефтяной кризис 70-х годов, 15 компаниям, обеспечивавшим в то время 90% химического сектора рынка США, для восстановления понадобился именно такой срок. Скорее всего, в 2009—2011 годах рост потребления химической промышленности не будет превышать 1—1,5%, однако затем он вполне способен вырасти до 4—5% в год.

Чтобы оказаться готовыми к такому повороту событий, химическим предприятиям, продукция которых ориентирована на внутренний рынок, необходимо в корне изменить траекторию развития. Сейчас важно сохранить производство на любом минимальном уровне и сконцентрировать усилия на поддержке наиболее перспективных направлений. Здесь необходим комплекс мер по повышению качества продукции, внедрению инновационных технологий при максимальном использовании результатов работ отечественных специалистов.

Не стоит ждать окончания кризиса. Уже сейчас нужно искать новые перспективные направления для развития. На данный момент в России нет многих производств и целых подотраслей, которые могли бы удовлетворить внутренний спрос на большое число химических продуктов. Более половины российского потребления покрывается импортными поставками в следующих группах полимеров: линейный полиэтилен низкой плотности, полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы, ПЭТФ, полиуретан, поликарбонат, фторполимеры, в том числе политетрафторэтилен (тефлон), а также различные силиконовые полимеры. Перед кризисом в России особенно быстро рос спрос на полибутилентерефталат — около 7,5% в год.

В дальнейшем при насыщении рынка этими полимерами целесообразно расширить номенклатуру за счет производства конструкционных пластмасс и полимеров инженерно-технического назначения — полиацеталей, фторопластов, полисульфонов, используемых при производстве изделий, стойких к перепадам температур, к условиям высоких механических нагрузок и воздействию химически агрессивных сред. К примеру, выпуск полисульфонов в России практически отсутствует или организован только на опытно-промышленных установках. Того, кто решится завоевать эти ниши, создав новый бизнес, ожидают значительные риски, но тот, кто угадает нишу правильно, останется в выигрыше.





Необычные свойства обычных полимеров

Что может быть обыкновеннее полиэтилена? Он постоянно на виду — из него, например, сделаны пакеты и пакетики, которые бесплатно раздают вместе с покупками в магазинах и на рынках. На упаковку действительно идет львиная доля самого крупнотоннажного полимера, производимого в мире. А ведь перед Второй мировой войной он появился в Англии как редкий изоляционный материал для пер-



1
Установка, на которой получают ориентационные полимеры

Доктор
технических наук,
профессор
А.В.Марков,
МИТХТ
им. М.В.Ломоносова

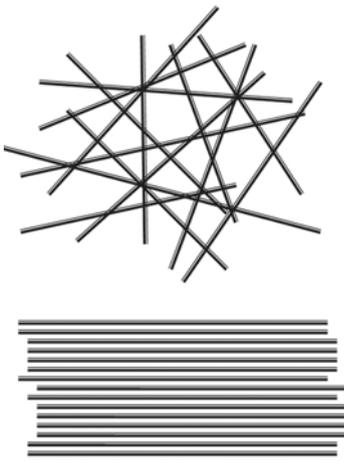


ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

вых радиолокационных установок и был дороже золота. Современные полиэтиленовые пакеты по внешнему виду и свойствам намного лучше тех первых, которые изготовили в середине прошлого века. Даже у специалистов по пластмассам вызывает восхищение тончайшая полупрозрачная пленка, в пакет из которой можно положить до 20 кг разнообразных вещей и продуктов. Правда, иногда пакеты все-таки рвутся, но с каждым годом становятся все прочнее. Почему? Ведь материал все тот же — полиэтилен!

Все дело в новых технологиях. Чтобы изготовить тонкие пленки, толстую заготовку нагревают, потом растягивают и резко охлаждают. Такой термовытяжкой сегодня получают почти все полимерные пленки, в том числе с рекордно малой толщиной — менее одного микрометра. Огромные промышленные ориентационные установки (рис.1) растягивают пленки не только из полиэтилена, но и из многих других полимеров. Растягивают и в длину (одноосно), и в ширину (двухосно). Уже первые опыты показали, что при термовытяжке прочность и жесткость полимеров можно повысить в десятки раз, сделав полиэтиленовые ленточки и волокна прочнее стальных. При этом они почти в восемь раз легче.

Почему ориентированные полимеры прочнее обыкновенных? Для начала нужно ответить на вопрос: а почему обыкновенный полиэтилен такой непрочный? Этот вопрос не так наивен, как кажется. Алмаз, состоящий из тех же атомов углерода, связанных между собой теми же ковалентными связями, что и атомы углерода в молекулярной цепочке полиэтилена, — один из самых твердых и прочных материалов в природе. Разницу между ними можно объяснить, вспомнив древнюю легенду о мудром старце. Перед смертью он попросил своих сыновей сломать пруты хвороста, сложенные в пучок, что они так и не смогли сделать, несмотря на свою молодость и крепость мышц. Физико-химический смысл этой сказки очевиден. Чтобы разделить рыхлую кучу хвороста на части (рис.2), больших усилий не нужно. Стоит чуть-чуть потянуть,



2

Хворостинки мудреца

и хворостинки разделятся на две кучки, не ломаясь. Если и придется сломать одну-две, то это будет довольно просто. А вот сломать пучок плотно уложенных хворостинок намного труднее, ведь ломать придется все одновременно. И чем больше в пучке палочек, тем труднее будет это сделать.

В полиэтилене такие «хворостинки» — полимерные цепочки. Между собой они связаны физическими межмолекулярными связями, которые в сотни раз слабее химических углерод-углеродных (тех, которыми соединены молекулы углерода в полимере). Поэтому реальная прочность обычного полиэтилена намного меньше прочности алмаза, в котором все углероды связаны между собой химическими связями.

Если все полимерные молекулы в пленке уложить параллельно, в одном направлении, то придется потратить значительно больше энергии на разрушение. Попробуйте порвать декоративную ленточку, которой продавцы перевязывают букеты цветов. Разорвать ее поперек руками невозможно, хотя она сделана из обычного (но ориентированного) полиэтилена. Однако ленточку легко разделить на полоски, если ее рвать в продольном направлении. В первом случае необходимо рвать ковалентные углерод-углеродные связи полимерных молекул, а во втором — надо просто развести молекулы, разрушив слабые межмолекулярные связи и почти не затрагивая сами молекулы.

У полимерных молекул есть одно существенное отличие от жестких прутьев, которое сильно осложняет достижение нужного результата. Молекула полиэтилена — не жесткий стержень. Она очень гибкая, поскольку связь между атомами углерода в полимерной цепочке подвижная и атомы углерода вращаются относительно друг друга. Так как они связаны между собой под углом около 110 градусов, то их движение заставляет зигзагообразные полимерные молекулы извиваться

с огромной скоростью, подобно наноразмерным змеям (рис. 3). В результате эти «змеи» при синтезе сворачиваются в клубки — как цепочка, которую положили на хаотично вибрирующую поверхность. Именно поэтому легко разорвать обычную полиэтиленовую пленку: в ней не нужно рвать все цепочки полиэтилена.

Если полимер со свернутыми молекулами нагреть и растянуть, то они вытянутся в направлении растягивающей силы. Но как только внешняя сила перестанет действовать, хаотичное тепловое движение заставит макромолекулы вновь свернуться в клубки. Это свойство называется упругостью, а точнее, термоупругостью, так как она — следствие теплового движения. Термоупругость отличается от обычной упругости стальной пружины, поскольку она связана не с изменением расстояния между атомами в молекуле, а с размерами молекулярного клубка — меняются расстояния между концами длинной молекулы. (Ког-

3

Полимерные молекулы извиваются, как змеи



4

Термоусадочная пленка

да в следующий раз вы растянете кусок резины, то имейте в виду, что вы растягиваете молекулярные клубки и ощущаете их суммарную термоупругость. А когда вы отпустите один из концов, то представьте, как эти молекулы, извиваясь в тепловом движении, снова сворачиваются.) Термоупругость мешает ориентации молекул, которая делает полимер прочным. Если же растянутый образец охладить до низкой температуры, то можно «заморозить» молекулы, и образец сохранит свою новую форму и структуру. Так делают ориентированные пленки.

К этому надо добавить, что неоднородная ориентация молекул может быть вредной. В готовых изделиях из-

за нее появляются напряженные области (специалисты называют это остаточными напряжениями). Именно на границах этих областей со временем появляются микротрещины, приводящие к разрушению полимерных материалов. Иногда полимерное изделие приходится долго прогревать (отжигать), чтобы обеспечить стабильность его свойств и размеров.

Возьмем другую ситуацию: полимер растянут при невысокой температуре, охлажден и зафиксирован в новой форме и размерах. Тогда он станет термоусадочным. Такой материал можно снова разогреть — растянутые молекулы вновь начнут извиваться и сворачиваться в клубки, а полимер сократится, вспомнив свою исходную форму. Как можно использовать такие материалы? Посмотрите на коробку с конфетами или на дорожную книгу. Они защищены пленкой. Эту пленку невозможно, да и не нужно натягивать на коробку. Коробку с конфетами просто поместили в пакет из термоусадочной пленки и нагрели. Размер пакета может уменьшиться как минимум в два раза, поэтому пленка с усилием обтягивает положенный в нее предмет. Так можно упаковывать фрукты, банки, бутылки и т. п. (рис. 4). Кстати, если нагреть ПЭТ-бутылку, она тоже усядет. Дело в том, что ее изготовили, раздув сжатым воздухом разогретую до 90°C маленькую заготовку (преформ). Так же ведут себя одноразовые полистирольные стаканчики.

Теперь представьте, что вам нужно ликвидировать разрыв кабеля. Для этого потребуются термоусадочные трубки. Полиэтиленовую трубку растягивают, увеличив ее диаметр в 6—8 раз, и она становится термоусадочной. Вы надеваете такую термоусадочную трубку на оторванный конец кабеля, соединяете медные жилы и наводите трубку на место разрыва. Остается только нагреть трубку — она сожмется и надежно изолирует провод. Эффект термоусадки можно усилить и сделать еще более стабильным, если радиационным или химическим воздействием сшить растянутые полимерные молекулы между собой. Такие пространственно сшитые термоусадочные материалы сохраняют свою форму после усадки даже при нагреве до очень высоких температур.

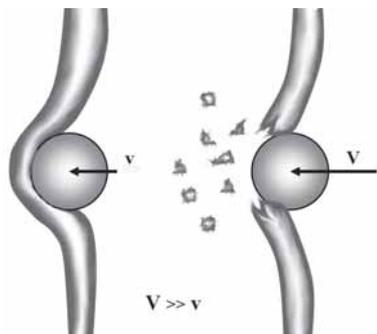
А что произойдет, если разогреть несшитый полимер еще сильнее? Его молекулы начнут извиваться все быстрее, и при температуре, которую называют температурой текучести или плавления, даже силы тяжести хватит, чтобы заставить их «расползаться» в разные стороны — полимер превращается в жидкий расплав. Межмолекулярные физи-

ческие связи постепенно разрушаются, перестают удерживать молекулярные клубки вместе, они перемещаются относительно друг друга и вытягиваются в направлении течения. Каковы будут последствия?

Полимерные расплавы — это не обычные жидкости, они не подчиняются основным законам гидродинамики. Так, если в трубе с обычной жидкостью (бензином, водой, глицерином, ртутью, жидким азотом) увеличить в два раза давление, то из трубы ее вытечет вдвое больше. Это первым заметил Исаак Ньютон, поэтому обычные жидкости называют ньютоновскими. А вот если в трубе находится расплав полиэтилена, то расход может увеличиться не в два, а в три, пять или более раз! То есть вязкость полимерного расплава уменьшается с увеличением скорости течения. Это происходит потому, что вытягиваются молекулярные клубки, а значит, изменяется структура жидкости и ее вязкость. Подобные жидкости называют неньютоновскими.

Полимерные жидкости имеют еще одну очень важную особенность — они эластичны. Если растянуть полимерный расплав и разрезать его посередине, то половинки сократятся (хотя и не полностью до прежнего состояния), как резиновые «червячки». Такие жидкости называют вязкоупругими. Между прочим, в их изучение большой вклад внесли известные ученые Джеймс Максвелл и Уильям Кельвин — ведь так ведут себя не только расплавы и растворы полимеров. В свое время знаменитые физики исследовали эти свойства на концентрированном растворе крахмала в воде, который становится вязкоупругим при обычных температурах.

Если поискать в Интернете материалы по теме «неньютоновские жидкости», то можно увидеть много интересного. Например, как молодые люди бегают по такой «жидкости» и даже отплясывают на ее поверхности, но когда останавливаются, то сразу начинают тонуть. Суть фокуса в том, что если воздействие быстрое, то молекулы рас-



5

Удар по расплаву полимера



6

Если окунуть палочку в расплав полимера и потянуть, то получится волокно

плавленного полимера не успевают переместиться относительно друг друга. Связанные между собой физическими связями большие молекулы ведут себя как единая молекулярная сетка. Чем менее подвижны полимерные молекулы (ниже температура расплава) и чем больше скорость деформирования, тем больше упругость этой сетки. Такая неньютоновская жидкость ведет себя, как резиновый матрас. Когда только человек останавливается, жидкость начинает медленно течь и человек благополучно тонет. Если же он снова начнет быстро шевелить руками и ногами в нужном направлении, то сможет опереться на упругую массу и вылезти из нее, подобно барону Мюнхгаузену.

Ударим по жидкому расплаву полимера со скоростью несколько десятков метров в секунду. Думаете, он прогнется? Нет — разлетится на осколки (рис. 5). Почему? При ударном воздействии молекулярные клубки не успевают отреагировать, и расплав может повести себя как хрупкое стекло.

Есть и другие интересные примеры особого поведения полимерных расплавов. Например, если окунуть кончик палочки в расплав или концентрированный раствор полимера и потянуть вверх, то образуется волокно (рис. 6). Чем дольше вы будете его тянуть, тем длиннее и тоньше оно будет становиться, пока не превратится в довольно прочную паутинку. Эта аналогия не случайна — такой же механизм прядения используют пауки. Почему волокно не рвется? Когда мы вытягиваем расплав, молекулы тоже вытягиваются вдоль и делают его прочным. Чем быстрее тянуть волокно, тем прочнее оно станет. Это происходит до тех пор, пока полимер не остынет. На этом свойстве основано производство большинства синтетических волокон.

Следующее интересное свойство — эффект Барруса, или эффект разбухания расплава. Струя обычной ньютоновской воды, вытекающей из крана, сужается по нормальным гидродинамическим законам. Если же продавливать через отверстие полимерную жидкость



ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

(например, при получении тех же волокон, листов, пленок и т. п.), вытекающий расплав сразу на выходе увеличивается в поперечнике в два, три или более раз (рис. 7). Как и при вытягивании волокон, клубки молекул полимера растягиваются, а потом стремятся сократиться — при этом дополнительно давят на стенки канала. Когда расплав выходит из отверстия, то молекулы сворачиваются и полимерный расплав (полимерщики называют его «экструдатом») разбухает. Чем больше этот эффект, а он увеличивается, например, при снижении температуры расплава, тем сильнее будет отличаться размер изготавливаемого изделия от размера отверстия.

Если увеличивать скорость течения полимерного расплава в канале до очень больших значений, то движущиеся вблизи стенки слои полимера, как и при ударе, могут потерять способность течь и, «отвердев», начнут скользя по стенке. Через некоторое время нормальное течение восстанавливается — и вновь нарушается. В результате поверхность выходящего из отверстия расплава становится неровной (рис. 8). Если постараться, то можно получить замечательные винтообразные образцы с различным шагом витка. Этот эффект называю эффектом срыва потока. Красиво, но сильно мешает работать с расплавами при больших скоростях, поскольку ограничивает производительность технологических процессов.

На первый взгляд совершенно непонятен эффект Вайсенберга, имеющий массу модификаций. Все знают, что происходит, если мешать ложечкой чай в стакане. Вращающаяся жидкость за счет центробежной силы отбрасывается к стенкам и образует воронку. Со всем не так ведет себя полимерный расплав. Если его поместить в зазор между двумя цилиндрами и начать вращать внутренний, то расплав будет постепенно собираться у вращающегося цилиндра, поднимаясь вверх (рис. 9). Одновременно он и этот цилиндр стремится вытолкнуть вверх. Причина опять же в изменении структуры расплава. Часть его вращается вместе с внутренним цилиндром, и полимерные молеку-



7
Полимерный расплав, вытекающий из отверстия, увеличивается в диаметре

лы вытягиваются, как бы наматываясь на него. Но они стремятся свернуться обратно в клубок, поэтому появляется усилие, направленное вверх.

Может показаться, что этот интересный эффект не имеет никакого практического значения. Однако он определил конструкцию машин для переработки полимеров, которые называют дисковыми экструдерами. Если поместить полимерный расплав в зазор между

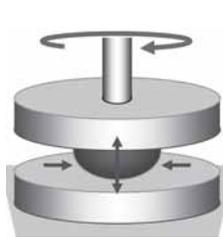


8
Эффект срыва потока



9
Расплав полимера поднимается вверх по внутреннему цилиндру

двумя дисками, один из которых быстро вращается, то полимер по указанному выше причинам соберется в центральной части зазора (рис. 10). При этом возникнет давление, стремящееся раздвинуть диски. Чем больше скорость вращения, тем больше давление, поэтому если в центре неподвижного диска проделать отверстие, то через него будет выдавливаться расплав. Получится особый экструдер, с помощью



10
Дисковый эффект

Сверхполиэтилен

Кризис — хорошее время, чтобы избавиться от старого производства на устаревшем оборудовании и при наличии средств поставить совершенно новое оборудование под новейший технологический процесс. В химии полимеров перспективные возможности открывают применение наночастиц, которые способны придать хорошо известному материалу качественно другие свойства. Одну из интересных технологий получения нанокompозитов на основе широко распространенных полимеров создали отечественные химики, выполняя работы по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2012 годы» (www.fcpir.ru).

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) отличается от обычного тем, что в его молекуле сотни тысяч звеньев, а молекулярная масса составляет несколько миллионов. Благодаря этому сверхвысокомолекулярный полиэтилен обладает совсем другими свойствами, нежели обычный, и называется хорошим конструкционным материалом, способным заменить сталь, бронзу, а также гораздо более дорогостоящие полимеры — полиамид или фторопласт. В зависимости от области применения и способов переработки СВМПЭ нужны различные марки порошков этого полимера, отличающихся молекулярной массой, размером частиц и надмолекулярной структурой.

Сейчас в России есть два опытных производства СВМПЭ, в Томске и в Казани, с общим объемом продукции около 500 тонн. Однако считается, что потребность в этом полимере исчисляется десятками тысяч тонн, и тот, кто первым освоит выпуск изделий из него, окажется в сильном выигрыше. Благодаря сочетанию химической стойкости, высокой прочности, стойкости к истиранию и способности выдерживать температуру от -200°C до $+65^{\circ}\text{C}$ он нашел применение во многих отраслях промышленности. В машиностроении из СВМПЭ изготавливают разнообразные тяжело нагруженные втулки и

зубчатые колеса, в химической промышленности — детали насосов, кранов, клапанов, уплотнений, облицовки реакторов. Пластины из СВМПЭ пригодятся горнообогатительной промышленности: ими можно облицовывать кузова самосвалов и вагонов, транспортные желоба загрузочных бункеров. Среди возможных изделий из этого полимера: броня боевых машин, эндопротезы, покрытия для лыж и сноубордов, искусственный лед для летних катков... Еще более привлекательными свойствами обладают композиты на основе СВМПЭ.

Отечественную технологию изготовления нанокompозитов из СВМПЭ предложили ученые из красноярского Института химии и химической технологии СО РАН. Ее характерные черты — применение механической активации полимерных гранул и введение в состав полимера специально синтезированных наночастиц металлов или керамики. При этом красноярские ученые создали несколько способов получения наночастиц. Частицы металлов, а также оксида и нитрида титана размером 5–10 нм они синтезировали в электрической дуге низкого вакуума. Частицы оксида вольфрама диаметром 10–100 нм — в высокочастотной плазме. Из золы, которая попадает в трубы тепловых электростанций, им удалось выделить стек-

которого из полимеров формируют трубы, листы и другие непрерывные изделия.

Наши примеры не описывают все особенности полимеров, однако дают понять, насколько это сложные вещества. Полимеры часто ведут себя как капризные живые объекты. С точки зрения технолога, от всех этих аномалий поведения больше вреда, чем пользы. Обычные и, казалось бы, простые инженерные задачи по расчету течения расплавов в каналах, заполнения форм, получения изделий нужных размеров и форм превращаются в трудные, хотя и интересные исследования, зачастую с плохо предсказуемым практическим результатом.

До сих пор существует много непонятного в поведении полимеров, не все их тайны раскрыты. Есть что исследовать, и есть что открывать.



ТЕХНОЛОГИИ

лянные микросферы и разделить их на фракции. Все эти наполнители затем применили для получения разных марок нанокompозитов из СВМПЭ.

Чем длиннее молекула полимера, тем более вязким становится его расплав, поэтому равномерно распределить наночастицы по всему объему пластика — задача непростая. Ее удалось решить методом механического синтеза, когда гранулы полимера и наночастицы совместно размалывают в высокоскоростной мельнице. При таком помоле наночастицы порой объединяются в агрегаты. Чтобы этого избежать, в мельницу надо было добавлять поверхностно-активные вещества.

В конце концов были получены гранулы полиэтилена с добавками наночастиц, из них спрессовали десять партий пластин, которые затем испытали в различных изделиях. Результаты оказались весьма неплохими. Например, замена пластин из фторопласта на пластины модифицированного СВМПЭ увеличила ресурс работы насосов, перекачивающих шлам на химическом производстве, в десять раз. В целом износостойкость СВМПЭ с наночастицами выросла в 100–150 раз, модуль упругости, то есть степень жесткости материала, увеличился более чем в три раза, а стойкость к радиационному воздействию — в 1,6–1,8 раза.

Если будет налажено производство нанокompозитов из СВМПЭ, то они смогут заменить металлоконструкции во многих областях техники, за счет чего получится немалый экономический эффект.

Кандидат физико-математических наук
С.М. Комаров



Московский дом книги рекомендует

ТЕХНОЛОГИИ

Ю. Беккер

Хроматография. Инструментальная аналитика. Методы хроматографии и капиллярного электрофореза
М.: Техносфера, 2009



Хроматография принадлежит числу важнейших процессов инструментальной аналитики. Прежде всего, она играет важную роль в таких областях науки как химия, биохимия и аналитика окружающей среды при определении малых количеств органических веществ.

Книга представляет собой введение в основы хроматографических процессов и специальных методов капиллярного электрофореза; наряду с базовыми знаниями предлагается информация о новейших разработках в этих областях. При рассмотрении аналитических процессов в ходе сравнительного анализа описаны различные области их применения, а также преимущества и недостатки каждого метода в отдельности. Для полноты понимания отдельных методов каждое описание подкреплено соответствующими теоретическими выкладками.

Книга предназначена для специалистов в области инструментальных методов исследования химических процессов, для студентов и аспирантов-химиков.

Ю. П. Рассадкин

Вода обыкновенная и необыкновенная
М.: Галерея СТО, 2008



Вкниге рассмотрен широкий круг вопросов, связанных со свойствами воды. Создана и излагается комплексная теория процессов, происходящих в жидкой воде, позволяющая описывать и объяснять многочисленные ее свойства. Книга интересна своей многоплановостью. С одной стороны, ее можно рассматривать и использовать как справочник явлений, связанных с водой, или как энциклопедию воды. С другой стороны, в книге сделана попытка объяснить огромный массив явлений с участием воды, учитывая значительную роль процессов, во многих случаях неравновесных, идущих на колебательных, вращательных и поступательных степенях свободы молекул H_2O .

Книга будет интересна не только ученым и специалистам, занимающимся исследованиями физических и химических свойств воды и водных растворов, но и широкому кругу инженеров, технологов, специалистам водоочистки, изобретателям, а также найдет применение в биологии и медицине.

Иштван Харгиттай

Откровенная наука. Беседы с корифеями биохимии и медицинской химии
М.: КомКнига, 2006



Книга И.Харгиттай состоит из 36 бесед с выдающимися учеными XX века, работавшими в области биохимии, медицинской химии и смежных дисциплин, многие из которых были удостоены Нобелевской премии. Среди них: один из создателей модели пространственной структуры ДНК Джеймс Уотсон; один из первооткрывателей явлений трансдукции и рекомбинации у бактерий Джошуа Ледерберг; Фредерик Сенгер, единственный ученый, получивший две Нобелевские премии по химии; Маршалл Ниренберг, внесший решающий вклад в расшифровку генетического кода; первооткрыватель фактора роста нервов Рита Леви-Монтальчини; «отец» геной инженерии Пол Берг; ученые, занимавшиеся выяснением природы «коровьего бешенства», и многие другие.

Неформальный стиль бесед предоставляет читателю возможность увидеть личность великих ученых, узнать не только их научные взгляды, но и их мнения по политическим, этическим, философским и другим вопросам. Историкам науки может быть интересен «взгляд изнутри» на выдающиеся открытия XX века.

А. Л. Бучаченко

Новая изотопия в химии и биохимии
М.: Наука, 2007



Монография академика А.Л.Бучаченко — труд, суммирующий достижения в новой и актуальной области науки — химической и биохимической изотопии. Монография полностью основана на работах автора, выполненных в Институте химической физики им. Н.Н.Семенова и Институте проблем химической физики РАН за период с 1976 года и по настоящее время. В ней идет речь о новом изотопном эффекте и новой изотопии магнитных и немагнитных ядер, а также об использовании этой изотопии в химических и биохимических исследованиях

Для химиков, биохимиков и геохимиков.

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



Марганец

Кандидат химических наук

М.П.Лябин,

кандидат химических наук

С.Ф.Строкатова

Еще с 1980-х годов за СССР закреплен участок в Тихом океане, на дне которого находится огромное количество железомарганцевых конкреций. Марганца России сегодня очень не хватает, поэтому начало технологически непростой добычи было намечено на 2011–2020 годы. После железа на Земле больше всего марганца (0,1% по массе), и в общем он 15-й по распространенности элемент. Марганец присутствует во множестве минералов. Наиболее важные – пиролюзит (гидратированный диоксид марганца, MnO_2), гаусманит (Mn_3O_4), браунит (Mn_2O_3), манганит ($MnOOH$), родохрозит ($MnCO_3$), родонит ($MnSiO_3$). Каждый год в мире добывают 20–25 млн. тонн чистого марганца, поскольку он необходим во многих областях современной промышленности.

Когда-то два основных месторождения СССР находились на Украине (Никопольское Большетокмакское месторождение) и в Грузии (Чиатурское месторождение). Сегодня они оказались на территории независимых государств, и Россия покупает марганец за рубежом. Впрочем, все месторождения мало-помалу истощаются, поэтому многие ученые возлагают большие надежды на железомарганцевые конкреции.

Конкреции

Давно известно, что огромное количество марганцевых минералов сосредоточено на дне океана. Только в Тихом океане ресурсы этого элемента достигают по разным оценкам от нескольких десятков до нескольких сотен миллиардов тонн. А еще они есть в Атлантическом, Индийском океанах... Первые образцы «марганцевых почек» привез в 1876 году британский трехмачтовый парусник «Чел-



Элемент №...

ленджер», в течение трех лет бороздивший с научными целями моря и океаны. Последующие экспедиции показали, что на дне Мирового океана много этих «картофельных клубеньков» цветом от коричневого до черного (в зависимости от того, какой элемент в них преобладает – железо или марганец). Среди них встречаются весьма крупные — в музее Скриппсовского океанографического института в США хранится конкреция весом 57 килограммов, найденная в районе Гавайских островов. Однако все рекорды побил полутораметровая железомарганцевая конкреция, поднятая на борт нашего корабля «Витязь» в Тихом океане: она весила почти тонну.

До середины двадцатого столетия океанские месторождения не привлекали к себе особого внимания. Только когда сухопутные начали истощаться, подводные конкреции стали рассматривать как реальные источники марганца и других металлов. Почему бы и нет — ведь содержание марганца в подводной железомарганцевой руде иногда достигает 50%.

Как образуются марганцевые месторождения? Марганец в донных отложениях находится в форме свободного гидроксида, который обладает фантастической сорбционной активностью — самой высокой среди природных сорбентов. Это свойство позволяет ему эффективно связывать множество металлов из морской воды (до трех четвертей таблицы Менделеева). Вероятно, именно так образуются ценнейшие рудные концентраты на дне океана. Впрочем, есть и микробиологическая версия образования конкреций, согласно которой дело не обошлось без участия морских бактерий-микрообогатителей. Недавно российские биологи обнаружили неизвестные виды так называемых металлогенических бактерий, способных извлекать из воды и концентрировать марганец.

Конкреции — практически неисчерпаемый потенциальный запас марганца, и не только его. Кобальт, никель, цинк, медь — содержание этих металлов в конкрециях сопоставимо с их концентрациями в рудах на суше. Но как их достать со дна океана? Многие страны давно обратили внимание на океанские месторождения (см. «Химию и жизнь», 1990, № 7, 11), однако безопасной и эффективной технологии до сих пор нет. С одной стороны, добыча со дна океана привлекательна тем, что не надо прокладывать специальные дороги. С другой стороны, если перевозить необогащенную руду (сами конкреции), то себестоимость получится довольно высокой. Значит, надо как-то получать металлы на месте. При этом технология должна быть совершенно безопасной для океана и его обитателей, иначе Международный орган по морскому дну (МОД) ООН не даст разрешение на добычу. Сегодня Китай, Корея и некоторые другие страны активно готовятся к освоению этих ресурсов. В то же время Япония, Индия, американские и европейские компании, вложившие сотни миллионов долларов в разведку и освоение океанских руд, пока снизили свою активность — слишком дорого выходит.

Россия планировала начать опытную добычу железомарганцевых конкреций в 2011–2020 годах, а с 2022 года было намечено промышленное освоение месторождения, закрепленного за СССР еще в 80-х годах прошлого века. Оно находится в богатой рудной провинции Клариион-Клиппертон в Тихом океане. Помимо России, это поле делят также Япония, Франция, КНР, Южная Корея и крупные международные корпорации.

Исследователи из Геологического института РАН придумали свою технологию, которая должна пройти стандарты МОД ООН. Гидроксиды марганца очень чувствительны к условиям среды. Стоит их чуть-чуть изменить, и гидроксиды начнут растворяться, высвобождая связанные металлы. Именно на этом свойстве и построена технология. Предполагается, что будет сделан глубоководный реактор, в котором прямо на дне станут растворяться конкреции, и металлы в ионной форме перейдут в раствор. В качестве растворителя ученые предлагают использовать неконцентрированную кислоту с добавками небольших количеств перекиси водорода. Раствор с солями металлов без лишних примесей (шлак, который иногда составляет 40% конкреций, останется на дне) можно поднять по рукавам-шлангам на добывающее судно. На палубе металлы восстановят и уже в твердом виде повезут на землю.

Похожие окислительно-восстановительные процессы протекают на дне океана и без участия человека, поэтому содержимое реактора будет вполне органично океану. Метод уже отлажен в лаборатории и зарекомендовал себя очень хорошо. Остается сделать реактор и попробовать, как он работает на дне.

История металла

А нужны ли такие титанические усилия? Безусловно. Ведь по объемам глобального потребления марганец занимает четвертое место среди всех металлов.

Соединения марганца, а именно пиролюзит (MnO_2), были известны и применялись с древних времен (см. «Химию и жизнь», 1970, № 2; 2003, № 10). В чистом виде его впервые получили в 1774 году К.В.Шееле и Ю.Ган. Термин «марганец» (manganesium) приняла в 1787 году Французская комиссия по номенклатуре, но всеобщим он стал лишь в начале XIX века. Позднее этот металл, чтобы не было путаницы с открытым Хэмфри Дэвидом в 1808 году магнием (magnasium), переименовали в manganium. В России в первой половине XIX века его называли «марганцовик», а позже и «манганес», и использовали при изготовлении финифти пурпурного цвета. Только потом в русском языке утвердилось название «марганец».

В начале XIX века произошла очень важная вещь: металлурги научились выплавлять зеркальный чугуны, содержащий 5–20% марганца и 3,5–5,5% углерода. Пионером в этой области стал английский металлург Генри Бессемер.

Чтобы понять, насколько это важно, напомним вкратце весь процесс. Чугун — это сплав железа с углеродом (содержание С превышает 2%), а из него делают сталь (содержание С менее 2%). Сущность сталеплавильного процесса — окисление примесей в чугуне и снижение содержания углерода. Не будем вдаваться в подробности, сейчас главное для нас то, что основные враги прочности стали — сера и кислород. В частности, если не убрать серу, то при затвердевании образуются прослойки из FeS, что снижает прочность стали. Марганец обладает большим сродством к сере, чем железо, поэтому сталь «раскисляют» — добавляют к расплаву марганец или соединения марганца. Растворенная сера связывается в MnS , который уходит в шлак. Марганец также связывает растворенный в стали кислород.

Но чистый марганец добавлять дорого. И вдруг оказалось, что зеркальный чугунок так же, как и чистый марганец, обладает свойством удалять из расплавленной стали кислород и серу. Зеркальный чугунок содержит гораздо меньше Mn (до 20%), поэтому им начали раскислять сталь. В те времена зеркальный чугунок получали в доменной печи восстановлением содержащих марганец шпатовых железняков, привозимых из Рейнской Пруссии (из Штальберга).

Бессемер способствовал созданию и других марганцевых сплавов. Под его руководством Артур Гендерсон в 1863 году организовал на заводе в Глазго производство ферромарганца — сплава, содержащего 25–35% марганца. Ферромарганец обладал преимуществами перед зеркальным чугуном, поскольку имел большую вязкость и пластичность. Постепенно он сделался главным раскислителем стали, который используют до сих пор.

Вехой в истории марганца стал 1882 год, когда английский металлург Роберт Гадфильд выплавил сталь с высоким содержанием этого элемента. Ею очень заинтересовались фирмы, выпускающие сейфы и замки. Почему?

Дело в том, что введение до 1% марганца в сталь не меняет ее свойств, но если добавить его больше (или сочетать с другими металлами), то сталь становится более твердой и служит дольше. Марганцовистую сталь используют там, где требуется повышенная стойкость к ударам и истиранию. Правда, она делается гораздо менее пластичной. Сегодня марганец входит в конструкционные стали марок 30 ХГС, 45Г2. Такую сталь широко используют в машиностроении и делают из нее броневую сталь.

В 1898 году О.Гейслер обнаружил, что марганец образует сплавы с алюминием, сурьмой, оловом и медью и эти сплавы могут намагничиваться, хотя и не содержат ферромагнитных компонентов. Это свойство появляется потому, что в таких сплавах образуются интерметаллические соединения. Выяснилось также, что олово в сплаве можно заменить алюминием, мышьяком, сурьмой, бором или висмутом, а ферромагнетизм при этом сохраняется. Подобные материалы называются сплавами Гейслера.

В 1898 году О.Гейслер обнаружил, что марганец образует сплавы с алюминием, сурьмой, оловом и медью и эти сплавы могут намагничиваться, хотя и не содержат ферромагнитных компонентов. Это свойство появляется потому, что в таких сплавах образуются интерметаллические соединения. Выяснилось также, что олово в сплаве можно заменить алюминием, мышьяком, сурьмой, бором или висмутом, а ферромагнетизм при этом сохраняется. Подобные материалы называются сплавами Гейслера.

Полезный выход

Марганцевые руды делят на химические и металлургические. Первые содержат не меньше 80% MnO, их используют в гальванических элементах, производстве стекла, керамики, минеральных красителей, перманганата калия (KMnO₄) и некоторых других продуктов. Руды, содержащие меньше 80% марганца, — металлургические, их применяют в черной металлургии. В общей добыче марганцевых руд на долю последних приходится более 90%, то есть львиную долю марганцевой руды используют металлурги.

Как мы уже упомянули, большая часть идет на ферромарганцевые сплавы (сплав Fe с Mn). Кроме ферромарганца, в металлургии широко применяют силикомарганец (15–20% Mn, 10% Si и меньше 5% C). Он идет на получение спецсталей.

Интересными свойствами обладает сплав специального назначения «манганин», содержащий 11% марганца, 2,5–3,5% никеля и 86% меди. Он имеет высокое электросопротивление и маленькую термоэлектродвижущую силу в паре с медью, поэтому очень хорош для катушек сопро-

тивления. Манганин изменяет свое сопротивление в зависимости от давления, под которым находится сплав, что используют при изготовлении электрических манометров. Действительно, как измерить давление, например, в 15–30 тысяч атмосфер? Ведь никакой обычный манометр не выдержит. В этих случаях манганин незаменим: измеряя его электрическое сопротивление, можно по заранее известному графику зависимости сопротивления от давления вычислить последнее с любой степенью точности.

Манганины обладают еще одним ценным свойством — демпфированием, то есть могут поглощать энергию колебаний. Если бы какому-нибудь чудачу пришла мысль отлить из манганина колокол, то с его помощью вряд ли удалось бы собрать вече — вместо набатного звона такой колокол издавал бы лишь короткие глухие звуки. Но если для колокола молчание — явный недостаток, то для железнодорожных или трамвайных колес, рельсовых стыков и многих других звучащих деталей — это очевидное достоинство. Да и в кузнечных, штамповочных металлообрабатывающих цехах с помощью «немых» сплавов можно сделать атмосферу гораздо приятнее. Самые «тихие»

сплавы содержат 70% марганца и 30% меди, и некоторые из них по прочности не уступают стали.

Интересны также бронзы с добавкой марганца (BrMn5 и BrMn20). Эти сплавы (сплавы Гейслера) могут намагничиваться, хотя ни тот, ни другой компонент в отдельности не проявляют магнитных свойств.

Кроме того, они прочны и устойчивы к коррозии, поэтому из них делают винты самолетов и другие авиадетали.

В последние годы стали широко известны сплавы с «памятью», и их число с каждым годом растет. Ученые разработали, например, сплав на основе марганца с добавкой меди, который по способности помнить свою прежнюю форму не уступает знаменитому сплаву нитинолу. Сплав легко сделать и обрабатывать, что, несомненно, позволит ему найти немало интересных областей применения. Марганец входит в состав другого любопытного сплава, разработанного польскими учеными: в зависимости от напряжения электрического тока он может проявлять либо магнитные, либо полупроводниковые свойства.

Марганцевые сплавы побывали в космосе — в ходе технологического эксперимента «Реакция» в 1976 году на борту орбитальной станции «Салют-5» космонавты Борис Волинов и Виталий Желобов с помощью марганец-никелевого припоя соединили трубки из нержавеющей стали. На Земле проверили — качество пайки оказалось отличным, стык успешно выдержал давление около 500 атмосфер. Это был очень важный эксперимент, поскольку пайка трубчатых деталей — один из методов монтажно-сборочных работ, которые, может быть, придется выполнять в космическом пространстве в недалеком будущем.

Конструкторы автомобилей всегда стремились сделать двигатель мощным, а расход бензина минимальным. Чтобы решить обе эти задачи сразу, нужно повысить степень сжатия в цилиндрах. При этом часто возникала детонация, а двигатель быстро выходил из строя. Пришлось добавлять антидетонаторы — специальные добавки к топливу, с ролью которых успешно справляются соединения свинца. Но поскольку они очень токсичные, надо искать им замену. Многолетние поиски новых антидетонаторов привели ученых к элементоорганическим соединениям марганца. Оказалось, что эти безвредные вещества с не-

Марганец присутствует в организмах всех растений и животных. Без него они не могут ни расти, ни функционировать, хоть и нужны всего-то тысячные доли процента этого металла. Правда, есть живые организмы, в которых марганца в сотни раз больше, — это ржавчинные грибы, морская трава, водяной орех, некоторые виды бактерий. В крови человека марганца 0,002–0,003%, суточная потребность в нем — 3–8 миллиграммов.

простыми названиями (например, трибутилолово-циклопентадиенил-фидкарбонилмарганец) по антидетонирующим свойствам ничуть не уступают своим свинцовым предшественникам. Может быть, они заменят соединения свинца.

При получении сверхчистого азота долгое время приходилось в качестве катализатора применять такие дорогие металлы, как платина и палладий, и тут им на смену пришел марганец. На Руставском заводе синтетического волокна создана промышленная установка получения из воздуха совершенно «стерильного» азота, который необходим для производства капрона.

Интересно, что промышленности полезны даже железомарганцевые конкреции в натуральном виде. Одна из важных проблем при добыче и подготовке нефти на промыслах — утилизация попутного нефтяного газа. Очистка газа классическим способом (аминами с получением элементной серы) экономически невыгодна для малых нефтяных месторождений. В этом случае можно использовать адсорбционную очистку. Из многочисленных вариантов адсорбентов перспективнее всего как раз адсорбенты на основе железомарганцевых конкреций.

Конечно, у марганца есть много других применений. Перманганат калия используют в медицине, в гальванических элементах, при получении хлора, приготовлении каталитических смесей (гопкалит в противогололедах), в аналитических исследованиях, в пиротехнике, в ракетных топливах ($\text{Ca}(\text{MnO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}_2$).

Марганец находит применение и в сельском хозяйстве: небольшие его добавки к обычным удобрениям во многих случаях заметно повышают урожайность некоторых важных сельскохозяйственных культур (кукурузы, сахарной свеклы, картофеля и др.). Особенно эффективны «марганцевые удобрения» на почвах нечерноземной полосы, где применяют известкование. Соли двухвалентно-

го марганца используют для окрашивания тканей, при производстве керамических красок, а также для защиты металлов от коррозии. Колонны одной из красивейших станций московского метро «Маяковской» украшены тонкой каемкой из розового камня. Это родонит — минерал, содержащий марганец. Нежный розовый цвет («родон» — по-гречески «роза») и хорошая обрабатываемость делают камень прекрасным облицовочным и поделочным материалом. Изделия из родонита хранятся в Эрмитаже, в Петропавловском соборе и многих других музеях нашей страны.

На побережье японских островов есть немало плантаций, где выращивают искусственный жемчуг. Как установили ученые, цвет его зависит от химического состава воды, в которой обитают раковины. Особенно высоко ценятся жемчужины с розоватым оттенком. Чтобы получить такой цвет, нужно лишь повысить содержание в воде марганца.

Марганец — важный и, безусловно, необходимый элемент в жизни человека. Заменить его ничем. Поэтому сегодня актуальны и разработка новых месторождений, даже подводных, и тщательное изучение свойств этого металла и его соединений.



Элемент №...

ОБ АРХИВЕ



Архив «Химии и жизни» за 42 года — это более 50 000 страниц, рассказывающих о современной науке, о том, как ее делают, кто ее делает и зачем, а также антология фантастики и собрание великолепных рисунков. Электронный архив дает возможность поиска по ключевым словам и смысловым конструкциям. Предупреждаем: архив защищен от копирования, можно переписывать только отдельные статьи и рисунки, но не весь диск. Стоимость — 1350 рублей с учетом доставки.

Узнать подробности и заказать архив можно на сайте журнала www.hij.ru и по телефону (499) 978-87-63.

О ПОДПИСКЕ



Напоминаем, что на наш журнал с любого номера можно подписаться в редакции. Стоимость подписки — 600 рублей за полгода. Для этого нужно отправить запрос по электронной почте redaktor@hij.ru, мы вышлем квитанцию для оплаты через Сбербанк.

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; «Межрегиональное агентство подписки» (Почта России), индексы 99644 и 99645, а также обращайтесь в агентства «Урал-пресс», uralpress.ur.ru, «Вся пресса», (495) 906-07-35; «Артос-Гал», (495) 981-03-24 и другие.

Радиоактивность внутри нас

И.А.Леенсон



Художник Н.Колпакова

Сначала – две цитаты: из раздела «Пишут, что...» и из статьи А.М.Чекмарева «Радиоактивность вокруг нас» (обе – из «Химии и жизни», 2008, № 10). Цитата первая: «Практически все клетки человеческого тела ежегодно испытывают хотя бы одно событие радиационного поражения, многие – несколько раз». И вторая: «Большинство людей получает от 0,3 до 0,6 миллизиверта в год за счет земной радиации... В среднем от земных источников естественной радиации мы получаем примерно 350 микрозивертов в год (то есть индивидуальные дозы у большинства из нас ближе к 0,3 миллизиверта)... Если говорить о том, какой именно элемент вносит наибольший вклад в наше внутреннее облучение, то это газ радон и продукты его распада. Его доля — около 75% годовой индивидуальной дозы облучения человека от земных источников и около половины дозы от всех источников радиации». (Кстати, более подробно об облучении от вез-

дущего радона можно прочитать в статье «Еще раз о радиоактивности в нашем доме», опубликованной в № 4, 1990.)

Прежде всего — несколько слов о единице облучения в статье Чекмарева. Она названа в честь шведского физика Рольфа Максимилиана Зиверта (1896—1966). Это — единица эквивалентной дозы излучения в СИ, принятая на XVI Генеральной конференции по мерам и весам в 1979 году (с 1975 по 1979 год она назвалась «грэй»). Зиверт (Зв) равен дозе любого вида ионизирующего излучения, производящего такое же биологическое действие, как и доза рентгеновского или гамма-излучения в 1 Гр, а эта единица (как единица поглощенной дозы) названа в честь английского физика Луиса Гарольда Грэя (1905—1965). Один грэй — поглощенная доза излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж. Значит, для среднего чело-



века массой 70 кг 1 Зв соответствует общей поглощенной энергии 70 Дж. Для теплотехники это небольшая величина, ее достаточно для нагрева стакана воды менее чем на 0,1 градуса. Для человека же такая доза, особенно если она однократная, означает исключительно сильное поражение. Поэтому на практике применяют дольные единицы: 1 мЗв и 1 мкЗв.

Мало кто знает, что, если человека поместить в свинцовую камеру с толстыми стенками и никакой радон в его легкие попадать не будет, он все равно будет облучаться. Источник этого облучения — радионуклиды в его собственном теле, которые попали к нему при рождении и продолжают пополняться всю его жизнь. Избавиться от них невозможно принципиально, как, например, невозможно избавить человека от кальция или фосфора в его организме. Таких радионуклидов, вносящих основной вклад во внутреннее облучение, всего два. Это калий-40 и углерод-14 (так называемый радиоуглерод).

Начнем с калия. Это один из наиболее распространенных элементов в земной коре: его в ней 2,1%. Калий представлен в природе тремя изотопами:

Нуклид	³⁹ K	⁴⁰ K	⁴¹ K
Содержание в природном калии, %	93,2581	0,0117	6,7302
Относительная атомная масса (округлена)	38,9637	39,9640	40,9618

В среднем относительная атомная масса калия с учетом распространенности его изотопов равна 39,0983. Один из этих изотопов, ⁴⁰K, радиоактивен, хотя его активность и невелика, поскольку очень велик период полураспада ($t_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ лет). Исходя из приведенных данных, можно рассчитать, какую радиацию мы получаем за счет распада калия в собственном теле. В человеке массой 70 кг содержится примерно 0,2% калия, или 140 г (кстати, это больше, чем натрия, которого в человеке около 100 г). Следовательно, средний человек всегда носит в своем теле 0,0164 г радиоактивного калия-40, или $2,47 \cdot 10^{20}$ атомов.

Скорость радиоактивного распада — уравнение первого порядка, то есть она пропорциональна числу имеющихся атомов (N): $dN/dt = -kN$; знак минус показывает, что число атомов уменьшается со временем. (В радиохимии константу k обычно называют постоянной распада и обозначают греческой буквой λ .) Константа k связана с периодом полураспада простым соотношением: $k = \ln 2 / t_{1/2} = 0,693 / 1,28 \cdot 10^9 = 5,41 \cdot 10^{-10}$ год⁻¹. То есть, в теле человека распадается $5,41 \cdot 10^{-10} \times 2,47 \cdot 10^{20} = 1,34 \cdot 10^{11}$ атомов за год — больше ста миллиардов, или 4250 атомов каждую секунду!

Какая же энергия выделяется при этом? Нуклид ⁴⁰K распадается по двум путям: на 11% он претерпевает элект-

ронный захват (его еще называют К-захватом, по номеру оболочки, с которой происходит захват электрона): $^{40}\text{K} + e \rightarrow ^{40}\text{Ar}$. Именно в результате такого распада ⁴⁰K в земной коре и образовалась основная часть атмосферного аргона. Этот процесс является также основой так называемого калий-аргонового метода в геохронологии. Остальные 89% ⁴⁰K ($1,2 \cdot 10^{11}$ атомов в год) распадаются с испусканием бета-излучения: $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e$. Энергия этих β -частиц равна $1,314 \text{ МэВ} = 1,314 \cdot 10^6 \text{ эВ}$. Как известно, 1 эВ соответствует 96500 Дж/моль, или $96500 / 6 \cdot 10^{23} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж в расчете на одну частицу. Следовательно, энергия всех испущенных за год в теле человека β -частиц составит $1,314 \cdot 10^6 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,2 \cdot 10^{11} = 0,025$ Дж или 0,36 мЗв.

Но и это не всё. Помимо калия-40 в нашем теле всегда присутствует радиоактивный углерод-14 с периодом полураспада 5730 лет, избавиться от которого тоже нельзя. Земля, как известно, подвергается непрерывному облучению космическими частицами. Если бы не атмосфера, пропускающая к земной поверхности лишь небольшую часть космического излучения, жизнь на Земле вряд ли была бы возможна. Из разнообразных ядерных реакций, идущих в верхних слоях атмосферы, нас сейчас интересует лишь одна — захват нейтронов атомами азота, при котором из ядра вылетает один протон: $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$.

Ядро составляет ничтожную часть объема атома, поэтому нейтроны даже при высокой плотности их потока редко попадают в ядро и над 1 см² земной поверхности за 1 с образуется в среднем всего 2,4 ядра ¹⁴C. Если учесть площадь поверхности Земли, то получится, что ежегодно в атмосфере образуется примерно 8 кг этого нуклида. Земля существует миллиарды лет, и если бы ядра ¹⁴C были бы стабильными, то их масса на Земле исчислялась бы десятками миллионов тонн. Однако нуклид ¹⁴C радиоактивен и непрерывно распадается. Поэтому всего на Земле имеется около 60 тонн радиоуглерода, из которых ежегодно распадается 8 кг — столько же, сколько его образуется (в этом случае говорят о радиоактивном равновесии). Для Земли 60 тонн — крайне малая величина. Так, в атмосферном углекислом газе количество радиоуглерода в среднем составляет лишь около 1 тонны, или $3 \cdot 10^{-11}$ % от «обычного» атмосферного углерода (¹²C + ¹³C); остальной радиоуглерод в основном растворен в воде океанов. Содержание ¹⁴C нарушалось в 50-е — начале 60-х годов XX века в результате испытаний ядерного оружия, и лишь к началу XXI века оно почти вернулось к прежнему уровню.

Большинству из вновь образовавшихся атомов ¹⁴C предстоит долгая жизнь — на многие тысячи лет. После образования они почти мгновенно окисляются в воздухе до ¹⁴CO, а затем в течение нескольких недель — до ¹⁴CO₂, молекулы которого равномерно перемешиваются с воздухом. Углекислый газ атмосферы — основной источник углерода, который в огромных количествах усваивается



растениями в процессах фотосинтеза. Так радиоуглерод попадает в биосферу. Растениями питаются животные, поэтому вся живая органическая материя содержит радиоуглерод, хотя и в ничтожных количествах ($1,18 \cdot 10^{-14}$ % относительно углерода-12). Причем большое время его жизни и здесь способствует его равномерному распределению. Очень важно, что в результате обменных процессов, протекающих в живой природе, содержание ^{14}C в растениях и животных в течение их жизни остается постоянным (хотя в разных растениях — разным, см. «Химию и жизнь», 2005, № 4). Но как только обмен с окружающей средой прекращается, содержание радиоуглерода начинает очень медленно снижаться — вдвое каждые 5730 лет.

Радиоуглерод входит также в состав неорганических соединений, которые растворены в воде морей и океанов, в подземных водах и находятся в обменном равновесии с углекислым газом атмосферы. В основном это растворимые гидрокарбонаты, которыми так богаты минеральные воды. Но как только обмен прекращается (например, углерод вошел в состав минерала), происходит то же, что и в живой природе после гибели организма — содержание ^{14}C в обычном углероде со временем начинает убывать. Подробное рассмотрение закономерностей образования и распада радиоуглерода позволило американскому физикохимику Уилларду Фрэнку Либби (1908—1980) совершить в конце 40-х годов выдающееся открытие и через несколько лет получить Нобелевскую премию по химии «за разработку метода использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других областях науки».

Вернемся теперь к «среднему» человеку и посчитаем скорость распада радиоуглерода в его теле. Известно, что в 1 г природного «живого» углерода происходит 15,3 распада ^{14}C в минуту. Такая малая активность (намного меньше фона) сильно затрудняла измерения с помощью счетчиков, поэтому сейчас для точного определения содержания радиоуглерода используются масс-спектрометрические методы. В человеке массой 70 кг содержится около 14 кг углерода. Следовательно, в минуту в нем будет распадаться $15,3 \cdot 10^3 \times 70 = 1,07 \cdot 10^6$ атомов, а в год — $5,63 \cdot 10^{11}$ атомов ^{14}C , величина того же порядка, что и для атомов ^{40}K (конечно, это случайное совпадение). Однако энергия при этом выделяется не такая большая. Углерод-14, как и калий-40, претерпевает β -распад, но со значительно меньшей энергией — всего $0,156 \text{ МэВ} = 0,156 \cdot 10^6 \text{ эВ}$. Значит, суммарная энергия всех β -частиц равна $0,156 \cdot 10^6 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5,63 \cdot 10^{11} = 0,014 \text{ Дж}$, или 0,2 мЗв. Общая же доза от «внутреннего» облучения составит $0,36 + 0,2 = 0,56 \text{ мЗв}$, то есть столько же, сколько от внешних источников! Следует, однако, отметить, что мягкое излучение радиоуглерода задерживается в тканях полностью, тогда как более энергичные частицы, испускаемые атомами ^{40}K , могут частично вылетать из тела.

Как видим, общее число частиц высокой энергии, испускаемых в теле человека нуклидами ^{40}K и ^{14}C в течение года, приближается к триллиону (10^{12}). Клеток в организ-

ме порядка ста триллионов. Однако следует учесть, что мы рассчитали только «внутренние» частицы, тогда как человек подвергается также и внешнему облучению. Еще важнее то, что одна частица высокой энергии может вызвать целый каскад превращений и поразить не одну клетку. Поэтому приведенная в начале статьи цитата выглядит вполне правдоподобной, хотя и парадоксальной для небиолога.

В заключение — несколько забавных расчетов. Зная, сколько атомов ^{40}K распадается в человеке за год по механизму $^{40}\text{K} + e \rightarrow ^{40}\text{Ar}$ (примерно $1,5 \cdot 10^{10}$), легко подсчитать, что в теле человека в течение 50 лет образуется около $3 \cdot 10^{-8}$ мл аргона, а у всех людей на Земле — менее 200 мл — не хватит, чтобы надуть один воздушный шарик...

Современное значение относительной атомной массы калия — 39,0983. Какое значение получил бы воображаемый инопланетный химик, если бы он провел измерения этой величины в момент образования нашей планеты, 4,5 млрд. лет назад? Отношение числа атомов ^{40}K к современному рассчитывается по простой формуле: $N_0/N = \exp(-kt) = \exp(5,41 \cdot 10^{-10} \times 4,5 \cdot 10^9) = 11,4$. Теперь рассмотрим образец земной коры, содержащей 100 атомов калия. Из них сейчас на долю ^{39}K приходится (в среднем, конечно) 93,2581 атомов, на долю ^{40}K — 0,0117 атомов и на долю ^{41}K — 6,7302 атомов. В момент образования Земли число атомов ^{39}K и ^{41}K было таким же, а число атомов ^{40}K было в 11,4 раза больше, 0,1334; то есть к настоящему времени распалось 91,2% первоначального количества атомов калия-40! Итак, 4,5 млрд. лет назад наш воображаемый образец содержал 100,1217 атомов. Их суммарная масса составляла $93,2581 \times 38,9637 + 0,1334 \times 39,9640 + 6,7302 \times 40,9618 = 3914,6929 \text{ г}$, а относительная атомная масса элемента калия была $3914,6929/100,1217 = 39,0993$. Изменение в третьем знаке после запятой инопланетный химик смог бы установить.

В заключение попробуем оценить, насколько нагрелась бы земная кора только за счет радиоактивного распада ^{40}K , если бы в ней распалось всего 5% от имеющегося сейчас количества ^{40}K — без учета тепловых потерь в окружающее пространство. Такое количество распалось бы за 95 миллионов лет. Будем считать, что калий распространен равномерно, а теплоемкость земных пород примем равной 1 Дж/(г·К). Сейчас в 1 кг породы содержится примерно 21 г калия, из которых на долю ^{40}K приходится $21 \times 0,000117 \approx 0,0025 \text{ г}$. При распаде в этой породе 5% ^{40}K , то есть $0,0025 \times 0,05 = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ г}$, или $3,12 \cdot 10^{-6}$ моль, выделяется $1,314 \cdot 10^6 (\text{эВ}) \times 96,5 (\text{кДж}/(\text{моль} \cdot \text{эВ})) \times 3,12 \cdot 10^{-6} (\text{моль}) \approx 400 \text{ кДж}$. В отсутствие тепловых потерь это привело бы к нагреву земной коры на 400 К! Таким образом, распад калия-40 вносит заметный вклад в тепловой баланс Земли и, вероятно, других планет. Действительно, по разным оценкам, распад калия-40 дает от 10 до 15% суммарной скорости генерации энергии в земной коре.



ДВАДЦАТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ ВЫСТАВКА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

SoftTool

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ»
КОНКУРС ЛУЧШИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ «ПРОДУКТ ГОДА»
СОФТУЛИЙСКИЕ ИГРЫ

27-30 ОКТЯБРЯ 2009 ГОДА

ВТОРАЯ ЕЖЕГОДНАЯ ВЫСТАВКА
ПЕРЕДОВЫХ РОССИЙСКИХ РАЗРАБОТОК, ПРОДУКТОВ И УСЛУГ

«ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ГОСУДАРСТВА»

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ
«ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО, ЭЛЕКТРОННОЕ ГОСУДАРСТВО,
ЭЛЕКТРОННОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО»

КРУГЛЫЙ СТОЛ С РУКОВОДИТЕЛЯМИ ИНФОРМАТИЗАЦИИ РЕГИОНОВ РОССИИ
КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ ИТ И ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ

«SITOP 2009»



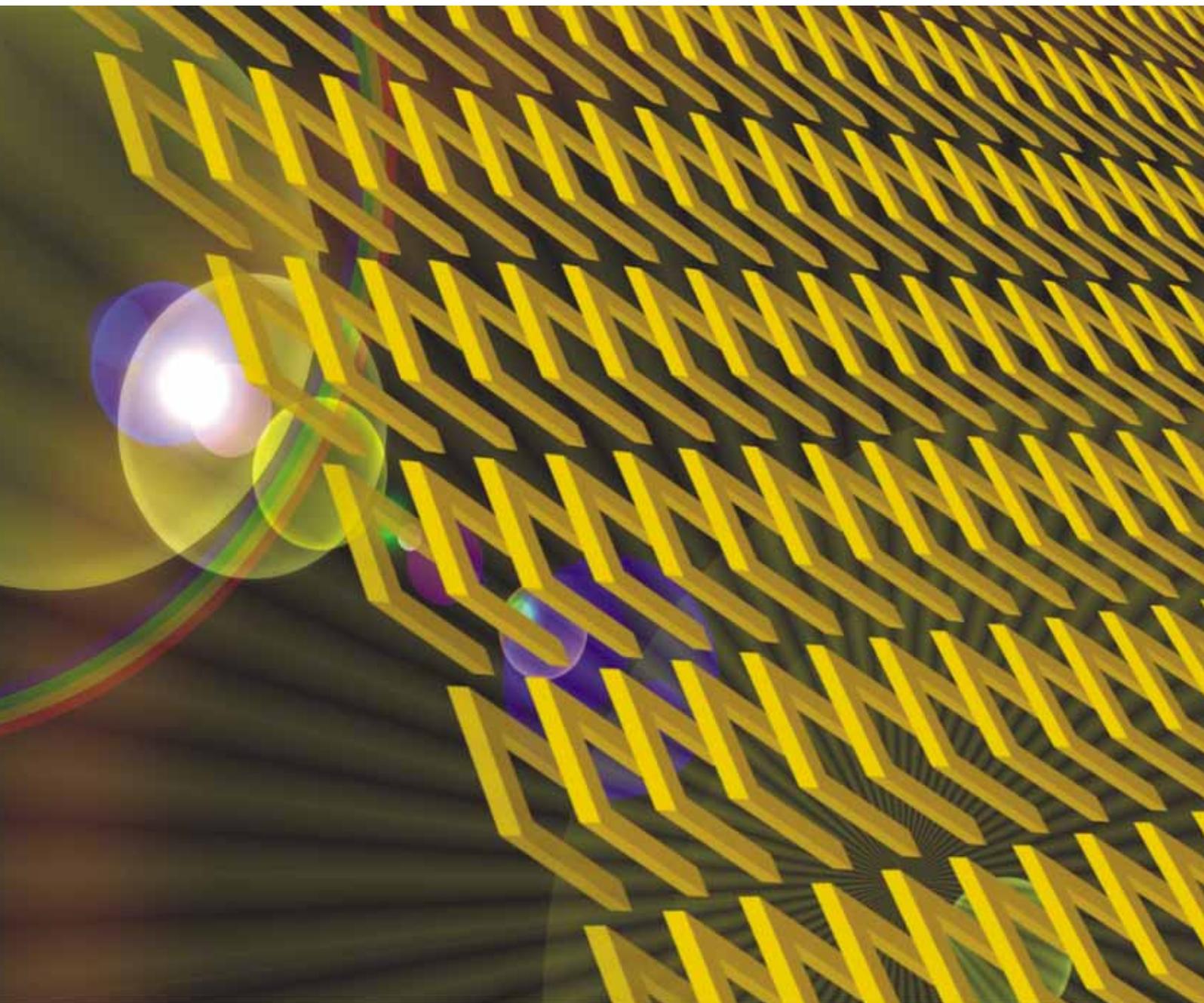
МОСКВА • ВВЦ • ПАВИЛЬОН 69

ВОСЬМАЯ ЕЖЕГОДНАЯ ВЫСТАВКА
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



КОНКУРС ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОЕКТОВ «ТВОРЕЦ»
САПР-ШОУ, «ВЕНДОРЫ БЕЗ ГАЛСТУКОВ»
БЕСПЛАТНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
МАСТЕР-КЛАССЫ, ТОК-ШОУ, ПРЕЗЕНТАЦИИ

На выставке *SoftTool* Вы сможете познакомиться со всеми предложениями мирового рынка ПО



Невидимость

Митио Каку

Предлагаем вам, дорогие читатели, еще одну главу из книги Митио Каку «Физика невозможного» в переводе Н.Лисовой, которую в этом году выпустило издательство «Альпина нон-фикшн» (www.nonfiction.ru) при поддержке Фонда «Династия». Текст публикуется с сокращениями.

*Нельзя полагаться на глаза,
если расфокусировано воображение.
Марк Твен*

<...> Невидимость давно стала одним из привычных чудес научно-фантастических и фэнтезийных произведений — от «Человека-невидимки» до волшебного плаща-невидимки Гарри Поттера или кольца из «Властелина колец». Тем не менее на протяжении по крайней мере ста лет физики дружно отрицали возможность создания плащей-невидимок и однозначно заявляли, что это невозможно: плащи-де нарушают законы оптики и не согласуются ни с одним из известных свойств вещества.

Но сегодня невозможное может стать возможным. Достигновения в области «метаматериалов» заставляют в значительной мере пересмотреть учебники оптики. Созданные в лаборатории рабочие образцы таких материалов вызывают живой интерес средств массовой информации, производителей и военных; всем интересно, как видимое сделать невидимым.



Невидимость в истории

Невидимость, возможно, одна из самых старых концепций древней мифологии. С незапамятных времен человек, оставшись один в пугающей тишине ночи, чувствовал присутствие невидимых существ и боялся их. Повсюду вокруг него во тьме таились духи мертвых — души тех, кто ушел до него. Военные во все времена мечтали о маскирующем устройстве, которое позволило бы стать невидимым для врага. Преступники могли бы пользоваться невидимостью для совершения дерзких ограблений.

В теории этики и морали Платона невидимость играла главную роль. В своем философском труде «Государство» Платон поведал нам миф о кольце Гига. В этом мифе бедный, но честный пастух Гиг из Лидии проникает в тайную пещеру и находит там гробницу; у покойника на пальце он видит золотое кольцо. Далее Гиг обнаруживает, что кольцо обладает волшебной силой и может делать его невидимым. Бедный пастух буквально пьянеет от власти, которую дало ему кольцо. Пробравшись в царский дворец, Гиг с помощью кольца соблазняет царицу, затем при ее содействии убивает царя и становится следующим повелителем Лидии.

Мораль, которую вывел Платон из этой истории, состоит в том, что ни один человек не в состоянии устоять перед искушением брать чужое и убивать безнаказанно. Люди слабы, а мораль — социальное явление, которое необходимо насаждать и поддерживать извне. На публике человек может соблюдать нормы морали, чтобы выглядеть порядочным и честным и поддерживать собственную репутацию, но стоит дать ему возможность обрести невидимость, и он не удержится и непременно воспользуется своим новым могуществом. (Некоторые считают, что именно эта притча о морали вдохновила Дж. Толкина на создание трилогии «Властелин колец»; кольцо, делающее своего владельца невидимым, одновременно оказывается источником зла.)

Уравнение Максвелла и тайна света

Физики получили сколько-нибудь четкое представление о законах оптики относительно недавно в результате работ шотландца Джеймса Клерка Максвелла, одного из гигантов физики XIX века. В определенном смысле Максвелл был полной противоположностью Фарадею. Если Фарадей обладал великолепным чутьем экспериментатора, но не имел никакого формального образования, то его современник Максвелл был магистром высшей математики. Он с отличием прошел обучение по курсу математической физики в Кембридже, где за два столетия до него работал Исаак Ньютон.

Ньютон придумал дифференциальное исчисление — оно описывает на языке дифференциальных уравнений, как объекты непрерывно претерпевают бесконечно малые из-

менения во времени и пространстве. Движение океанских волн, жидкостей, газов и пушечных ядер — все это можно описать на языке дифференциальных уравнений. Максвелл начал работать, имея перед собой ясную цель: выразить революционные открытия Фарадея и его физические поля при помощи точных дифференциальных уравнений.

Максвелл начал с утверждения Фарадея о том, что электрические поля могут превращаться в магнитные и наоборот. Он взял нарисованные Фарадеем картины физических полей и записал их на точном языке дифференциальных уравнений. В результате была получена одна из важнейших в современной науке систем уравнений. Каждому физики и инженеру в мире пришлось в свое время попеть над ними, осваивая в институте электромагнетизм.

Далее Максвелл задал себе вопрос: если магнитное поле может превращаться в электрическое и наоборот, то что происходит, когда они постоянно переходят одно в другое в бесконечной череде превращений? Ответ: такое электромагнитное поле породит волну, подобную океанской. Ученый вычислил скорость движения этих волн и она, к его изумлению, оказалась равна скорости света! В 1864 году, обнаружив данный факт, он пророчески написал: «Эта скорость настолько близка к скорости света, что мы, по всей видимости, имеем все основания сделать вывод о том, что сам свет... представляет собой электромагнитное возмущение».

Это открытие стало, возможно, одним из величайших в истории человечества — была наконец раскрыта тайна света. Максвелл внезапно понял, что и сияние летнего восхода, и яркие лучи заходящего солнца, и ослепительные цвета радуги, и звезды на ночном небосводе — все это можно описать при помощи волн, которые он небрежно изобразил на клочке бумаги. Сегодня мы понимаем, что весь электромагнитный спектр: сигналы радаров, микроволновое излучение и телевизионные волны, инфракрасный, видимый и ультрафиолетовый свет, рентгеновские и гамма-лучи — это не что иное, как максвелловы волны; а те, в свою очередь, представляют собой вибрации фарадеевых физических полей.

Говоря о значении уравнений Максвелла, Эйнштейн писал, что это «самое глубокое и плодотворное, что довелось испытать физике со времен Ньютона».

<...> Максвеллова теория света и атомная теория строения вещества дают оптике и невидимости простое объяснение. Большинство твердых тел непрозрачны, поскольку лучи света не могут преодолеть плотный слой атомов, который играет роль кирпичной стены. <...>

Очевидно, свойство невидимости возникает на атомном уровне, согласно уравнениям Максвелла, и потому его чрезвычайно трудно, если вообще возможно, воспроизвести обычными методами. <...>

Военные не могут построить невидимые самолеты, поэтому они придумали более простую вещь: создали технологию «стелс», которая делает самолеты невидимыми

для радаров. Технология «стелс», опираясь на уравнения Максвелла, совершает серию фокусов. Реактивный истребитель «стелс» легко увидеть невооруженным глазом, зато на экране вражеского радара его изображение по размеру примерно соответствует крупной птице. (На самом деле технология «стелс» представляет собой сочетание нескольких совершенно разных фокусов. По возможности, материалы конструкции истребителя заменяются на прозрачные для радара: вместо стали используются различные пластики и смолы; изменяются углы фюзеляжа: меняется конструкция сопла двигателя и так далее. В результате всех этих ухищрений можно заставить попавший в самолет луч радара противника рассеиваться во всех направлениях и не возвращаться в приемное устройство. Но даже с применением этой технологии истребитель не становится совершенно невидимым; просто радарный луч отклоняется и рассеивается его корпусом настолько, насколько это технически возможно.)

Метаматериалы и невидимость

Самый многообещающий в плане невидимости из недавних достижений — это экзотический новый материал, известный как «метаматериал»; не исключено, что со временем он сделает объекты на самом деле невидимыми. Забавно, но когда-то существование метаматериалов также считалось невозможным, поскольку они нарушают законы оптики. Однако в 2006 году исследователи из университета Дьюка в Дарэме (штат Северная Каролина) и Королевского колледжа в Лондоне успешно опровергли это мнение и при помощи метаматериалов сделали объект невидимым для микроволнового излучения. Препятствий на этом пути пока хватает, но впервые в истории у человечества появилась методика, позволяющая делать обычные объекты невидимыми. (Финансировало эти исследования DARPA — Агентство перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США.)

Натан Мирволд, бывший главный технолог компании «Microsoft», утверждает, что революционные возможности метаматериалов «полностью изменят наш подход к оптике и к почти всем аспектам электроники... Некоторые из метаматериалов способны на такие подвиги, которые несколько десятилетий назад показались бы чудом».

Что представляют собой метаматериалы? Это вещества, обладающие не существующими в природе оптическими свойствами. При создании метаматериалов в вещество внедряются крошечные имплантаты, которые вынуждают электромагнитные волны выбирать нестандартные пути. В университете Дьюка ученые внедрились в медные ленты, уложенные плоскими концентрическими кольцами (все это немного напоминает по конструкции конфорку электроплитки), множество крошечных электрических контуров. Результатом стала сложная структура из керамики, тефлона, композитных волокон и металлических компонентов. Крошечные имплантаты, присутствующие в меди, дают возможность отклонять микроволновое излучение и направлять его по заданному пути. Представьте себе, как река обтекает валун. Вода быстро оборачивается вокруг камня, поэтому ниже по течению его присутствие никак не сказывается и выявить его невозможно. Точно так же метаматериалы способны непрерывно изменять маршрут микроволн таким образом, чтобы они обтекали, скажем, некий цилиндр и тем самым делали все внутри этого цилиндра невидимым для радиоволн. Если метаматериал сможет к тому же устранить все отражения и тени, то объект станет полностью невидимым для этой формы излучения.

Ученые успешно продемонстрировали этот принцип при помощи устройства, состоящего из десяти колец из стекловолокон, покрытых медными элементами. Медное кольцо внутри устройства было почти невидимым для микроволнового излучения; оно лишь отбрасывало слабую тень.

Необычные свойства метаматериалов базируются на их способности управлять параметром, известным как «показатель преломления». Преломление — свойство света менять направление распространения при прохождении через прозрачный материал. Если опустить руку в воду или просто посмотреть через линзы очков, можно заметить, что вода и стекло отклоняют и искажают ход лучей обычного света.

Причина отклонения светового луча в стекле или воде состоит в том, что при входе в плотный прозрачный материал свет замедляется. Скорость света в идеальном вакууме постоянна, но в стекле или воде свет «протискивается» через скопление триллионов атомов и потому замедляется. Отношение скорости света в вакууме к скорости света в среде называется показателем преломления. Поскольку свет в любой среде замедляется, показатель преломления всегда больше единицы. К примеру, показатель преломления для вакуума составляет 1,00; для воздуха — 1,0003; для стекла — 1,5; для бриллианта — 2,4. Как правило, чем плотнее среда, тем сильнее она отклоняет луч света и тем больше показатель преломления.

Весьма наглядной демонстрацией явлений, связанных с преломлением, могут послужить миражи. Если вы, проезжая по шоссе в жаркий день, будете смотреть прямо вперед, на горизонт, то дорога местами покажется вам мерцающей и создаст иллюзию сверкающей водной глади. В пустыне иногда можно увидеть на горизонте очертания далеких городов и гор. Механизм этого следующий. Плотность нагретого над дорожным полотном или песком пустыни воздуха меньше, чем у окружающего его прохладного воздуха. Поэтому свет от удаленных объектов может испытать преломление в нагретом слое и в конце концов попасть в глаз, чего без преломления не могло бы случиться. Так возникает иллюзия, что вы действительно видите удаленные объекты.

Как правило, показатель преломления — величина постоянная. Узкий луч света, проникая в стекло, меняет направление, а затем продолжает двигаться по прямой. Но предположим на мгновение, что мы в состоянии управлять показателем преломления так, чтобы в каждой точке стекла он мог изменяться заданным образом. Свет, двигаясь в таком новом материале, мог бы произвольным образом менять направление; путь луча в этой среде извивался бы, подобно змее.

Если бы можно было управлять показателем преломления в метаматериале так, чтобы свет огибал некий объект, то объект этот стал бы невидимым. Для получения такого эффекта показатель преломления в метаматериале должен быть отрицательным, но в любом учебнике оптики сказано, что это невозможно.

Впервые метаматериалы были теоретически предсказаны в работе советского физика Виктора Веселаго в 1967 году. Именно Веселаго показал, что эти материалы должны обладать такими необычными оптическими свойствами, как отрицательный показатель преломления и обратный эффект Доплера. Метаматериалы представляются настолько странными и даже нелепыми, что первое время их практическая реализация считалась попросту невозможной. Однако в последние несколько лет метаматериалы были-таки получены в лаборатории, что вынудило физиков заняться переписыванием учебников по оптике.

Исследователям, которые занимаются метаматериалами, постоянно докучают журналисты с вопросом: когда на

рынке появятся плащи-невидимки? Ответ можно сформулировать очень просто: нескоро.

Дэвид Смит из университета Дьюка рассказывает: «Репортеры звонят и умоляют хотя бы назвать срок. Через сколько месяцев или, скажем, лет это произойдет. Они дают, дают и дают, и ты в конце концов не выдерживаешь и говоришь, что лет, может, через пятнадцать. И тут же — газетный заголовок: “Пятнадцать лет до плаща Гарри Поттера”». Вот почему он теперь отказывается называть какие бы то ни было сроки.

Поклонникам Гарри Поттера или «Звездного пути», скорее всего, придется подождать. Хотя настоящий плащ-невидимка уже не противоречит известным законам природы — а с этим в настоящий момент соглашается большинство физиков, — ученым предстоит преодолеть еще много сложных технических препятствий, прежде чем эту технологию можно будет распространить на работу с видимым светом, а не только с микроволновым излучением.

Метаматериалы для видимого света

Итак, гонка началась. Сразу же после объявления о получении в лаборатории первых метаматериалов в этой области началась лихорадочная активность. Каждые несколько месяцев мы слышим о революционных догадках и поразительных прорывах. Цель ясна: создать при помощи нанотехнологий метаматериалы, способные искривлять не только микроволны, но и видимый свет. Уже предложены несколько подходов, и все они представляются достаточно перспективными.

Одно из предложений заключается в том, чтобы использовать готовые методы, то есть позаимствовать для производства метаматериалов отработанные технологии микроэлектронной промышленности. К примеру, в основе миниатюризации компьютеров лежит технология фотолитографии; она же служит двигателем компьютерной революции. Эта технология позволяет инженерам размещать на кремниевой подложке размером с ноготь большого пальца сотни миллионов крохотных транзисторов.

Мощность компьютеров удваивается каждые 18 месяцев (соответствующую закономерность называют законом Мура). Причина в том, что ученые при помощи ультрафиолетового излучения «вытравливают» на кремниевых чипах все более и более крохотные компоненты. Эта технология напоминает процесс, при помощи которого наносят по трафарету рисунок на цветастую футболку. <...> В настоящее время самые мелкие компоненты, которые удается создать при помощи описанного процесса, имеют размер около 30 нм (или примерно 150 атомов).

Заметной вехой на пути к невидимости стал недавний эксперимент группы ученых из Германии и США, в котором процесс травления кремниевой подложки удалось использовать для изготовления первого метаматериала, способного работать в видимом диапазоне света. В начале 2007 года ученые объявили, что созданный ими метаматериал оказывает воздействие на красный свет. «Невозможное» было реализовано в удивительно короткие сроки.

Физик Костас Сукулис из лаборатории Эймса университета штата Айова вместе со Стефаном Линденом, Мартином Вегенером и Гуннарсом Доллингом из университета Карлсруэ в Германии сумели создать метаматериал с показателем преломления $-0,6$ для красного света с длиной волны 780 нм. До этого мировой рекорд длины волны излучения, которое удалось «завернуть» при помощи метаматериала, составлял 1400 нм; это уже не видимый, а инфракрасный свет.

Для начала ученые взяли лист стекла и нанесли на него тонкий слой серебра, слой фторида магния и снова слой



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

серебра; таким образом был получен «сэндвич» с фторидом толщиной 100 нм. После этого они при помощи стандартной технологии травления проделали в этом сэндвиче множество крохотных квадратных отверстий шириной всего 100 нм, гораздо меньше длины волны красного света. В результате получилась решетчатая структура, напоминающая рыбацкую сеть. Когда затем пропустили через полученный материал луч красного света, показатель преломления для него составил $-0,6$.

Авторы полагают, что изобретенная ими технология найдет широкое применение. Метаматериалы «могут когда-нибудь привести к созданию своего рода плоской суперлинзы, работающей в видимой части спектра, — говорит доктор Сукулис. — Такая линза позволит получать более высокое разрешение по сравнению с традиционной технологией и различать детали, значительно уступающие по размерам длине световой волны». Очевидно, одним из первых приложений суперлинзы станет фотографирование микроскопических объектов с беспрецедентной четкостью; речь может идти и о фотографировании внутри живой человеческой клетки или о диагностике заболеваний плода в чреве матери. В идеале появится возможность фотографировать компоненты молекулы ДНК непосредственно, без применения грубых методов рентгеновской кристаллографии.

Пока ученым удалось продемонстрировать отрицательный показатель преломления только для красного света. Но метод надо развивать, и следующим шагом должно стать создание метаматериала, который сможет полностью обвести красный луч вокруг объекта, сделав его невидимым для красного света.

Дальнейшее развитие можно ожидать также в связи с фотонными кристаллами, которые позволяют применять для обработки информации свет, а не электричество. Для получения фотонных микросхем предполагается вытравливать на подложке крошечные компоненты — так, чтобы с каждым из них изменялся показатель преломления. Транзисторы, в которых работает свет, имеют немало преимуществ перед электронными. К примеру, в фотонных кристаллах значительно меньше тепловые потери. (В сложных кремниевых чипах выделяется столько тепла, что хватало бы поджарить яичницу. Чтобы такие чипы не отказывали, их надо непрерывно охлаждать, а это очень дорого.)

Нет ничего удивительного в том, что технология получения фотонных кристаллов должна идеально подойти для метаматериалов, — ведь обе технологии предполагают манипулирование показателем преломления света на наноуровне.

Окончание в следующем номере.

Верь глазам своим!

Доктор технических наук
Н. В. Селезнева

Одним из источников новых технических идей служит наука бионика, применяющая знания о биологических процессах и явлениях в решении инженерных задач. В результате длительного и беспощадного естественного отбора выжили те особи, которые лучше всего приспособились к условиям существования и наиболее рационально решали задачи жизнеобеспечения. За миллионы лет сложилась гигантская сокровищница, где каждый вид живых организмов — образец инженерного творчества Природы. Использовать эти богатства могут инженеры любых специальностей: строители, связисты, прибористы, специалисты по информационным технологиям. Много полезного там находим и мы — разработчики систем навигации.

Навигация в природе

Система навигации необходима любому движущемуся объекту, как техническому, так и биологическому: чтобы целенаправленно двигаться в пространстве, нужно определять свое положение относительно Земли и окружающих предметов. Суть навигационного процесса, одинаковая как для технических устройств, так и для живых существ, заключается в том, что с помощью датчиков первичной информации (органов чувств) измеряются различные физические параметры, зависящие от положения и движения объекта относительно ориентиров или физических полей. На основе полученных сигналов вычислительные устройства (или нервная система) определяют параметры, описывающие местоположение и характер движения технического объекта (животного) относительно исходной точки отсчета. Измеренные данные сравниваются с хранящейся в памяти программой движения, и всякие отклонения от заданного пути корректируются. Только решив эти задачи, можно двигаться по желаемой траектории.

Все подвижные живые существа, от очень простых (червей, насекомых, улиток) до человека, прекрасно ориентируются в своей среде обитания. Каждому из них необходимо свободно перемещаться, ловить добычу, находить убежище, спастись от врагов и отыскивать партнеров. Крохотные муравьи безошибочно возвращаются в свой муравейник, проходя в густой траве сотни метров. Бабочки номофиллы, появившись на свет весной в Северной Африке, уже через несколько дней направляются в грандиозное по дальности путешествие — через пустыню Сахару к Британским островам. Там они откладывают яички, из которых к концу лета появляется потомство. Осенью оно отправляется в обратный путь, на родину своих родителей. Бабочки монархи каждый год летают из Канады и северных штатов США в Южную Калифорнию, Флориду, Мексику. Гигантские морские черепахи проплывают по одному и тому же маршруту более 5500 км, чтобы отложить яйца, и с завидной даже для опытного штурмана точностью находят обратную дорогу домой. Китообразные совершают кругосветные плавания по одним и тем же маршрутам, путешествуя из моря в море. Олени в Северной Канаде все лето пасутся в тундре, а осенью уходят за тысячу километров на юг в лесотундру.

Но самые искусные навигаторы в мире животных — это, конечно, пернатые. Проводилось множество экспериментов с различными породами птиц — буревестниками, ласточками, аистами, горихвостками и другими. Их снимали с гнезд, метили и вывозили за несколько сот и даже тысяч километров. Через несколько дней птицы возвращались к своему гнезду. Вершина навигационных способностей пернатых — их сезонные перелеты, условия и дальность которых просто поражают. Птицы летят несколько тысяч километров над океанами и пустынями, над высокими горами (над Альпами и даже над Эверестом!). Значительную часть пути они проделывают ночью, почти в полной темноте, а днем облака и густые туманы нередко закрывают землю. Бури, ветер и шторм уносят птиц далеко от намеченной траектории, но они прокладывают новый маршрут и выходят к цели.

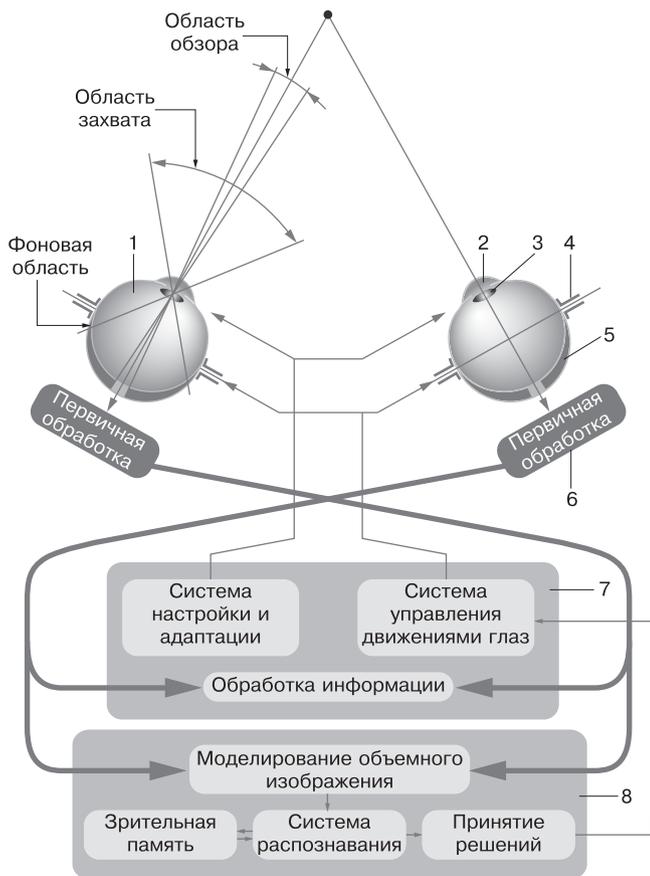
Самые удивительные перелеты совершает полярная крачка (длина тела — около 35 см). Поздней осенью она из Арктики отправляется на юг вдоль берегов Европы и Африки на другой конец Земли, в Антарктиду, где и зимует, а весной возвращается обратно на север, в Арктику. Ежегодно эта птичка пролетает до 60 000 км, и на путь только в одну сторону у нее уходит три месяца. Восхищает мастерство природы, сумевшей наделять этих пернатых столь миниатюрными, надежными и удивительно тонко действующими средствами навигации.

Измерения и работа с данными

В технике все морские и речные суда, самолеты, ракеты и космические корабли, а сейчас уже и автомобили оборудованы специальными навигационными комплексами, основой которых служат две взаимосвязанные системы. Одна из них, инерциальная, непрерывно измеряет угловые и линейные скорости и ускорения самого объекта и определяет базовую систему отсчета, относительно которой осуществляется навигация. Вторая — обзорно-сравнительная, получает изображение окружающей местности, распознает ориентиры и определяет параметры их движения или расположения относительно технического средства. Обе системы взаимодействуют: изображение местности преобразуется в базовую систему отсчета, на картину местности проецируются сам объект, различные ориентиры и цели, а также воспроизводятся все их перемещения.

Средства навигации у животных организованы подобным же образом. Например, у человека есть два основных органа ориентации: вестибулярный, который измеряет движения головы и определяет направление вертикали, и зрительный, воспринимающий картину видимого пространства. Они также взаимодействуют друг с другом, и в результате человек независимо от движений глаз и головы видит стены своей квартиры вертикальными, пол — горизонтальным, а мебель — неподвижно стоящей на местах.

В технике наиболее сложно организованы обзорно-сравнительные системы. Они включают в себя панорамные пеленгаторы — устройства, которые улавливают электромагнитные излучения (световые, тепловые, радиоизлучения и т. д.) от объектов на местности, блоки наведения и распознавания изображений, память большой емкости, а также средства об-



1
Схема зрительного анализатора высокоразвитых позвоночных животных

1 — глазное яблоко, 2 — радужная оболочка, 3 — хрусталик, 4 — «точки подвеса» глаза (условно), 5 — сетчатка, 6 — блок первичной обработки информации в сетчатке, 7 — блок обработки информации в среднем мозгу, 8 — блок обработки информации в зрительной зоне коры больших полушарий

работки больших массивов информации. Автоматические обзорно-сравнительные системы существуют, но они очень сложны и не вполне надежны, поэтому на современных управляемых объектах используются автоматизированные системы ориентации, в которых поиском и распознаванием ориентиров занимается человек. Усовершенствовать такие системы можно будет, если удастся повысить точность, надежность и быстроту измерений, а также сделать более автономными средства обработки и передачи информации. В этом нам поможет изучение биологических обзорно-сравнительных систем.

Живые существа для обзора пространства используют разные сигналы из окружающего мира: световые, акустические, химические, тепловые, электрические и другие, причем для каждого из них предназначен отдельный орган чувств. Но роль и значимость этих органов при решении задач навигации различны и зависят от среды и условий обитания. Только один из них главный, способный выполнять обзорно-сравнительные измерения. Остальные, вспомогательные, проводят позиционные измерения — то есть определяют отдельные параметры (дальность и курсовой угол) объектов. Объясняется это тем, что построение картины местности, обработка, преобразование и распознавание изображений — это весьма трудоемкое и сложное дело. Биологически целесообразно иметь несколько обзорно-сравнительных систем — приходится довольствоваться одной, наиболее подходящей для конкретных условий. Этот орган чувств будет доминирующим: именно его животное использует для поиска, обнаружения, распознавания и преследования добычи. Отличается такой орган и своей структурой: его приемники относительно крупнее, а отделы мозга,

обрабатывающие его информацию, значительно больше, чем у других органов чувств. Если заблокировать эти приемники, то животное полностью теряет пространственную ориентацию и становится беспомощным. Например, летучая мышь с заклеенными глазами прекрасно летает в темноте и ловит насекомых, но, если ей залепить уши воском, она мечется в панике, натываясь на предметы.

Обоняние и зрение

Для обзорно-сравнительных измерений в живой природе используются сигналы, которые распространяются на большие расстояния, быстро, прямолинейно и с минимальными потерями. Например, химические излучения (запахи) для этого не годятся: пахучие частицы распространяются в воздушной или водной среде медленно, молекулы воздуха (или воды) их рассеивают, что не позволяет получить четкое изображение объекта, излучающего запах, а движение среды (ветер, течения) может сильно исказить направление химических сигналов. Поэтому животные используют обоняние только в позиционных измерениях: при движении по следу или в направлении повышения концентрации пахучего вещества. В печати можно прочесть, что бабочки-самцы находят самок за несколько километров, используя для этого химические сигналы, концентрация которых в воздухе достигает всего несколько молекул на кубический метр! Однако подобный метод решения задач позиционной навигации не кажется надежным: такого количества вещества слишком мало, чтобы обнаружить, где его больше, а где меньше и таким образом найти направление на источник запаха. Есть данные, что для поиска своих партнеров летающие насекомые используют электромагнитные излучения, которые генерируют их трепещущие крылья. Именно поэтому бабочку-самку, накрытую стеклянной банкой, самец обнаруживает на большом расстоянии, но если экранировать ее металлической сеткой, то он не «увидит» самку, даже находясь совсем рядом с ней. (Это наблюдение описано в книге Дж.Прингла «Полет насекомых». М.: Изд-во иностр. лит., 1963.)

В живой природе предпочтителен пассивный метод обзорно-сравнительных измерений, при котором изображение местности строится по сигналам, исходящим от естественных источников излучений. Если же таких сигналов нет или они слишком слабы, животные применяют активный метод измерений: сами генерируют излучение, то есть «подсвечивают» пространство, и воспринимают отраженные от окружающих объектов сигналы. Активные измерения обходятся дорого: необходимо иметь при себе особый орган — генератор излучения, тратить много энергии на «освещение» пространства, а также принимать специальные меры по защите, ведь, включив свою обзорно-сравнительную систему ориентации, животное сразу обнаруживает себя!

В природе существуют сотни тысяч различных видов подвижных животных, которые отличаются своими размерами, строением и образом жизни. Среди них есть крохотные существа, различимые только под микроскопом, и великаны-киты, достигающие 30 метров в длину. Одни из них приспособлены к движению по суше, другие — в воде, третьи — в воздухе. И все они обладают органами навигации. На «содер-

жание» этих органов требуются большие затраты энергии, кроме того, каждое живое существо — это пища для каких-то животных. Поэтому эволюция органов навигации приводила к тому, что они уменьшались и становились более автономными, а измерения как можно более скрытными. Высокая эффективность работы этих органов достигалась за счет тщательной обработки информации, применения хитроумных способов ее получения и хранения.

Большинство живых существ ориентируются в пространстве с помощью солнечного света. Это позволяет, не выдавая себя, определять расположение предметов где угодно, в любое время года и большую часть суток. Свет распространяется с огромной скоростью на практически неограниченные расстояния. Широкий диапазон длин волн света дает возможность построить различные по величине приемники сигналов — то есть глаза, подходящие и мелким насекомым, и огромным млекопитающим, и обнаруживать с их помощью объекты от долей миллиметра до нескольких километров. Все высокоманевренные животные, от насекомых до млекопитающих, ведущие дневной образ жизни в воздушной или водной среде, куда проникают потоки света, используют глаза как доминирующий орган чувств.

Глаз как прибор

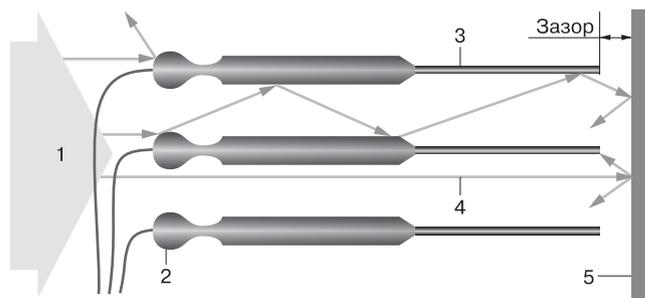
Органы зрения у разных видов сухопутных позвоночных устроены в принципе одинаково (рис. 1). Глаза в основном воспринимают видимую часть спектра электромагнитного излучения, однако многие животные улавливают часть ультрафиолетового или инфракрасного диапазона. Каждый глаз включает направляющую, регулирующую и измерительную составляющие.

Направляющие элементы улавливают световое излучение и обеспечивают ему прохождение параллельным потоком к измерительной части глаза. К ним относятся: радужная оболочка 2, играющая роль диафрагмы с отверстием, через которое свет поступает в глаз; эластичный хрусталик — двояковыпуклая линза 3, фокусирующая изображение; эластичная полость (стекловидное тело), которая придает глазу сферическую форму и удерживает на своих местах его элементы. Хрусталик и стекловидное тело обладают свойствами световодов, поэтому передают структуру видимого изображения с минимальными искажениями.

Регулирующие органы управляют произвольными движениями глаза и приспособляют его функциональные элементы к конкретным условиям восприятия. Они изменяют пропускную способность диафрагмы, фокусное расстояние линзы, давление внутри эластичной полости и другие характеристики. Управляют этими процессами центры в среднем мозгу 7 с помощью множества чувствительных и исполнительных элементов, распределенных по всему главному яблоку.

Измерение световых сигналов происходит во внутреннем слое сетчатки, состоящем из множества фоторецепторов, которые преобразуют световое излучение в нервные импульсы. Фоторецепторы в сетчатке распределены неравномерно, так что образуются три области восприятия.

Первая — область обзора — находится в центральной части сетчатки. Плотность фоторецепторов в ней наивысшая, поэтому она обеспечивает четкое цветное восприятие рассматриваемой картины. Все фоторецепторы в этой области по своему устройству в принципе одинаковы, отличаются они только избирательной чувствительностью к длинам волн светового излучения. Одни из них наиболее чувствительны к излучениям в средней части диапазона восприятия, вторые — в верхней части, третьи — в нижней. В частности, у человека есть три вида фоторецепторов, реагирующих на синие, зеленые и красные цвета. Здесь же, в сетчатке, выходные сигналы этих фоторецепторов совместно обрабатываются (на схеме — блок 6), в результате чего усиливается контраст изображения, выделяются контуры объектов и определяется их цвет. Каким образом происходит такая обработка видеосигналов, понять еще



2

Фрагмент измерительной структуры глаза

1 — поток световых лучей, 2 — световоспринимающие ядра,

3 — светочувствительные волоски, 4 — лучи, прошедшие через сетчатку,

5 — адаптивный отражатель (световоспринимающий слой)

не удалось, но ее результаты поражают: изобретательная природа научилась с помощью только трех индикаторов определять несколько сотен цветов и оттенков!

Объемное изображение воспроизводится в коре головного мозга 8, куда направляются видеосигналы от правого и левого глаза. У человека область обзора охватывает конус всего в 5°, и только в ее пределах он может осуществлять обзорно-сравнительные измерения: ориентироваться в пространстве, распознавать объекты, следить за ними, определять их относительное расположение и направление движения.

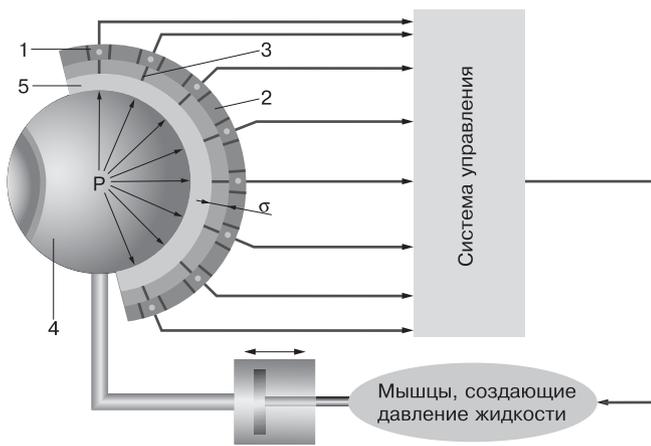
Вторая область восприятия выполняет функцию захвата целей. Она располагается вокруг области обзора и не дает четкого изображения видимой картины. Ее задача — быстрое обнаружение контрастных целей и изменений, происходящих во внешней обстановке. Поэтому в этой области сетчатки плотность обычных фоторецепторов невысока (почти в 100 раз меньше, чем в области обзора), зато имеется множество (в 150 раз больше) других, адаптивных фоторецепторов, реагирующих только на изменение сигнала. Свет постоянной интенсивности не вызывает у них никакой реакции. Совместная обработка сигналов тех и других фоторецепторов обеспечивает высокое быстродействие зрительного восприятия в этой области. Как решается эта задача — еще одна загадка природы, но результат такой обработки сигналов налицо: быстродействие области захвата почти в десять раз выше, чем у области обзора. Именно поэтому человек так быстро улавливает малейшие движения боковым зрением.

Функциями захвата управляют отделы среднего мозга 7. Здесь обнаруженный объект не рассматривается и не распознается, зато определяются его относительное расположение, скорость и направление движения и вырабатывается команда глазодвигательным мышцам — быстро повернуть оптические оси глаз так, чтобы выделенный объект попал в зону обзора для детального рассмотрения.

Третью область образуют краевые участки сетчатки, на которые не попадает изображение видимой картины. В ней плотность фоторецепторов самая маленькая — в 4000 раз меньше, чем в области обзора. Ее задача — измерение усредненной яркости света, которая используется зрением как точка отсчета для определения интенсивности попадающих в глаз потоков света. Именно поэтому при различном освещении зрительное восприятие меняется.

Плохая оптика — хорошая картинка

Интересная особенность строения сетчатки состоит в том, что все фоторецепторы в ней повернуты «задом к делу» (рис. 2), то есть встречают световой поток 1, идущий от хрусталика, крупными световоспринимающими ядрами 2 так, чтобы ни один луч не смог напрямую попасть в светочувствительные



3
Управление величиной зазора между торцами фоторецепторов и адаптивной поверхностью в глазу
 1 — микрофибриллы, 2 — отражатель, 3 — чувствительные волоски, 4 — стекловидное тело, 5 — сетчатка

волоски 3. Поэтому фоторецепторы воспринимают только те лучи (4), которые, пройдя сквозь всю толщу сетчатки, дошли до адаптивной поверхности 5 и, отразившись от нее, попали прямо на торцы светочувствительных волосков 3. Такой способ измерения светового излучения наблюдается у всех позвоночных животных, живущих в воздушной среде, где освещенность пространства меняется в широких пределах (от 10^{-6} до 10^{+4} нит) и яркие потоки света могли бы сжечь нежные светочувствительные структуры глаза. Природа не стала создавать сложные адаптивные фоторецепторы (ведь их в глазу сотни миллионов!), а пошла по другому, более простому пути — предусмотрела один-единственный отражатель, который защищает все фоторецепторы сразу.

Отражатель 5 называется адаптивным, поскольку он способен отражать или поглощать световое излучение в зависимости от яркости поступающего в глаз света. При высокой яркости он направляет на фоторецепторы только часть потока света, безопасную и достаточную для зрительного восприятия, а остальное излучение поглощает. При слабом освещении весь световой поток отражается и попадает в фоторецепторы.

Для наилучшего восприятия света необходимо строго выдерживать оптимальный зазор между адаптивным отражателем и торцами чувствительных волосков фоторецепторов — он должен составлять около 2 мкм. Для этого в каждом глазу существует специальная система управления (рис. 3). Величину зазора измеряют контактные рецепторы — микрофибриллы 1, которые распределены в поверхностном слое отражателя 2. Выступающие из них чувствительные волоски 3 имеют размер 2 мкм. По сигналам этих рецепторов система управления поддерживает такое давление жидкости внутри эластичной полости (стекловидного тела) 4, при котором сетчатка равномерно касается чувствительных волосков микрофибрилл. От прилипания сетчатки к поверхности отражателя предохраняет вязкая жидкость, заполняющая зазор.

Если величина зазора по каким-то причинам отклоняется от оптимального значения, зрительное восприятие нарушается, то есть наступает слепота. Это может произойти, например, при резком повышении внутриглазного давления или уменьшении вязкости жидкости в зазоре, вследствие чего сетчатка прилипает к отражающей поверхности, или от механических ударов и вибрации. Тогда зазор может резко увеличиться, то есть происходит отслоение сетчатки.

В зрительном анализаторе позвоночных скрыто много непознанных, но чрезвычайно полезных для инженеров изобретений природы. Совершенно необъяснимо, например, как создается и где воспроизводится объемное цветное изображение пространства, которое человек «видит» перед сво-



ТЕХНОЛОГИИ И ПРИРОДА

ими глазами. То, что такое изображение создается, — неоспоримый факт. Однако строение глаз и мозга убеждает нас, что глаза в принципе не способны создать такое изображение! Действительно, каждый функциональный элемент глаза имеет специфические недостатки и ограничения, которые искажают и нарушают видимую картину. Хрусталики переворачивают изображения. В сетчатке каждого глаза есть большое «технологическое» отверстие — так называемое слепое пятно. Через него из глазных яблок выводится вся «проводка» — кровеносные сосуды и нервные волокна. Сетчатка воспринимает изображение только в пределах малого конуса 5° , и более 70% нейронов зрительной коры головного мозга заняты обработкой видеосигналов только этой маленькой части сетчатки. Зрительная кора и сетчатки глаз имеют разные плотности распределения элементов «экранов». Вследствие этого изображение, воспринятое сетчатками с экспоненциальным распределением фоторецепторов, при переносе в зрительную кору с равномерным распределением нейронов существенно изменит свою структуру, особенно на периферических участках. Наши глаза совершают множество произвольных движений: высокочастотные колебания (тремор), малые и большие скачки. Кроме того, мы осознанно переводим взгляд, поворачиваем или наклоняем голову и туловище. В результате всех этих движений в каждый момент времени на одни и те же точки сетчатки попадают лучи из различных участков наблюдаемой местности, а фоторецепторы жестко связаны с определенными столбиками нейронов в зрительной коре. Это означает, что передаваемое глазами изображение в коре мозга непрерывно скачет, колеблется и переворачивается. Объемность пространства в зрительном анализаторе определяется с помощью так называемого бинокулярного зрения, то есть по углу сведения оптических осей глаз. Простейшие расчеты показывают, что этот способ измерения работает только на очень близком расстоянии. Если оно более десяти метров, ошибка в оценке дальности до объекта превышает 100%!

Однако, несмотря на все перечисленные искажения и нарушения воспринимаемого глазами изображения, мы до самого горизонта четко видим перед собой правильно ориентированную панораму шириной почти в 160° , полностью адекватную окружающей действительности, и не подозреваем о существовании зоны обзора или слепого пятна. И как бы мы ни вертели головой, Землю и все, что на ней жестко закреплено, в этой панораме мы видим неподвижным и строго ориентированным: небо — вверху, землю — внизу. Как происходит компенсация перечисленных недостатков зрения? Какие еще органы чувств участвуют в создании «видимой» панорамы? В какой части нашей головы создается «видимая» панорама и какие физические процессы и явления при этом используются? Все эти вопросы еще предстоит тщательно изучить, прежде чем удастся извлечь полезный для техники опыт природы.



Дино САПИЕНС



Айзек Бромберг

При не до конца выясненных обстоятельствах мне в руки попал этот документ, датирующийся, если верить записи на конверте, «11 июня 94 года» (век, к сожалению, не указан). Разумеется, очень соблазнительно было бы считать его (документ) утерянным фрагментом знаменитого «Меморандума Бромберга», который большей части наших современников известен даже не по опубликованному первоисточнику, а по недавней экранизации «Обитаемый остров-XXIII». Однако выяснить это не удалось. Так что публикую этот документ без комментариев.

Г. Панченко

Тема: Динозавр разумный — человек-рептилия или иной вариант?

Содержание: Заметки о «несостоявшихся» вариантах эволюции динозавров: палеонтология, фантастика, уфология (?)

Версия антропозавра

Итак, разумный динозавр. Возможен ли такой вариант эволюции, или это лишь фантастика? Основной пик полемики выпал на те далекие десятилетия, когда родители большей части читателей этих строк только оканчивали школу, но и в последние годы эта тема регулярно поднимается в творчестве самых разных авторов, как отечественных, так и зарубежных. Поэтому вопрос, видимо, созрел.

Сразу скажу, что большинство вышеупомянутых моделей вызывает приступ неудержимого хохота своей анекдотической примитивностью — разработчики динозавровой теории упорно придают своему объекту антропоморфные черты: вертикальную ориентацию тела, заднюю (то есть нижнюю) конечность с постановкой на всю ступню, по-человечески длинные «руки», рудиментарный или даже полностью утраченный хвост. Со всем этим комплексом причудливо и не совсем гармонично сочетаются признаки завроидные: трехпалость, вертикальный зрачок, иногда чешуя, весьма часто — сохраняющие боевую функцию когти и зубы (хотя челюсти обычно укорочены почти до человеческого масштаба).

Создается впечатление, что творцы дино сапиенс так и не смогли до конца определиться, был ли его предком мелкий, шустрый, всеядный заврок ростом с кошку или «пожиратель»-раптор размером с леопарда и имеющий аналогичные наклонности. А вообще-то самый разумный из известных ящеров, заврорнитид, то есть «птицящер», морфологически расположен в точности между «малой» и «средней» весовой категориями. Но кто о нем слышал?

Прежде всего попытаемся включить нашего сапиенса в контекст науки об

эволюции динозавров, теперь уже достаточно хорошо развитой. В этом случае некоторые признаки отпадают, так сказать, автоматически. Например, вертикальное положение тела: при всей своей двуногости высокоразвитые динозавры корпус держали почти горизонтально. Выпрямляться в полный рост они могли без труда — примерно так же, как практически любой человек способен сделать «ласточку». Но естественным положением тела это все же назвать нельзя...

Если так, то ни о каком исчезновении хвоста, равно как о стопоходящей походке и по-настоящему длинных руках, не может быть и речи. Хотя эти «руки», скорее всего, будут как раз трехпальными. У динозавров цепкие, хваткие, подвижные передние лапы развивались именно в этом направлении, иногда даже переходя в фазу двупалости (у гигантского тираннозавра или крохотного компсогнатуса), а то и становясь однопальными (у загадочного мононикуса). Вероятно, дино сапиенс работал бы двумя руками одновременно: этот «манипуляторный блок» вполне пригоден для точных и тонких действий, а вот для мощных силовых — вряд ли. Зато его могли дополнять гораздо более подвижные, чем у нас, челюсти. А раз так, то, хотя мозговая коробка, увеличившись, и сделает голову относительно человекоподобной, почти наверняка сохранится выступающая морда, придающая ее владельцу вид, с нашей точки зрения, гротескно-жутковатый.

О ножных ножах (и не только)

Для операций, в «человеческом формате» выполняемых только руками, дино сапиенс мог бы использовать и задние лапы. Причем вот тут-то нижней паре его конечностей будет доступна и «тонкая», и «си-

Заврорнитид держит в руках (точнее, лапах) одного из предков будущего Homo sapiens. Кто из них разумней именно сейчас, в мезозое?

ловая» работа. Большинство мелкосредних рапторов не затруднятся почесать правой ногой левое ухо. Внутренний палец ноги завра, снабжен он режущим ножевидным когтем или нет (у героев «Парка юрского периода» как раз снабжен), противопоставлен двум «ходовым» и обеспечивает хватательные функции. А задний, четвертый палец ноги, скорее всего, атрофируется: эта тенденция и у многих ископаемых рапторов заметна. При этом наиболее реалистичная постановка ноги — не на стопу, а «на цыпочки».

Полагаю, дино сапиенс будет управляться со своими конечностями примерно так же, как жертвы талидомида (наверно, все знают об этом скандально известном фармацевтическом препарате, вызывавшем у младенцев врожденные уродства конечностей). Иные из них, с рождения имея недоразвитые руки, натренировали подвижность ножных суставов так, что ухитрились рисовать, писать, работать на компьютере. Возможно, ра-



Говорят, на затонувшем материке Лемурия (хорошо известном эзотерикам, в меньшей степени фантастам, а вот ученые о нем упоминают разве что с язвительной усмешкой) процветал динозавроидный палеолит



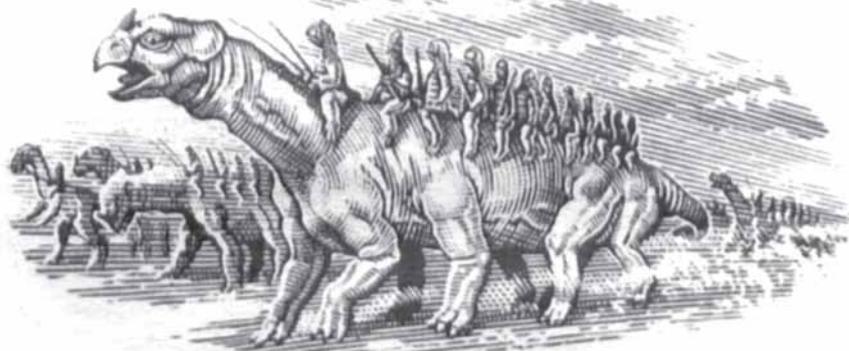
Фото Jim Linwood

С 80-х годов XX века почти все варианты «антропозавров» созданы на основе расселовской гипотезы. В частности, соответствующая скульптура стоит в музее Дорчестера

зумному завроиду каменного века (кто сказал, что у них сразу начнется космическая эра?) стрелять из лука окажется удобней, стоя на одной ноге: в другой ноге он будет сжимать этот самый лук, а тетиву натянет обеими своими руками одновременно.

При этих словах мне вдруг увиделся средневековый завроид-рыцарь с «ножным» клинком, снабженным вместо руко-

В мире «Эдема» динозавроидная цивилизация пошла по пути биотехнологий. В результате транспортные животные там — мутанты (тот, что на рисунке внизу, по авторской версии, изготовлен из скромного маленького пситтакозавра). Однако большинство фантастов все же предпочитают сажать расселовских завроидов на традиционных ящеров мелового периода (рисунок справа)



В Канадском музее естественной истории (Оттава) находится оригинальная композиция, на которой Дейл Рассел и Рон Сегуин в 1982 года изобразили динозавроида и его гипотетического предка — реально жившего стенонихозавра



Фото Ballika



УЧЕНЫЕ ДОСУГИ

яти особой перчаткой; впрочем, куда как круче завроид-ландскнехт с «двуножным» мечом или, скажем, завроид-самурай с двумя одноножными. Представьте себе, как этот благородный дон несется в бой верхом на каком-нибудь гиппоцератопсе, держась передними конечностями за особую луку седла, а задними растопырив мечи по обе стороны от своего скакуна, чтобы задевать побольше народу.

А какие твари будут проходить у диносапиенса по категории скаковых животных? Что есть в данном случае вышеупомянутый гиппоцератопс, гипподон (не обязательно благородный), гиппомимус? Вопрос этот, конечно, не первоочередной, но он завязан на ряд дополнительных проблем. Какой, собственно, мир служит «фоном» обитания разумных завроидов?

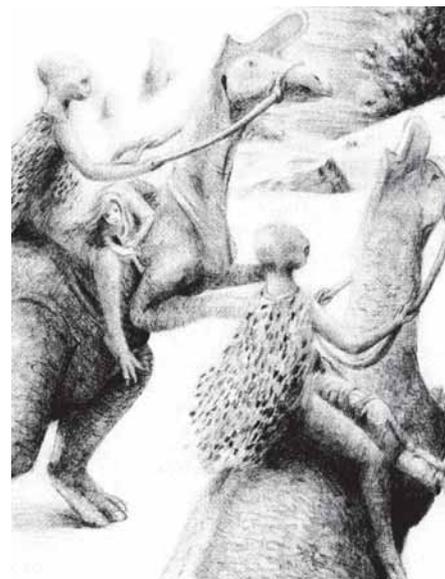
Большинству реконструкторов он видится, в общем, завроидным миром эпохи расцвета, дополненным лучшими представителями планеты млекопитающих, почему-то в неизменном виде: мастодонты, олени, разного рода саблезубы — и люди, само собой. Ну-ну. А ведь и ежу ясно: при сохранении динозавров (не только разумных!) как весомой группы эволюция млекопитающих должна выглядеть иначе. Можно, разумеется, увести людей на ледники, недоступные тропическим завравам. Однако человек — всего лишь поздний побег на древе приматов; а само это древо укоренено в тропиках, где же еще...

Можно увести в иную нишу и завроидов: например, сделать их адептами биологической цивилизации, которой с людьми-«технарями» вроде бы нечего делить уже на уровне каменного века.

Именно так поступил Гарри Гаррисон — создатель «Эдема», пожалуй, самого масштабного из диномиров. Но эта модель сосуществования начисто лишена сколько-нибудь серьезной аргументации. Особенно когда (вскоре!) выясняется: разумным динозаврам и разумным людям все-таки есть что делить уже в каменном веке.

Это даже немного странно: ведь Гаррисон весьма широко использовал наработки палеонтолога Дэна Рассела (фактически создателя современной «антропозавроидной» теории), да и прочие данные науки 1980-х. Но все равно мир эдемских завроидов получился таким, что разработчик гипотезы постоянно вынужден героически преодолевать трудности, созданные им самим. Например, пресловутую проблему холоднокровности.

Гигантам диномира «пассивная» теплокровность достается даром: огромная туша, нагретая солнечными лучами, просто не успевает остыть за ночь. Но этот путь (даже в эпоху неизменного климата и высоких температур окружающей среды) приемлем только для многотонных исполинов — а из них «сапиенсы», видимо, не получаются в принципе. Мелким рапторам, чьи тела не в силах аккумулировать достаточное количество дневного тепла, приходилось осваивать те или иные формы теплокровности. Причем этот процесс, строго говоря, независим от «сапиентизации» как таковой: теплокровность нужна не только «рептилоид-



ному примату», но и «рептилоидному тигру». Главное — не «теплая кровь», а постоянный (и при этом довольно высокий) тепловой фон организма. Только при таком режиме удастся создать высокоразвитый мозг и вообще обзавестись, так сказать, конструктивной жизненной позицией. Да, у холоднокровных есть свои плюсы (возможность экономить энергию, не бояться долгих заплывов, в трудные моменты спастись за счет полукоматозного состояния) — но... Все это оправдывается лишь на низком уровне организации.

Итак, теплокровности разумному завру не избежать. А вот с настоящим живорождением, может быть, и не получится: уж очень «не те» все механизмы, начиная с телесных. Проще переоборудовать деревянный нужник в нуль-Т-кабину. Зато без особого труда достижимо яйцеживорождение, с созреванием яиц внутри полости тела. Этот путь освоен некоторыми из современных и вымерших рептилий. После эволюционной доработки он в принципе может обеспечить не только роды, но и продолжение: хороший контакт с подрастающим поколением, его выращивание, обучение. Для сапиенсов это необходимо! Не слишком удивлюсь, если эволюция снабдит высокоразвитых завроидов возможностью прикармливать молодняк чем-нибудь вроде «птичьего молока»: той питательной творчистой массы, которая образуется в зобе, например, голубя и служит для подкорма птенцов. Вообще, похоже, птичьи аналогии тут работают лучше, чем рептильные.

До сих пор мы говорили о «телесных» механизмах. Однако для сапиенса перво-степенное значение все-таки имеет мозг. У завроидных сапиенсов он мало того что крупный, но и по определению обладает совсем иными характеристиками, нежели человеческий! В высокоразвитом мозгу рептилии неизбежно будут задействованы другие доли, чем у млекопитающих, кора его окажется не идентичной нашей, да и в целом заработает он иначе, в дру-



Разумный рептилоид из гаррисоновской «Planet story». Динозавровые черты парадоксально сочетаются с хамелеоными — а заодно и с человеческими

гом режиме... А отсюда может проистекать все, что угодно. От иной структуры общения и социальной системы до экстрасенсорных способностей. Не говоря уж о просто дополнительных органах чувств вроде «третьего глаза», эффективного термолокатора (как у гремучих змей), совмещенного «вкусообразания» (свое собственное опять-таки змеям).

Социальная структура обитателей Эдема являет собой причудливый гибрид «быта и нравов» муравьев и... экзотических рептилий типа морских игуан. Вряд ли так могло быть на самом деле. Вероятнее всего, общественная организация завроидов должна проистекать из принципов построения взаимоотношений в птичьей стае, как человеческая происходит из обычаев обезьяньего стада. При этом стая-то получилась бы своеобразная: сложность и разветвленность социума — по типу гусей или галок, однако каждый из «кирпичиков» на персональном уровне представляет собой аналог огромного (по птичьим меркам) бескрылого орла! А это уже тянет за собой последствия, неожиданные для этологов. В нашем мире, к счастью, орлиные сообщества крайне примитивны, малочисленны и слабо структурированы, сами же пернатые хищники отличаются завидно низким интеллектом по сравнению с любознательными всеядными вроде врановых.

Динозавроиды (вспомним их «рапторную» свирепость и силу) не превратились бы, как утверждает Гаррисон, в «медленную» биологическую цивилизацию наподобие всем известных леонидян. Скорее из орлиного сообщества получилась бы цивилизация вервольфовичей, как это явление называли в первой половине XXI века.

Присмотревшись же к «эдемитам» внимательней и оставив в стороне романтические трели теории горизонтального прогресса, удивимся не на шутку. Во-первых, известную нам (и им) версию их происхождения мы смело можем похоронить, предвременно надругавшись над ее трупом: в послесловии к книге лирическая героиня с явно лягушачьими мозгами утверждает, что ее предками были тилозавры! Эти морские рептилии (категорически не динозавры) действительно очень интересны, но не настолько, чтобы предположить, будто им на эволюционном пути удалось шестикратно уменьшиться и заново обрести сухопутный тип строения. Для этого у них слишком лихо должна идти «обратная эволюция», причем синхронно по множеству независимых друг от друга признаков — что ей, мягко говоря, не свойственно...

А ведь Гаррисон явно пытался всего лишь слегка модернизировать расселовскую модель. Однако «слегка» в таких случаях не получается. Впрочем, у автора «Эдема» в любимцах ходят не только морские рептилии, но и хамелеоны, которых он тоже попытался «скрестить» с динозаврами. Внимательный взгляд отмечает это и в «эдемском» цикле, и в ранней миниатюре «Если...» (чуть ли не первый из его рассказов, переведенных на русский!), и в ни разу не переведенной космоопере «Planet story». Но любой уважающий себя динозавр пришел бы в ужас от самой идеи такого мезальянса! (Это все еще «во-первых».)

Перейдя, наконец, к «во-вторых», испытаем еще большее изумление. Суммируем: сохраняющийся в юности мелководный образ жизни; коллективистское мышление с заметно ослабленным ощущением собственного «я»; совершенно не рептильный способ размножения (самец, превращаясь в живой инкубатор, вынашивает очень многочисленную «кладку» в своем теле — и «отпускает» выплывшихся личинок в море, прямо как жаба-повитуха). Кажется, ремарка насчет «лягушачьих мозгов» неожиданно оказалась пророческой. Пытаясь «обогатить» динозавроидов за счет новых возможностей, автор невольно загнал их в иной класс. Перед нами не полуводные рептилии — а... амфибии! Земноводные. Или, во всяком случае, их потомки, прошедшие совершенно иной эволюционный курс, чем предки тилозавров и компании.

Короче говоря, персонажи «Войны с саламандрами» К. Чапека. То-то и литературное узнавание вдруг открывается, несмотря на, казалось бы, радикальные отличия. Bravo, пан Карел, сорри, сэр Гарри...

Время птицевозроидов

Итак, сапиенсы Гаррисона получились водными, но — вопреки желанию автора! — не совсем рептилоидными. Вообще, основной путь эволюции динозавров



Разумный динозавроид из «Эдема» (холоднокровный!) в плаще (живом!), который позволяет ему не впадать в анабиоз после захода солнца. Это, конечно, фантастика...

в фантастике почему-то не включает высокоразвитых «плавающих» видов. (В реальности тоже: все водные рептилоиды — ихтио-, плезио- и тому подобные, но никак не ДИНО-завры.) Гунганы из первых эпизодов «Звездных войн» тоже скорее не завроиды, а амфибии, причем описанные на удивление убедительно. По счастью, Лукас и не пытался выдать их за динозавров (хотя фауна планеты в целом мезозойская).

А как соблазнительно создать бы диносапиенса на основе вторичноводного существа! Некоторые типы «водных» конечностей допускают довольно сложную манипуляцию, в том числе и орудиями. Перемещения и ориентация в трехмерном пространстве способны очень сильно развить мозг — достаточно вспомнить дельфинов. Наземная же хищник, пусть даже высокоразвитый, всегда рискует стать жертвой собственных зубов и когтей, успешно теснящих его с магистрали универсального развития на торную, но узкую тропу специализации.

Но только ли океан может обеспечить «третье измерение»? Нет! Потому что оно открывается как вглубь, так и... ввысь. На деревья, на скалы. В пространство лазанья, карабканья, прыжков — «обезьяньих» (это уже как бы и про нас: прежде чем слезть с дерева, надо на него забраться) или «первоптичьих», то есть скорее продленных, порхающих прыжков, чем собственно полета.

Удивительное дело: почему-то не видно моделей разумных птерозавров, то есть летающих ящеров. Они, конечно, тоже не динозавры — но мозг у них относительно велик, а у крупнейших и абсолютные его размеры приличны. Плюс теплокровность, о которой давно уже поговаривают специалисты. Плюс — наверняка! — забота о потомстве. Плюс хваткие, хорошо развитые кисти на всех четырех конечностях. Только чур: при построении таких моделей не надо атрофировать птеродактилям крылья, превращая их в пингинов или страусов! Этого с птерозаврами и летучими мышами не бывало никогда. И не будет, потому что тут вектор эволюции противоположен птичьему: у птиц крыло — упрощенная конечность, а у всяческих «пальцекрылов», наоборот, усложненная. Но чем не задача для мастера экспериментальной эволюции: сконструировать разумное летающее существо! Нука, кто возьмется?

Среди западных фантастов, кажется, таковых пока нет: все их крылатые сапиенсы «сделаны» то из летучих мышей, то из демонов со старинных фресок. Зато кое-кто ухитрился смонтировать сапиенса на базе «птицеявры» (с птерозавром не путать!): пернатого, хотя и не летающего динозавра. Яркий пример — «Охотники Пангеи» британца Стивена Бакстера. Его «орниты» — тоже рапторы, но достаточно интеллектуальные, чтобы создать у себя, в юрском перио-



Птицечеловек, изображенный Э.Т.А.Гофманом.

Как видим, эта модель 1815 года по степени продуманности не уступает многим куда более поздним

де, цивилизацию каменного века. Правда, бакстеровская цивилизация из-за «рапторности» оказалась уж слишком направленной на охоту — и, подкосив свою кормовую базу, благополучно вымерла.

Многие наши писатели — не будем указывать пальцем — тоже затрагивали птицезавроидную тематику. Однако на одно-го пальцем указать все же придется, причем не осуждающе, а наоборот. Сергей Лукьяненко. Нет, не «Вечерняя беседа с господином чрезвычайным посланцем» (там как раз явлен завроид классической схемы), а ранние «Рыцари сорока островов».

Автор, кажется, и сам не заметил завроидных мотивов: он скорее стремился описать цивилизацию разумных птиц. Но — не летающих (это будто бы «утраченное умение»); но — с сохранившимися когтями на передних конечностях; но... Это как раз наш контингент. Видимо, многие динозавры в той или иной степени были покрыты перьями, умели совершать длинные порхающие прыжки. Такое умение на пути сапиентизации можно и утратить — как мы утратили обезьянью ловкость. А вот если кого эволюция успела по-настоящему отправить в птичий полет, то он, даже лишившись перьев, ни когти на передних конечностях не вернет, ни разумным, скорее всего, не станет: у птиц ограничения жестче, чем у птерозавров. Вес пернатого летуна столь лимитирован, что увеличенный мозг — не для него. Спустившись с неба и превратившись в «бегуна», бескрылая птица может и вырасти — но так ли умен, допустим, страус?

Во всяком случае, пришельцы Лукьяненко описаны с точки зрения науки не менее достоверно, чем разумные птицы-уриане из «Богов войны» Жерара Клейна. Вплоть до особенностей психики, которая делает их чужие всех Чужих. Этикие «вервольфовичи», нечто среднее между орлом и гигантским петухом — с соответствующими, чуждыми человеческим взглядами на проблемы контакта, войны и мира...

Но мы забыли о еще более давнем примере. Самый-самый первый разумный завроид, сконструированный не столько писателем, сколько ученым, родился задолго до 1980-х гг. Создал его (опять-



таки незаметно для себя) И.А.Ефремов: если кто не знает, видный палеонтолог. Время создания — незапамятно далекий 1947 год: рассказ «Звездные корабли». А время действия — эпоха динозавров (!); сам этот носитель разума, правда, родом с иной планеты — но: «Мощный костяной купол — вместилище мозга — был совершенно подобен человеческому, так же, как и огромные глазные впадины, направленные вперед и разделенные узким костным мостиком переносицы. <...> вместо выступающих носовых костей была треугольная ямка. От основания ямки верхняя челюсть, клювообразная, слегка загнута вниз на конце, резко выдвигалась вперед. <...> Эти ямки на костях, вся скульптура показывают, что кожа очень плотно прилегала к кости, без подкожного мышечного слоя. Такая кожа вряд ли могла иметь волосы...»

Вообще, Ефремов много распространяется на тему «великого братства по духу и мысли», «беспримерного мужества разума» и тому подобного, не сомневаясь в благополучном исходе возможного контакта. Конечно, этот подход грешит наивностью. Но вряд ли он более одиозен, чем нынешние критерии, при которых степень сапиентизации определяется по размерам кулака и калибру гранатомета, а высота лба отнюдь не «уничтожает» формы носа.

Впрочем, и Ефремов, кажется, не был первым. И даже Чапек — не был. Академик Л.П.Татаринев, оценивая (довольно критически) эволюционную достоверность расселовского завроида, замечает: «Интересно отметить сходство приведенных реконструкций с птицечеловеком, появляющимся в бреду у Франсиско, героя фантастической новеллы Э.Т.А.Гофмана «Эликсир сатаны» («Очерки по теории эволюции», М., Наука, 1987).

Думается, такое могло быть и не только в бреду или фантастике...

А возможно, было? Возможно, даже есть и сейчас? Что-то уж больно «завроиден» облик разного рода нлонавтов, начиная с росуэллского инцидента, когда у публики впервые возникли подозрения о находке пилота в разбившемся НЛО и появились его первые изображения!

Но это уже совсем другая история.



Ода ахатине

Есть много людей, которые были бы не прочь завести дома какое-нибудь животное, но по разным причинам этого не делают. У кого-то аллергия на шерсть, неохота дважды в день гулять с собакой, лень возиться с аквариумом или просто не с кем оставить питомца, когда уезжаешь в командировку или в отпуск. Специально для таких людей природа создала африканскую улитку ахатину — неприхотливое и дружелюбное существо. С ней не надо гулять, она не испортит вашу мебель, шерсти не имеет, а ухаживать за ней просто. Ахатине нужен террариум или аквариум. Сверху лампочка, внизу земля — улитки спят, зарывшись в землю. Еще поставьте ванночку с водой для питья и купания, обеспечьте животное молотой яичной скорлупой для постройки раковины и едой — овощами и фруктами. Убирать улиткин террариум надо не реже раза в неделю, но делать это гораздо приятнее,

чем чистить клетку хомяка, потому что запаха практически нет. Обитателей террариума тоже регулярно моют под стружкой теплой воды (им нравится). Если нужно уехать, ахатину оставляют с запасом еды и воды. Все съев, она втянется в раковину, запечатает ее слизистой крышкой и будет поджидать хозяина. Несколько недель выдержит спокойно. Ахатину пробуждают ото сна, сбрызнув водичкой, и она выползет вам навстречу. Готовьте вкусенькое.

На три вещи можно смотреть бесконечно: на льющуюся воду, пылающий огонь и трапезничающую ахатину. Вот маленькая улиточка десяти дней от роду целеустремленно ползет по листу салата. Она направляется к тому месту, где лист надломлен и из поврежденных сосудов выступает сок. Ползти далеко, но улитка точно знает, куда ей нужно, и не согласится на компромисс. Прибыв на место, она устраивается поудобнее и принимается за еду. Через полупрозрач-

Незнакомую руку надо попробовать



Одна улитка лезет вверх, другая вниз

ное тельце можно проследить путь кусочков салата. Кусочки крошечные, а малышка ест не спеша, но лист убывает на глазах. Другая ахатинка выбирает место в середине листа, на пересечении двух жилок. Она опускает головку, потом поднимает, и на этом месте остается малюсенькая дырочка. Улитка ненадолго замирает в горделивой позе: «Вот как я могу!» — и уползает.

Чем взрослее становится улитка, тем больше она откусывает, и в один прекрасный день вы видите, как это крошечное существо отдирает изрядный кусок листа, помещает его у себя на «груди» (она так изгибается, что передняя часть туловища образует подобие столика) и стремительно поглощает. А какая у нее пасть!

Вообще, улиткина нога по совместительству еще и рука. Ее передними краями ахатина удерживает и слегка прижимает к себе лакомый кусочек и, наклонив голову, кушает. (Так никто не отнимет кусочек сыра, посланный добрыми хозяевами.) А на заднем конце ноги (на «хвосте») она удерживается, когда надо дотянуться куда-нибудь передним концом или повиснуть вниз головой на крышке террариума. Маленькие улиточки прирастают на «хвосте», как люди на цыпочках, чтобы обозреть местность.



Юные ахатины



РАДОСТИ ЖИЗНИ

Улитки, ползущие по стеклу, скрипят на виражах



Кладка ахатины

Многие считают, что улитки все делают медленно. Это не так. Они все делают плавно, поэтому результат всегда удивляет наблюдателя. Вдруг улитки вырастают и заполняют весь террариум или исчезает лист салата, который только недавно был слегка надкушен. То же относится и к движению. По ровной поверхности улитки скользят плавно, но довольно быстро, а по пересеченной... Сначала они тянутся к нужному месту головой, а когда туловище удлиняется до пугающих размеров, рывком подтягивают раковину движением школьника, который поправляет на спине тяжелый ранец.

Ахатины — ночные существа. В темноте они вылезают из своих нор (земля в террариуме взрослых улиток так изрыта, что напоминает местность после артобстрела), начинают прогуливаться и закусывать. Но если у человека возникнет желание пообщаться, он может вынуть улитку из норки и разбудить. Тогда видно, в какой позе она спит — голова задрана и убрана под нависающий край раковины, а края ноги плотно сжаты, как ладошки. Улитки вне террариума чувствуют себя совершенно свободно. Только посматривайте, чтобы они куда-нибудь не уползли и не упали со стола — мои почемучему-то на нем не удержались. И берегите важные бумаги — могут съесть.

Кстати, у улиток в террариуме есть любимые места. Одна, например, начинает вечерний моцион с купания в бассейне. Другая довольно долго спала в персональной норе, которую никто, кроме нее, не занимал. Как они роют, не имея лап и когтей? Головой упираются, и вперед! Одна из них подрывалась под тя-

Медитация



Парадный портрет на листе салата



желую керамическую мисочку с кальцием и передвинула ее сантиметров на десять. Сейчас мисочка стоит на месте, выбранном для нее улиткой.

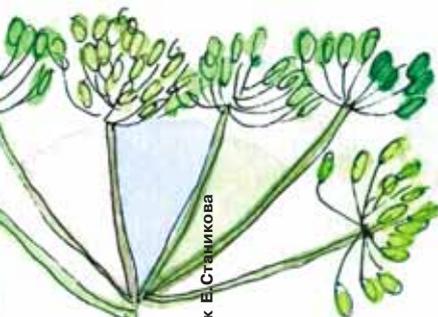
Ахатины различают людей. При первом знакомстве они слегка скребут руку, на которой сидят, но потом этого уже не делают. На незнакомой руке они ведут себя осторожно, однако любимому хозяину позволено многое. Моя дочь тискает улиток, как латексные игрушки. Какое-то время ахатина терпит, а потом внутри у нее раздается тихий хлопок, наверное, лопается терпение, и улитка начинает тягивать «рожки». Зла, однако, не помнит и охотно идет на повторный контакт. Кстати, о контактах: ахатина на ощупь не слизистая, она прохладная и довольно увесистая.

Когда пришло время, мои четыре улитки разбились на пары. После акта размножения одна пара довольно долго поддерживала нежные отношения: они вместе ели, рядом спали и часто сидели голова к голове — должно быть, общались телепатически. А недавно мы растормошили всех четырех улиток разом, выкупали и выпустили на стол. Увидев друг друга, они тут же сползлились парами, теми же самыми. Ничего «такого» они не делали, просто нежно терлись друг о друга.

Я не рассказываю в этой статье о тонкостях содержания улиток, об их видовом разнообразии и об истории взаимоотношений с людьми. Любый человек, решивший завести дома ахатину, легко найдет всю необходимую информацию. Я лишь хочу сказать, что ахатина — это не примитивный безмозглый пожиратель салата, а разумное, чувствующее, деликатное существо. Наблюдение за ахатиной радует глаз и успокаивает нервы куда лучше, чем созерцание рыбок в аквариуме. Я, например, очень люблю смотреть, как улитка размышляет, глядя на льющуюся воду.

Наталья Резник

Укроп



Художник Е. Сташкова



Откуда родом укроп? Родина укропа — Средиземноморье, Персия и Восточная Индия, где он до сих пор растет в диком виде. Задолго до нашей эры укроп использовали египтяне, китайцы, греки и римляне. Он даже попал в сочинение Катона «De agricultura» наряду с анисом, кориандром и чабрецом. Плоды и семена укропа употребляли в качестве пряности, но больше он был известен как ароматическое и лекарственное растение. Египетские врачи еще пять тысяч лет назад использовали укропный отвар в качестве укрепляющего и тонизирующего средства, а римские гладиаторы перед боем добавляли в еду укропное масло.

Несмотря на южное происхождение, укроп — холодостойкое растение, поэтому он быстро продвинулся на север и в России появился не позднее X века. Его даже разводили в царских садах в Кремле.

Откуда взялось название «укроп»? Происхождение слова «укроп» в нынешнем его значении неясно. Возможно, оно связано с тем, что на Руси укроп мелко резали и «кропили» им блюда перед самой подачей. В словаре Даля одно из значений слова «укроп» — горячая вода. «Обдать поросенка укропом» означало ошпарить его для очистки. А в Псковской области «укропником» когда-то называли чайник.

Почему укроп пахнет? Латинское название укропа, *Antheum graveolens*, означает в переводе «укроп пахучий». В древности он был известен как одно из лучших ароматических растений. Своим характерным запахом укроп обязан эфирному маслу, которое содержит его наземные части: плоды до 5%, а листья и стебли — 1,5—2,5%. Масло из разных частей растения различается по составу и потому пахнет по-разному. Основной компонент эфирного масла плодов — карвон. Это вещество из семейства терпеноидов существует в природе в двух изомерных формах. Укроп содержит (+)-карвон, а (-)-карвон пахнет остролистной мятой. Фелландрен — второй (а в листьях главный) компонент укропного масла. Он сообщает запаху укропа мятно-цитрусовый оттенок. Цитрусовым запахом обладает и третий терпен укропного масла, лимонен. Все эти вещества до сих пор используют при производстве ароматизаторов и в качестве отдушки в пищевой и парфюмерной промышленности.

Чем полезен укроп? Эфирное масло укропа во многом обуславливает его лечебное действие. Оно препятствует образованию газов в кишечнике и усиливает его перистальтику, предотвращает запоры, вздутия и боли в животе, снимает спазмы. Поэтому укроп используют при заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Благодаря противоспазматическому, мочегонному и успокаивающему действию укроп помогает при гипертонии, нарушениях сердечного ритма и атеросклерозе. (Кстати, английское название укропа *dill* часто связывают с древнеисландским словом *dilla* — «успокоение, умиротворение».) Деятельность сердца улучшает и калий, которого много в листьях.

Укропное масло обладает также высокой антимикробной активностью. Настой семян и листьев укропа применяют при гнойничковых заболеваниях кожи лица — для мытья, в виде масок и компрессов.

Железо, аскорбиновая кислота и каротин, которыми богат укроп, делают его неплохим средством от анемии. Укроп вообще полезен как источник витаминов, фолиевой кислоты, флавоноидов, солей кальция, фосфора, железа и некоторых микроэлементов.

Чаще всего используют либо настой семян укропа, либо порошок из семян. Если это средство дают детям, его можно подсластить сахаром.

Довольно неаппетитное средство, мазь из семян укропа на свином сале в соотношении 1:2, раньше применяли против вшей.

Как ни полезен укроп, злоупотреблять им не стоит. При частом употреблении и в больших дозах укроп снижает давление и расширяет сосуды, что вредно людям с низким артериальным давлением. В особо тяжелых случаях расширение сосудов и гипотония могут привести к обморокам, временному ухудшению зрения и общему упадку сил. Но эти беды бесследно проходят при отмене укропных препаратов.

Еще одним противопоказанием к укропу служит атония гладкой мускулатуры органов желудочно-кишечного тракта, поскольку укроп и так ослабляет ее тонус.

Чтобы упасть в обморок от укропа, его нужно съесть довольно много. К тому же в рас-

поражении современных людей немало средств более эффективных, чем укроп. А древние медики для устранения неприятных последствий злоупотребления укропом рекомендовали принимать его вместе с медом, гвоздикой или корицей.

Что такое укропная вода? «Укропная вода» — известный препарат, который дают младенцам при скоплении газов в кишечнике. Но делают эту воду не из укропа, а из фенхеля. Фенхель очень похож на наш обычный огородный укроп, только крупнее. В народе его даже называют аптечным укропом, однако он относится к другому роду зонтичных растений, да и запах у него совсем не укропный, а скорее анисовый.

Так вот, укропная вода, которую продают в аптеках, представляет собой водный 0,005%-ный раствор эфирного масла фенхеля. Эту воду можно приготовить самостоятельно, энергично встряхивая масло в воде.

Многие люди готовят укропную воду дома, заваривая кипятком укропное семя. Но это уже несколько другой продукт и менее стандартизованный.

Почему огуречный рассол помогает при похмелье? Рассол полезен не потому, что в нем солили огурцы, а потому, что в него кладут «зонтики» укропа, богатые целебным эфирным маслом, которое помогает при головной боли. По той же причине младенцам, которых мучает боль в животе, раньше в деревнях давали вместо соски кусок соленого огурца.

С какими продуктами сочетается укроп? Укроп издавна был известен как лекарственное растение с неприятными побочными эффектами, потому, наверное, европейские повара относились к нему с осторожностью. Добавлять его в соусы, маринады, соленья и квашения начали только после XVI века. Зато теперь применение укропа не знает границ. В ход идут все наземные части: семена, стебли и листья.

Свежей зеленью укропа посыпают готовые блюда. Зелень и плоды используют при засолке огурцов и помидоров, при приготовлении маринадов и квашении капусты. Поскольку это ароматическое растение, его применяют для отдушки разных продуктов. Например, зонтики укропа вместе с листьями кладут в бутылку с уксусом и настаивают две недели, периодически встряхивая. Таким уксусом хорошо приправлять салаты из свежей кочанной или цветной капусты и огурцов. А на укропном настое (мелко нарезанную свежую зелень заливают небольшим количеством кипятка и настаивают два часа) можно замешивать тесто.

Укроп препятствует перенасыщению организма солями, поэтому его полезно добавлять к пересоленной пище. В Швеции укроп кладут даже в некоторые сладкие блюда. Однако во всем нужна мера, и людям с пониженным давлением все-таки не стоит злоупотреблять укропом.

Как использовать укроп на кухне? Чтобы укроп проявил себя во всей красе, нужно знать некоторые тонкости. Если в блюдо добавляют семена укропа, то делают это в самом начале готовки, причем лучше их предварительно обжарить на сухой сковородке. Дело в том, что семена укропа раскрывают свой аромат только после тепловой обработки. А вот зелень, даже сушеная, при нагревании выдыхается, поэтому ее кладут в самом конце кулинарного процесса. Чтобы зелень была ароматнее, не стоит крошить ее на деревянной доске — только на фарфоровой или керамической.

Как заготавливать и хранить укроп? Укроп убирают, когда высота растения не превышает 20–35 см. Стебли отделяют от листьев, нарезают на кусочки длиной 5–7 см и сушат отдельно. Сушить зелень нужно в тени, разложив тонким слоем и время от времени переворачивая. Сушеную зелень хранят в плотно закрытой посуде, стеклянной (лучше темной) или фарфоровой, чтобы ее не касались солнечные лучи. Сухой укроп четвертого и пятого годов хранения считают самым целебным.

Для засолки и квашения используют соплодия, и укроп для этой цели убирают в период созревания семян, когда большая их часть буреет. Срезанные растения связывают небольшими снопиками и подвешивают в сухом, хорошо проветриваемом помещении для созревания и засушки. Иногда сухие зонтики обмолачивают и хранят семена в закрытой банке.

Если же укропа не запасено, то зимой можно пользоваться для приготовления блюд укропным маслом и его спиртовым раствором (эссенцией) — они продаются в продуктовых магазинах. Эти пряности отличаются высокой концентрацией, и поэтому их применяют в очень малых дозах: 1–2 капли на 1 литр жидкости.

Н. Ручкина



НЕПРОСТЫЕ ОТВЕТЫ
НА ПРОСТЫЕ ВОПРОСЫ





Художник Е. Станикова

Первая заповедь дуэлянта

Евгений Цепенюк



ФАНТАСТИКА

Благородный сделал глубокий выпад и замер, предлагая присутствующим оценить изящество позы и то, как солнечное золото разлилось по глади клинка, ну и конечно, ничтожность расстояния между кончиком шпаги и поверхностью туго надутого пузыря. Три мгновения спустя его нога, выставленная слишком далеко, неловко подвернулась. Благородный пошатнулся, картинно раскинул руки, открывая грудь, а затем рухнул ничком. Белый песок арены набух темно-бордовым.

Один из новичков зааплодировал, второй благоразумно предпочел дожидаться реакции Наставника. Тот не заставил себя ждать:

— Превосходный пример. Блестящий, я бы сказал, образец. Эталон! Того, как не следует завершать дуэль... Ну-ка, — обратился он к осторожному новичку, — напомним старшим товарищам, какова третья заповедь дуэлянта?

— Не дай себя убить по-настоящему! — отчеканил тот.

Наставник недовольно поморщился:

— Это вторая заповедь. А третья такова: дай себя убить по-настоящему. Ясно? Всем, спрашиваю, ясно?

Студенты, а пуще всех Благородный, согласно закивали: чего ж тут, дескать, неясного.

— А тебе, Благородный, между прочим, полагается лежать замертво, пока зрители не разойдутся.

Благородный вновь покорно повалился на окровавленный песок.

— Ну ладно, — смягчился Наставник, — страстность, по крайней мере, впечатляет. Скажем, для премьеры сойдет. Так... Свадьба, напоминаю, завтра, дуэль в полдень, торжественное построение в девять ноль-ноль. У Благородного сегодня в шесть еще генеральная репетиция с женихом, остальное время — личное. Все свободны!

Этнограф деликатно дождался, пока Благородный примет душ и переоденется, и лишь затем пристал с расспросами:

— Прошу прощения, но это очень важно. Дело в том, что я, конечно, не специалист в области лингвистики, но у меня сложилось отчетливое впечатление, что на здешнем диалекте общего языка одни и те же слова могут принимать различное, а порой даже прямо противоположное значение в зависимости от контекста.

Этнограф Максим Петров вообще-то был парнем приятным в общении и даже простым. Это когда он был просто парнем. Но когда ученый сосредоточивался на своей миссии, его лицо стягивала тугая маска преувеличенной вежливости, а с языка слетали конструкции

наподобие вышеприведенной. К счастью, подолгу пребывать в таком состоянии он еще не научился.

— Вот, например, словосочетание «по-настоящему».

— В смысле? — Благородный взглянул на часы. Разумеется, не демонстративно. И не украдкой, потому что уже успел убедиться: от пристального внимания исследователя ничего не ускользает. Так неловко получилось в самом начале, когда этнограф в присутствии Наставника спросил: «Вы сейчас посмотрели на часы, чтобы вежливо дать мне понять, что пора заканчивать разговор?» С этой своей вечной извиняющейся улыбкой... Впрочем, времени оставалось предостаточно. — По-настоящему — значит «на самом деле», «взаправду». А у вас не так?

— Ну да, конечно, ровно тот же самый смысл вкладывают в это слово и на моей родной планете. Но ведь тогда получается, что третья заповедь дуэлянта противоречит второй!

— С чего бы это? Во второй заповеди говорится — «по-настоящему». А в третьей — «по-настоящему».

— Я, кажется, понял! — обрадовался Максим. — Для моего, пока еще непривычного уха эти слова звучат как омонимы, а для вашего — совершенно по-разному. Ну так объясни мне, пожалуйста, что значит «не дай себя убить по-настоящему»?

— Да то и значит, что после того, как тебя убьют и все зрители разойдутся, ты должен подняться на ноги живым и здоровым.

— А «дай себя убить по-настоящему»?

— Это значит, что никто из зрителей не должен знать, что ты на самом деле поддаешься противнику.

— А мне казалось, об этом все знают.

— А я разве сказал «не знают»? Знают, конечно, но не должны знать. Понимаешь, противник — он же клиент, это его праздник, а не мой, и он, а вовсе не я должен быть настоящим героем, победителем.

— Быть героем — значит выглядеть как герой? Извини, что перебиваю.

— Ничего страшного. Ну да, «быть» — значит «выглядеть». А Наставник упомянул третью заповедь потому, что я потянул одеяло на себя. Ну, то есть перестарался, стремясь выглядеть как можно более ярко, эффективно. Привлекал слишком много внимания к своей персоне, вместо того чтобы оттенять и подчеркивать игру противника. Как если бы художник написал очень красивую картину для столовой, такую, которая притягивала бы к себе взгляды гостей и тем самым мешала бы им наслаждаться искусством кулинара. Понимаешь? И в итоге получилось, что это я проигрываю, поскольку

допускаю оплошность, а не противник выигрывает, потому что он объективно сильнее. То есть — не по-настоящему.

В свое время существовало не менее десятка теорий, объяснявших эффект Судакова — Клемешева. С помощью одной из них даже удалось предсказать некоторые весьма интересные явления, наблюдаемые при межзвездных перелетах. Но, к сожалению, ни одна теория не позволила предугадать, что в один прекрасный день эффект вдруг возьмет да исчезнет и сотни колонизированных людьми планет окажутся полностью отрезанными друг от друга и от Земли.

Разумеется, не везде и не все восприняли изоляцию как трагедию. Например, некоторые губернаторы колоний, внезапно обнаружившие свое кресло на самой что ни на есть вершине иерархической лестницы. Среди тех, кто не преминул воспользоваться ситуацией в меру своих амбиций, Верховнейший Правитель Новой Весны не был ни амбициознейшим, ни жесточайшим, ни даже безумнейшим. Увы, но населению планеты сравнить было не с чем.

Установив абсолютную власть и приняв всевозможные меры для обеспечения своей безопасности, Правитель вскоре заскучал. Планета ему досталась благодатная, народ — смирный, соседей не было и не предвиделось. Улучшение качества жизни подданных Правитель полагал делом рук самих подданных. Ну вот разве что улучшение самих подданных! Эта задачка оказалась ему достаточно занимательной.

К поставленной цели вели два пути, и Правитель выбрал оба. Во-первых, он искусственно вернул в общество естественный отбор. Например, претендентам на каждую мало-мальски хлебную должность отныне предстоял суровый экзамен, включавший сочинение на вольную тему, конкурс красоты и бой без правил.

Аналогичным реформам подверглись практически все общественные институты сверху донизу: так, поскольку семья — основа государства, то всякому, кто собирался вступить в брак, полагалось прежде того доказать свою пригодность к производству здорового потомства. Ни один мужчина не мог жениться, не сразившись за право обладать избранницей как минимум с одним соперником, причем желательно насмерть; и ни одна женщина не могла выйти замуж, если не находилось хотя бы двух желающих рискнуть жизнью ради ее руки и сердца.

Во-вторых, Правитель приказал построить целый научный комплекс, полностью автономный. В этом черном-пречерном небоскребе без окон и с единственной дверью, прозванном в народе «Башней мага», он собрал и запер всех ученых планеты. А вскоре и сам заперся вместе с ними, чтобы лично контролировать и направлять эксперименты по улучшению человека. И строго-настрого приказал по пустякам себя не беспокоить.

Ну так его и не побеспокоили ни разу. Более того, и оставленные Правителем заместители, и их преемники, и их подчиненные, и весь народ — словом, все население Новой Весны больше всего на свете боялось каким-либо образом привлечь внимание Того, Кто Заперт в Башне.

Предоставленные сами себе люди, исходя из вполне

прагматичных соображений, повели себя словно персонажи волшебной сказки, которые опасались неосторожным словом либо поступком потревожить дремлющее в древней гробнице Зло. Более того, со временем стремление во что бы то ни стало сохранить видимость стабильности, неизменного и неукоснительного исполнения законов превратилось в основу местной культуры и менталитета — в главный принцип цивилизации.

Сами законы при этом подверглись постепенному, но кардинальному переосмыслению — оставаясь, разумеется, неизменными по форме. Парадоксально, но факт: спустя триста лет, когда физикам удалось-таки обуздать заартачившийся эффект, миссия Союза Планет обнаружила на Новой Весне общество, представляющее собой, по сути, полную противоположность задуманной Правителем утопии.

Среди наиболее ярких и показательных примеров такой трансформации особое место занимает институт профессиональных дуэлянтов. Без разыгрываемых ими поединков не может состояться ни одна свадебная церемония. И дело не только в том, что это — яркое, динамичное, поистине незабываемое зрелище (по случаю бракосочетания важных особ устраиваются настоящие турниры, которые собирают сотни восторженных зрителей). Несмотря на то что каждая дуэль представляет собой, по сути, тщательно срежиссированный спектакль, совершенно безопасный для всех участников, а роль победителя жестко закреплена за заказчиком-женихом, символической борьбе за счастье придается особое, я бы даже сказал, почти мистическое значение.

Что до Правителя, то он на связь ни разу не выходил, причем по собственной инициативе, и никто не выходил из Башни и не входил в нее на протяжении всего периода изоляции. Так что достигли ли ее обитатели результатов, и если достигли, то ожидаемых ими или нет, все это время оставалось неизвестным. Разумеется, ко всеобщему удовлетворению. Ну а новая власть первым делом объявила все, что связано с Башней, государственной тайной. На окончательно сформировавшемся к тому времени местном диалекте это звучало так: никакой Башни никогда не было...

Вот примерно таким образом (разве что куда более обстоятельно и в еще более тяжеловесных выражениях) молодой, но подающий надежды этнограф Максим Петров собирался начать свою книгу об уникальной и в чем-то даже парадоксальной культуре планеты Новая Весна.

— Скажи, Максей...

— Максим.

— Прости, пожалуйста. Мне трудно запомнить имя, которое ничего не значит.

— Ну почему же? Оно значит «величайший».

— На твоём родном языке?

— Нет, на латыни. Это мертвый язык, на нём уже давно не разговаривают. Но некоторые слова живут в других языках. Например, имена собственные.

— В таком случае можно я буду называть тебя просто Величайшим?

— Знаешь, для меня это звучит как-то нескромно.

— А что тут нескромного? Со мной в одном классе училось двое Величайших. Один теперь большой началь-

ник, другой — продавец в круглосуточном магазине.

— Ну ладно, если тебе так удобнее... Так о чем ты намеревался спросить?

— Да мне вот любопытно: а на других планетах как люди женятся? Неужели просто официально регистрируются, и все?

— Ну, везде по-разному. Кое-где вообще не принято регистрировать отношения. А вот, например, у нас принято нанимать человека, который весь торжественный день всячески издевается над новобрачными и подвергает их различным унижительным испытаниям. Однако такого оригинального обычая, как у вас, нет нигде. Ну, по крайней мере, насколько мне известно.

— А по-моему, мы занимаемся, в сущности, ровно тем же самым: подвергаем жениха испытанию, которое он с честью выдерживает.

— В чем-то ты прав: определенное сходство и в самом деле наличествует. Но есть и принципиальная разница. Например, наши испытания заранее не репетируются.

— В самом деле? — В Благородном проснулся профессиональный интерес. — А как же тогда к ним готовят новобрачных?

— Да никак, — пожал плечами Максим. — Организатор, разумеется, планирует свои выходы заранее, а жених с невестой импровизируют на ходу.

— Тогда, наверное, это совсем простенькие испытания, которые любой заведомо пройдет? Но так ведь совсем не интересно!

— Нет, нормальные испытания. Порой так даже и вовсе невыполнимые, — с легкой обидой за свою родину ответил Максим.

— Но... — Благородный осекся, потер переносицу указательным пальцем, пожевал губами и наконец продолжил с усилием: — В этом есть что-то очень неправильное. Я это чувствую, только не могу понять, что именно. Я даже не знаю, как об этом спросить.

Максим никогда не отличался проницательностью. Настойчивостью — да, вниманием к деталям — сколько угодно. А вот попытаться поймать мысль собеседника на лету, этот метод он отвергал как ненаучный. И ничего удивительного в том, что, стараясь помочь Благородному, с первого раза он с подсказкой не угадал.

— Тебя интересует, почему новобрачные все это терпят? Ну, просто таков обычай. И кроме того, считается, что из-за этого жених с невестой запомнят свой праздник на всю оставшуюся жизнь.

— Да это-то естественно! — отмахнулся Благородный. — Понимаешь, я не понимаю... Если вдруг... Ведь тогда может получиться так, что... Ну, выходит, можно ведь предположить, что они, наверно... И что тогда будет?

— Что будет, если они — что? Откажутся? Нет?.. Не справятся с испытаниями? — Тут Благородный быстро закивал. — Да ничего не будет! Посмеются и продолжат церемонию. Это же не по-настоящему, понимаешь?

— Не понимаю, — медленно проговорил Благородный. — Но кажется, начинаю понимать.

— Ну и замечательно. Никогда не был силен в объяснениях, моя стихия — вопросы... Кстати, я тоже давно хотел кое о чем спросить. А что, если во время дуэли произойдет несчастный случай? Ведь может же дуэлянт, например, оступиться или неправильно рассчи-



ФАНТАСТИКА

тать удар, а тем более клиент. Да?

Благородный снова взглянул на часы. И сознательно уклонился от ответа:

— Слушай, а мне уже пора на генеральную репетицию! Поприсутствуешь?

— Разумеется.

Генеральная репетиция затянулась намного дольше намеченного. Благородный загонял клиента до седьмого пота, снова и снова прорабатывая финал. Клиент, пухленький увалень по имени Невредимый, пыхтел и задыхался, но безропотно выполнял указания — и все же никак не мог продемонстрировать приемлемый результат, хотя, на дилетантский взгляд Максима, стремительная последовательность финтов, уклонений, батманов и выпадов выглядела безукоризненно.

Благородный двигался с отточенной, грозной грацией; он то грубо наседавал, обрушивая сокрушительные удары, то коварно рассыпал обманные движения. Казалось, он не оставляет ушедшему в глухую оборону Невредимому ни единого шанса на контратаку — словно человек вступил в безнадежную схватку с безжалостным киборгом. Но в какой-то момент, запутавшись в собственных стальных тенетах, машина смерти вдруг давала сбой, открывалась на одно-единственное мгновение, почти неуловимое, но достаточное для чуда, и тогда человек успевал нанести единственный, однако решающий удар.

И в пятый, и в десятый раз наблюдая, как поверженный противник падает к ногам победителя, Максим был не в силах сдержать вздох облегчения.

А Благородный все не унимался. Поначалу этнограф честно прислушивался к его инструкциям, но, когда количество чисто технической информации, требующей дополнительных пояснений, начало зашкаливать, он сдался и позволил себе заскучать. И в итоге пропустил начало фразы, содержащей, судя по физиономии Невредимого, нечто весьма интересное.

— ...Потому что, — продолжал Благородный, — на самом деле ты — не клиент и не партнер, а главный и единственный герой! Который должен бороться, а не выжидать и только пользоваться возможностью. Это не я тяну на себя одеяло, это ты ждешь, что я тебя закутаю и подоткну уголки. Да, конечно, я так и делаю. Я обязательно так и сделаю. Мы оба знаем, как и чем закончится дуэль. Но это — по-настоящему! А по-настоящему ты не должен этого знать. Понимаешь?

— Понимаю, — покорно кивнул Невредимый, хотя на его лице явственно читалось недоумение.

— Ничего ты не понимаешь! Я сам только начинаю понимать, как все запутано. Просто поверь, что ты не

должен мне доверять. Почему ты мне доверяешь настолько, что даже не пытаешься сделать хоть что-то не по моему сценарию? Почему ты уверен, что я поддамся? Почему не боишься, что я тебя убью? А что, если я хочу убить тебя по-настоящему? — Благородный постепенно повышал голос и почти уже сорвался на крик. — Думаешь, этого не может быть? А почему? Потому что так не бывает? Представь себе, бывает. Только у нас не бывало еще никогда. Но ты не задумывался, что все когда-нибудь случается впервые? Как первый друг, первая любовь и... первое предательство. Не задумывался, конечно. И о том, почему тебе, сыну непоследних людей, поставили в пару не опытного мастера, а меня, выпускника, — тоже не задумывался? — Тут голос Благородного опять сорвался, но не вверх, на крик, а словно куда-то в глухую яму, полную ненависти. Максим еще ни разу не слышал подобных интонаций на Новой Весне. — А ведь в этом, представь себе, есть смысл. Такой, что завтра тебе придется повторить то, что ты уже проделал однажды. Только теперь — на глазах у всех. Ты ведь меня уже один раз убил, поразил в самое сердце. Я умер, когда узнал, что Победа выходит за тебя. Умер, но остался жить.

— Благ, ты чего? — тихо и с искренним сочувствием спросил Невредимый. — Перетрудился, да? Ну ты меня прости, конечно, что я такой паршивый ученик. Но это же не твоя вина, поэтому не переживай так, ладно? И вообще, все будет хорошо. Как всегда. Ага?

Максим облегченно вздохнул, когда Благородный привычно улыбнулся и ответил:

— Конечно, Неврик, все будет как всегда. И вообще ты на самом деле молодец. Но только давай-ка мы еще пару раз прогоним финал... для верности.

— Я, конечно, извиняюсь, если мой вопрос затрагивает слишком личную тему, но правильно ли я понял, что Невредимый отбил у тебя любимую девушку?

— Почти правильно. Только он ее не отбил. Не такая она, чтобы ее можно было взять и отбить. Да и он не такой... В общем, на самом деле Победа сама его выбрала.

— Вы были друзьями?

— Мы и сейчас друзья. Лучшие друзья. С детства. Просто редко общаемся в последнее время. И знаешь, он очень хороший друг. И всегда таким был. Когда в детстве воровали яблоки, он частенько попадался. Ну, сам понимаешь, с его-то комплекцией. И он ни разу не признавался, не выдавал соучастников. И потом: однажды мы с ним пошли в поход в сопки, и я подвернул ногу. Так он почти до самого дома тащил меня на себе. И еще много таких случаев я могу вспомнить... — Благородный замялся, но не более чем на пару мгновений. — Да, я много чего могу вспомнить, если понадобится. Ну а Победа, она просто лучшая девушка в мире. В общем, я их обоих очень люблю и желаю им счастья. По-настоящему. Просто, наверное, немного завидую, но это нормально... И еще я немного в смятении. Понимаешь, как будто я всю жизнь прожил в долине, а с тех пор как меня к тебе приставили, словно бы начал взбираться по крутому склону. Каждый раз, когда ты рассказываешь что-то о других планетах, я поднимаюсь еще на несколько метров. А когда я отвечаю на твои вопросы, то словно

оборачиваюсь назад и смотрю на свой родной город с высоты. Смотрю и вижу его совсем не таким, как привык видеть. Ты спрашиваешь о вещах, которые всегда казались мне естественными и единственно правильными, и я чувствую, что ты искренне пытаешься их понять. Но если их нужно объяснять и понимать, то, значит, не такие уж они естественные, верно? И вслед за тобой я все чаще задумываюсь: и в самом деле, почему у нас все именно так, а не как-нибудь по-другому? Может, не так уж у нас все и правильно?

Максим напустил на себя очень серьезный вид, откашлялся и внес небольшую корректировку:

— Не «вслед за мной». Я ведь ученый. А значит, имею права оценивать наблюдаемые явления в категориях «правильно — неправильно».

— Ну да, извини, я сам виноват, — покорно кивнул Благородный, и Максим снова закашлялся, на сей раз поперхнувшись заготовленным заранее ответом на «почему?». Он вдруг почувствовал себя неловко — настолько, что захотел сменить тему:

— Значит, мальчишками вы воровали яблоки? Интересно: меня уверяли, что на Новой Весне совершенно отсутствует преступность, в том числе подростковая.

— Преступности у нас нет. А что, разве у вас мальчишки не лезят по чужим садам?

— Только там, где есть сады! — рассмеялся Максим. — Но хулиганят — везде. Например, бьют стекла или пишут на стенах. На то они и мальчишки.

— Разумеется, мальчишки должны вести себя по-мальчишески. Так вот. В двух-трех кварталах от каждой школы есть фруктовый сад. В начале каждого учебного года родители вносят определенную сумму и потом могут не беспокоиться, что плоды вдруг окажутся случайно опрысканы химикатами или что их ребенок свалится и свернет шею, перелезая через слишком высокий забор. И стены для граффити у нас тоже есть. А вот насчет стекол я не в курсе. Кажется, пробовали в порядке эксперимента, но пришли к выводу, что это слишком опасно.

— Значит, садовник знает, кто именно таскает яблоки?

— Конечно, у него есть список.

— Тогда зачем допрашивают тех, кто попался?

— Чтобы те не выдали своих товарищей, Величайший. Для чего же еще?

Утро выдалось прохладным и ясным. Каждая пуговица сияла и переливалась, словно драгоценный камень; и каждый драгоценный камень сиял и переливался, словно капля росы; и каждая капля росы сияла так, как способна сиять только роса на листьях травы, пробивающейся в щели меж камнями мостовой ясным и прохладным утром в самом начале лета. Дуэлянты в парадных мундирах застыли строем во внутреннем дворе Академии, и у каждого на лице застыло выражение напряженного внимания.

Этнограф пристроился чуть поодаль от Благородного, занявшего почетное место на правом фланге. Максим ожидал, что Наставник скажет речь, но тот пока что лишь молча скользил взглядом по лицам курсантов, порой задерживая внимание то на одной, то на другой из дюжины пар преданных глаз, улыбался по-отечески или даже зазорно подмигивал, а то и сурово хмурился.

Так, в полной тишине, прошло минут пять. Наконец Наставник кивнул Благородному — точнее, склонил голову на столь малую долю градуса, что Максим не решился однозначно интерпретировать это движение как одобрительное, и заговорил:

— Я всегда начинаю речь с минуты молчания, а продолжаю объяснением, почему я так поступаю. А поступаю я так потому, что в тишине умеющий слушать услышит самое главное. А неумеющий — услышит в словах. А если кто-то все равно не услышит — что ж, значит ему не место среди нас.

Я сказал «услышит главное в тишине», но на самом деле тишина — это и есть то самое главное. То, ради чего существуют законы и традиции. Во имя чего я изматываю вас тренировками, извожу придирами, испытываю наказаниями — чтобы сделать из вас достойных хранителей и, главное, исполнителей этих самых традиций и законов.

Все вы знаете, что на Новой Весне нет ни бесполезных профессий, ни ненужных должностей. Здесь нет лишних людей, а если кто-то считает иначе — значит, ему здесь не место. И все-таки наша работа — особенная. Она даже важнее работы учителей: в школе люди узнают, что такое буквы и цифры, а мы показываем им, что такое жизнь и смерть. Не просто жизнь и смерть, а настоящая жизнь и настоящая смерть: с яростью и страстью, страданием и экстазом победы — словом, со всем тем, чему в настоящей жизни не место.

На самом деле все настоящее — вредно. Или по меньшей мере опасно: как вода из лужи, или чистый кислород, или секс без предохранения. Но люди жаждут настоящего, и они его получают в любом случае, чего бы это ни стоило. Поэтому мы даем им то, чего они жаждут: не потому, что желаем доставить им удовольствие, а потому, что иначе они придут и возьмут сами. И тогда... Я не знаю, что тогда может случиться. Но я совершенно точно знаю, что не хочу этого знать. А если кто хочет, то пусть ищет себе другое место и там узнает что угодно.

Таково наше настоящее предназначение: мы живем ради смерти и умираем ради жизни. Снова, и снова, и всегда. Пока не затупятся наши клинки — никто не угрожает миру. Пока не смолкают восторженные вопли зрителей — ничто не нарушает тишину.

Максим слушал невнимательно. В голове пронеслись тяжеленные мысли, которые упорно отказывались принять не то что привычный, а хоть какой-нибудь порядок.

Вот, например, такая картина: двое на арене, Благородный чуть-чуть промахивается — вернее, бьет чуть точнее, чем нужно... В общем, достаточно ведь самую малость ошибиться. Даже если он сам и не помышляет о мести... ну конечно, он ведь и слова такого небось не знает, а если даже и знает, то подразумевает под ним... что? Да, что, кстати? Возможно, заявление в суд. Нет, это некстати! Не важно, что он подразумевает: когда разум в смятении, подсознание запросто может подвести. И направить руку помимо воли. И вот — Невредимый, эта кукла с разрядившимся аккумулятором, валится навзничь.

Или другая картина: Благородный чуть-чуть подается вперед, навстречу шпаге Невредимого, и вот дев-



ФАНТАСТИКА

ственно-белый (здесь принято говорить «белый, как девственность», но это сейчас не важно) песок набухает багрянцем, и зрители на трибунах... И что зрители? Они взрываются овацией, подростки свистят в два пальца, отцы семейств похлопывают друг друга по плечу, старики чинно аплодируют, девушки растроганно смахивают слезу... Слава победителю!

И даже если падает Невредимый — все равно. Никто ведь поначалу не понимает, что произошло. А когда понимает, то не сразу верит. А может, они вообще не верят. Или даже так: понимают и верят, но делают вид, будто не поверили. Нет, не так: будто и не во что верить, поскольку ничего особенного и не случилось. Все продолжают церемонию как ни в чем не бывало. Или не продолжают, будто бы она и не начиналась. Будто бы вообще ничего не случилось, совсем ничего, никогда. Ни с кем.

Нет, конечно, никого не казнят: ведь некого же. Но могут ведь устранить... Да нет, наверняка такие дела здесь устраивают по-своему: к примеру, дают убийце новое имя... Кстати, ни разу не слышал, чтобы к Наставнику хоть раз обращались по имени. Хотя, наверное, это ни при чем. Но что-то в этом роде. Потому что в противном случае им придется... Нет, не так. Потому что никакого противного случая быть не может.

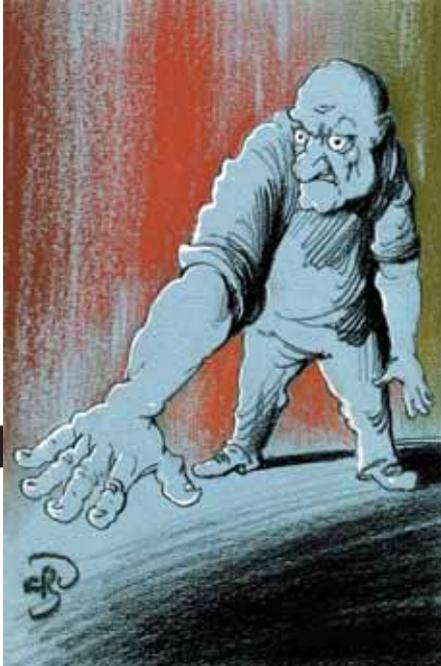
Но в любом случае он, Максим Петров, обязан что-то сделать, потому что он, пришелец, чужак, наблюдатель, — он, наверное, единственный, кто может сейчас что-то сделать — сейчас, пока еще можно... но что и, главное, как? Как объяснить, обосновать ЭТО — то, что, в сущности, не более чем сомнение? И кому — если на всей планете есть всего-то два человека, больных сомнениями: он сам и Благородный? Но у Максима-то иммунитет, он к этой заразе с детства привычен...

— Господи, что я наделал?!

Благородный тоже не особенно вслушивался в слова Наставника. Просто потому, что еще на втором курсе выучил их наизусть. Он наслаждался утренней свежестью, любовался сиянием росы и ни о чем таком особенном не думал. И ни в чем не сомневался. Потому что твердо знал, что будет и, главное, как.

Все будет по-настоящему.





Пишут, что...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Математика олимпийских рекордов

Спустя год после того, как улеглись страсти Пекинской олимпиады-2008 и были подведены ее итоги, у любителей статистики появилась возможность с калькулятором в руках проанализировать спортивные результаты. В частности, профессор Джоэл Стаджер из Индианского университета (США) заинтересовался успехами пловцов и о результатах своего исследования рассказал на ежегодной встрече Американского колледжа спортивной медицины (агентство «NewsWise», 2 июня 2009). Повод был необычный: число рекордов у пловцов на этой Олимпиаде получилось подозрительно большим.

Стаджер собрал данные о высших олимпийских результатах за период с 1976 по 2008 год, то есть по восьми летним Олимпиадам, и, математически обработав их, построил функцию зависимости результата от времени. Фактически эта функция дает представление о том, как изменяется способность человека к плаванию, ведь не секрет, что спортсмены плывут все быстрее и быстрее. На получившейся кривой было два заметных отклонения. Так, на Олимпиаде 1996 года, которая проходила в Атланта, результаты пловцов оказались хуже, чем положено. А вот на Олимпиаде-2008, наоборот, существенно лучше: если за пять предшествовавших Олимпиад число результатов, отклонявшихся от расчета в лучшую сторону, не превышало 9%, то в Пекине оно составило 65%. В чем же причина?

По мнению профессора Стаджера, ни техника плавания, ни методика тренировок за время подготовки к последней Олимпиаде не претерпели революционных изменений. Значит, все дело в применении каких-то стимулирующих средств либо в качестве плавательного костюма (назвать плавками то, в чем нынче плавают даже мужчины-спортсмены, никак нельзя) — как раз в феврале 2008 года изготовители спортивного снаряжения представили новое поколение обмундирования для пловцов с особо низким сопротивлением движению в воде. Впрочем, возможно еще одно объяснение. Большая часть рекордов принадлежит одному-единственному спортсмену — Майклу Фелпсу, который, став впервые в истории восьмикратным олимпийским чемпионом, побил семь мировых и один олимпийский рекорд — факт, незаметный при статистической обработке. Может быть, выявленная профессором Стаджером аномалия связана с особенными, прямо скажем, сверхчеловеческими способностями именитого пловца? Недаром говорят, что в детстве ему поставили диагноз то ли аутизма, то ли синдрома рассеяния внимания и гиперактивности. Посмотрим, кто преодолеет рекорды Фелпса и как скоро это случится.

А. Мотыляев

...источником так называемых аномальных космических лучей, которые представляют собой потоки низкоэнергичных ионов, например O^{+1} , могут быть вспышки на звездах («Космические исследования», 2009, т. 47, □ 2, с. 158–163)...

...позднемеловой климат Арктики, который характеризовался умеренно теплыми температурами, обильными осадками и значительной световой сезонностью, не существует на современной Земле, и его с полным правом можно назвать вымершим климатом («Вестник Российской академии наук», 2009, т. 79, □ 5, с. 387–392)...

...к концу XXI века навигационный сезон может составлять 4,5 месяца в году на трассе Северного морского пути и от двух до четырех месяцев в Северо-Западном проходе, что повлечет за собой развитие арктического судоходства («Земля и Вселенная», 2009, □ 2, с. 30–35)...

...предложена пассивная радиолокационная система обзора морской поверхности, которая использовала бы в качестве радиолокационной подсветки сигналы от систем ГЛОНАСС/GPS/Galileo («Известия вузов. Приборостроение», 2009, т. 52, □ 4, с. 34–39)...

...неоднократная передача вируса «свиного гриппа» от свиней к людям и обратно может привести к возникновению более опасного штамма («Nature», 2009, т. 459, □ 7249, с. 889, 894–895)...

...нашумевшая разработка калифорнийской компании «23 and Me», позволяющая определить генетическую предрасположенность ко многим заболеваниям всего за 399 долларов, заняла первое место в списке лучших изобретений 2008 года, составленном журналом «Time» («Изобретатель и рационализатор», 2009, □ 4, с. 5)...

...одно из перспективных направлений нанотехнологии — наноконструкции из ДНК, в частности гидрогели с ДНК-включениями, изменяющими оптические свойства в присутствии вещества-мишени («Молекулярная биология», 2009, т. 43, □ 2, с. 309–326)...

...согласно данным традиционной таксономии, ближайшим родственником человека может оказаться орангутан, а не шимпанзе, хотя это и не соответствует данным генетики («New Scientist», 2009, □ 2713, с. 6–7)...



...молочные железы млекопитающих произошли от апокриновых желез волос («Известия РАН. Серия биологическая», 2009, □ 2, с.218–227)...

...у младенцев, в семьях которых говорят на двух языках, уже в семь месяцев лучше развиты мыслительные механизмы, ответственные за приспособление к меняющимся условиям коммуникации («Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA», 2009, т.106, □ 16, с.6556–6560)...

...показана возможность идентификации и оценки качества ароматизаторов, применяемых в производстве пищевых продуктов, с помощью системы «пьезоэлектронный нос» — пьезокварцевого микровзвешивания паров («Журнал аналитической химии», 2009, т.64, □ 4, с.352–359)...

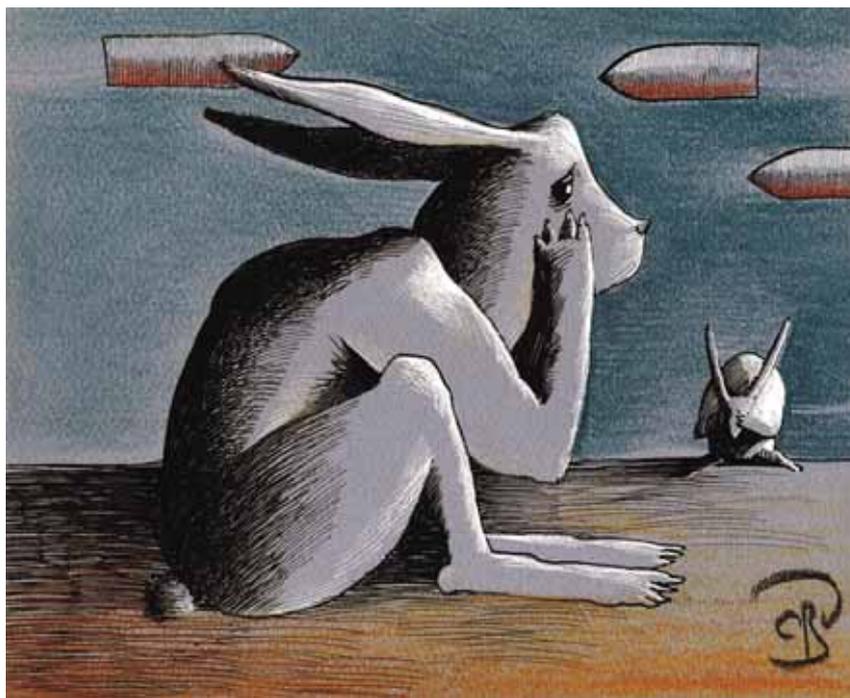
...нейросетевая модель когнитивных свойств мозга, учитывающая реально наблюдаемое ослабление межнейронных связей с возрастом, подтверждает, что старение мозга может сделать человека более мудрым («Журнал высшей нервной деятельности», 2009, т.59, □ 2, с.252–256)...

...в России, Беларуси и Украине питание выступает серьезной причиной 39% болезней и является детерминирующим фактором в развитии 41% патологий («Биотехнология», 2009, □ 2, с.42–48)...

...у черного тополя клоны, то есть растения, выросшие из одного дерева путем вегетативного размножения, более сходны между собой по строению листьев, чем не идентичные генетически экземпляры («Лесоведение», 2009, □ 2, с.41–46)...

...животноводство — самая травмоопасная отрасль в сельском хозяйстве, причем 17–20% случаев временной утраты трудоспособности работников, обслуживающих крупный рогатый скот, приходится на удары задними конечностями при доении («Сельскохозяйственная биология», 2009, □ 2, с. 89–92)...

...возможно, предки летучих мышей лазали по очень толстым древесным стволам, и необходимость широко разводить лапы в стороны послужила преадаптацией к освоению активного полета («Зоологический журнал», 2009, □ 5, с.573–587)...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Вода метеоритного дождя

Уже не одно столетие ученые ищут источники земной воды. Очередную гипотезу предложили Ричард Корт и Марк Сефтон, геофизики из лондонского Королевского колледжа. В соответствии с ней воду и углекислый газ, которые сделали климат на планете теплым и влажным, принесли метеориты («Geochimica et Cosmochimica Acta», 1 июня 2009).

Чтобы убедиться в справедливости своей гипотезы, ученые подвергли пятнадцать осколков древнейших метеоритов, найденных в разных местах Земли, быстрому нагреву. Его скорость составляла 20 тысяч градусов в секунду, что соответствует воздействию атмосферы на поверхность летящего в ней гостя из космоса. В результате метеоритное вещество действительно выделяло воду и углекислый газ, причем их количество составило соответственно 12 и 6% массы метеорита.

Конечно, один и даже тысяча метеоритов не способны изменить состав атмосферы. Однако был в истории Солнечной системы период, когда метеориты падали на Землю, а также на Марс и, видимо, на Венеру с Меркурием десятками тысяч каждый день и так в течение 20 миллионов лет. Случилась эта бомбардировка 4 миллиарда лет назад. На Марсе от нее остались отчетливые следы, чего не могло произойти на Земле и тем более на Венере с ее разогретой полужидкой корой.

Вот эти-то метеориты и приносили в атмосферу нашей планеты по 10 миллиардов тонн воды и углекислого газа ежегодно. Этого количества вполне достаточно, чтобы сформировать современные океаны и из-за парникового эффекта обеспечить воде жидкое состояние.

А что там с Марсом? Где его океаны? Красной планете не повезло. Из-за отсутствия магнитного поля у нее нет защиты от солнечного ветра. Он и содрал с Марса атмосферу с избытком углекислого газа, после чего океаны замерзли и ушли под слой красного песка, образовав вечную мерзлоту. Оставшаяся же вода вместе с углекислым газом перемещается от полюса к полюсу, замерзая в виде шапки то на южном, то на северном.

С.Анофелес



Н.Н.БАРЗОВУ, Красногорск Московской обл.: *Синтетическую бумагу делают из полимеров, таких, как полиэтилен и пропилен, с различными покрытиями; к ее плюсам относится высокая износостойчивость, к минусам — высокая стоимость и неэкологичность.*

Е.А.КУТУЗОВОЙ, Москва: *Викасол — водорастворимый синтетический аналог витамина К — повышает свертываемость крови; ничего вредного в нем нет — разумеется, если соблюдать врачебные предписания.*

С.А.КОЛОМИЙЦУ, Кемерово: *Тритикале (от лат. *triticum* — пшеница и *secale* — рожь) — гибрид ржи и пшеницы; в СССР такие гибриды получали еще в 20-е годы, а первые в мире гибриды появились в конце XIX века.*

А.М.ШТЕРН, Челябинск: *Мериносовую шерсть для валяния и специальные растворы можно купить в магазинах, а можно использовать обычную кошачью шерсть, начесанную с животного, и водный раствор шампуня; правда, цветовая гамма изделий в этом случае будет ограничена возможностями природы.*

Л.Н.ВОЛГИНОЙ, Рыбинск: *Изделия на гагачьем пуху отличаются от изделий на гусином или утином пуху в первую очередь ценой, и очень сильно; ну а если все же есть сомнения — гагачий пух не белый, а серовато-коричневатый.*

О.СЕРГИЕНКО, Санкт-Петербург: *Как «общехимические» соображения, так и весь опыт декоративно-прикладного искусства говорят, что расписывать деревянное изделие поверх лака неправильно: лак придется удалить механическим способом.*

М.Л.КУЗНЕЦОВУ, Орел: *Гормон секретин, регулирующий работу пищеварительной системы, давно используется для коррекции желудочно-кишечных расстройств; возможность его использования для лечения аутизма, о которой много говорили в конце 90-х, насколько нам известно, на должном уровне пока не подтверждена.*

К.Н., Москва: *Предложенная вами гипотеза независимой эволюции китообразных отличается оригинальностью, но, к сожалению, она не может быть верной: киты, несомненно, млекопитающие, а ископаемые экземпляры, у которых сохранились задние конечности, были найдены уже более ста лет назад.*

Жидкие кристаллы

Вы когда-нибудь пробовали измерить температуру маленькому ребенку, который и одной минуты не может посидеть спокойно? А ведь надо еще держать под мышкой хрупкий термометр! В 90-е годы XX века на радость мамам появились удивительные градусники, почти игрушки. Тонкую плотную полоску накладывали на лоб ребенка, и на ней высвечивалась цифра, соответствующая температуре тела, причем быстро и с высокой точностью. А для грубого определения температуры (ниже или выше 37°C) использовались полоски, на которых загорались или зеленая буква H (healthy — здоров), или красная T (treat — лечить).

Жидкие кристаллы (ЖК) — прекрасные и удивительные вещества, которые ведут себя одновременно как жидкость (их можно налить в стакан) и как кристалл (образуют подобие одномерной или двумерной кристаллической структуры). Уже через 5–10 лет ЖК стали привычными: индикаторы на панелях микроволновых печей, холодильников, стиральных машин, будильников, наручных часов, плоские экраны телевизоров и мониторы, информационные табло в аэропортах — эти и многие другие устройства для отображения информации работают на жидких кристаллах.

ЖК были открыты более 100 лет назад. В 1888 году австрийский ученый-ботаник Ф.Рейнитцер изучал органическое вещество холестерилбензоат. Он обнаружил, что при температуре 145°C оно превращалось в мутную, сильно рассеивающую свет жидкость с необычным поведением. Под поляризационным микроскопом он наблюдал явление дву-преломления (зависимость показателя преломления света от ориентации плоскости поляризации) — типично кристаллический эффект. Это не соответствовало существовавшим тогда представлениям о трех состояниях вещества: жидком, твердом и газообразном. Ведь любая жидкость изотропна — ее свойства не зависят от направлений. Впрочем, при дальнейшем нагреве до 179°C она опять становилась прозрачной и оптически вела себя как обычная вода. Немецкий физик О.Леманн, к которому Ф.Рейнитцер обратился за помощью и советом, назвал ее «жидким кристаллом». Но открытие не было признано ученым миром.

Шло время, и веществ, которые могли становиться жидкими кристаллами, появлялось все больше и больше: примерно пять из каждой тысячи вновь синтезируемых органических соединений. Оказалось, что ЖК-состояние возможно только у органических веществ, молекулы которых имеют удлиненную (например, сигарообразную) форму. Строение наиболее простого ЖК можно представить себе как набор одинаково ориентированных (параллельных друг другу) палочек-молекул, которые движутся хаотически (как в любой жидкости), однако направление остается неизменным. Так короткие карандаши в длинной плоской коробке могут вращаться, двигаться поступательно, но никогда не встанут поперек. В более сложных ЖК молекулы одного направления образуют тонкие слои, повернутые друг относительно друга, как стопка листов бумаги, уложенных со сдвигом, спиралью. Именно таким строением и объясняются удивительные свойства ЖК — сильная температурная зависимость, высокая чувствительность к внешним магнитным и электрическим полям, давлению, оптическая активность (способность вращать плоскость поляризации проходящего через них света). Но если ЖК нагреть (вспомним опыты Ф.Рейнитцера), то упорядоченное расположение молекул нарушается и получается обычная жидкость, а при достаточно низких температурах — обычное твердое тело. Поэтому ЖК еще называют мезоморфной фазой, или просто мезофазой, что буквально значит «промежуточная фаза».

Переломным моментом в истории ЖК стал 1963 год, когда предприимчивый американец Дж.Фергюсон получил патент на ЖК-пластинку для обнаружения тепловых полей, не видимых глазом. Он использовал



МАТЕРИАЛЫ НАШЕГО МИРА

свойство ЖК изменять цвет под воздействием температуры. А в 1968 году в США был продемонстрирован принципиально новый индикатор: к разным частям тонкой ЖК-пленки прикладывали электрическое поле, и на ней возникало изображение букв, цифр, геометрических фигур, образованное прозрачными и непрозрачными участками пленки. Возможность так просто управлять свойствами ЖК открыла поистине безграничные перспективы их применения.

Зависимость цвета ЖК от температуры используют в медицинской диагностике. Если больной орган выделяет даже незначительно повышенное количество тепла, его легко увидеть по изменению цвета ЖК-пленки, наложенной на тело пациента. Так же выявляются неисправные элементы интегральных схем и печатных плат: сильно нагретые или, наоборот, холодные, не-

работающие, они видны как яркие пятна.

Область применения ЖК, которая развивается наиболее активно, — это информационная техника: от простых одноцветных индикаторов электронных часов до LCD (liquid crystal display)-телевизоров с изображением высокого качества. Основа любого ЖК-индикатора — электрооптическая ячейка: тонкий слой ЖК находится между двумя плоскими стеклянными пластинками с нанесенным на них прозрачным проводящим слоем (окись олова или окись индия). Такая ячейка помещается между двумя поляризационными фильтрами. Поляризованный свет движется через слой ЖК. Его молекулы под действием напряжения меняют поляризацию света на определенный угол, и второй фильтр пропускает уже только часть света. Тем самым формируется изображение точки (ее называют пикселем) раз-

ной степени яркости. Чтобы получить цветное изображение, на каждый пиксель надо брать не одну, а три ячейки с цветными светофильтрами основных цветов — красного, зеленого и синего. Это немножко похоже на шторы-жалюзи. Когда створки повернуты от окна, весь свет попадает в комнату, когда закрыты, света нет, а если полуоткрыты, комната освещена частично. А теперь повесим на окно три жалюзи красного, зеленого и синего цветов. Открывая и закрывая их, можно (теоретически) на просвет увидеть разные цвета, а закрыв все сразу — черный цвет.

Мы только-только привыкли к плоским экранам, а уже разработаны ЖК-компози́ты (тонкие полимерные пленки с диспергированными в них каплями ЖК), которые позволят сделать телеэкран, сворачивающийся в трубку.

М. Демина



ufi
Approved
Event



ТПП РФ



www.chemistry-expo.ru

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

Х И М И Я

**28 сентября –
2 октября**

2009

**ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»,
Россия, Москва**

Организатор:

ЗАО «ЭКСПОЦЕНТР»

При содействии:

ЗАО «Росхимнефть»

Официальная поддержка:

- Российский Союз химиков
- Правительство Москвы

ЗАО «ЭКСПОЦЕНТР»

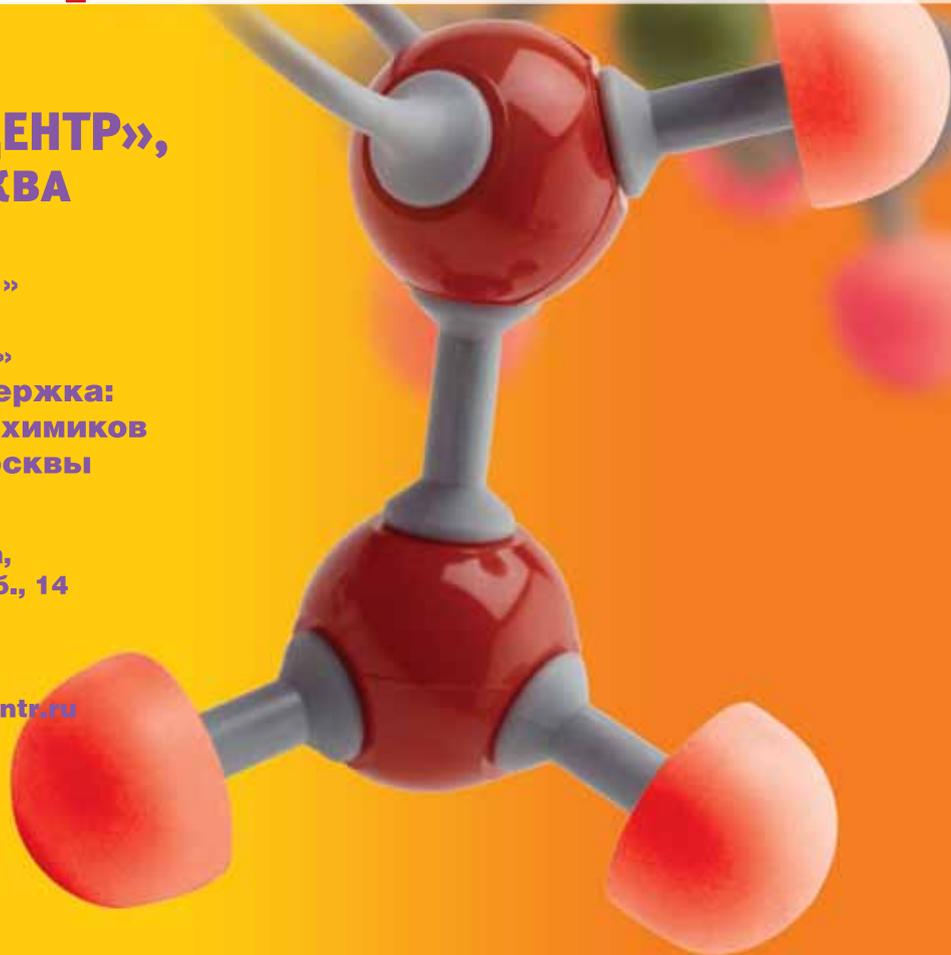
**123100, Россия, Москва,
Краснопресненская наб., 14**

**Тел.: (499) 795-37-94,
(499) 795-37-38**

Факс: (495) 609-41-68

E-mail: chemica@expocentr.ru

www.expocentr.ru



Организатор:



ЭКСПОЦЕНТР

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНГРЕССЫ
МОСКВА



ISSN 1727-5903



9 771727 590006 >