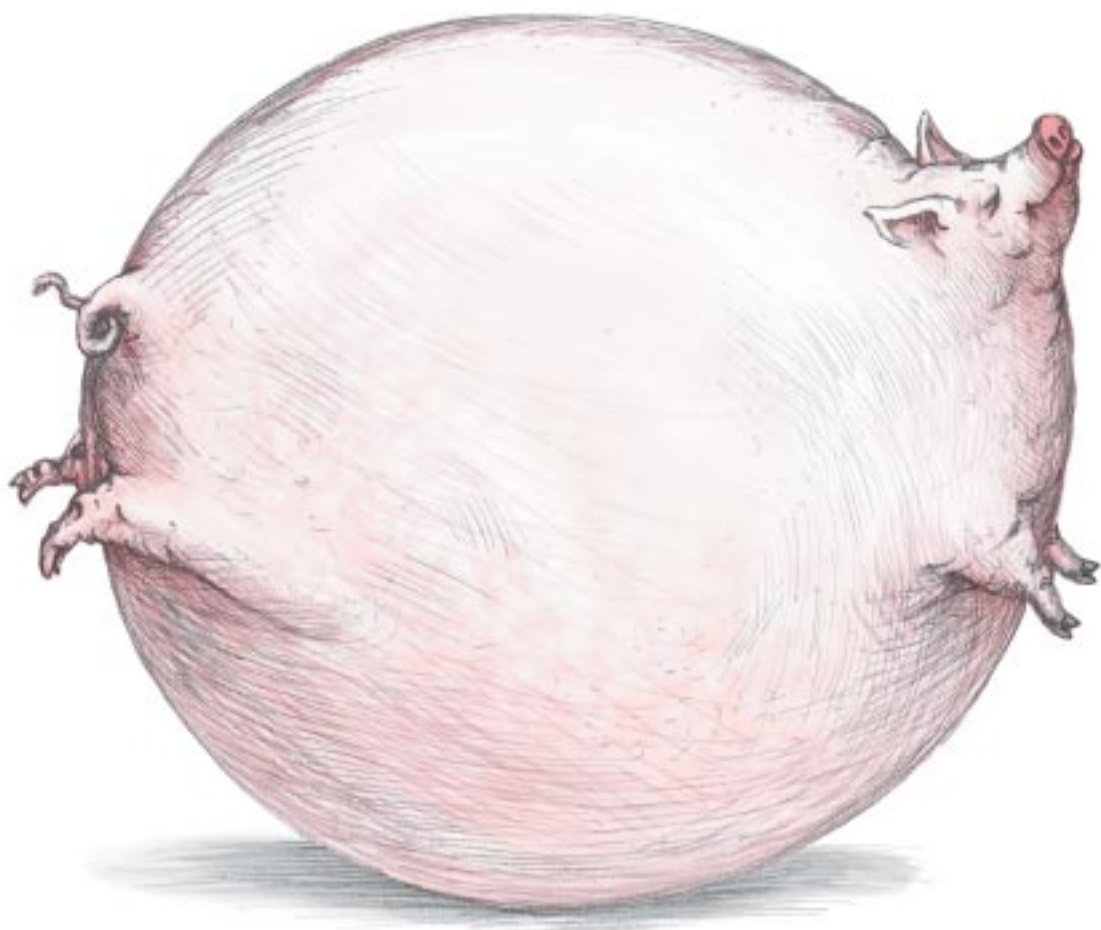




Ж

1
2007
ЖИЗНЬ И ВРЕМЯ







Химия и жизнь
Ежемесячный
научно-популярный
журнал

1
2007

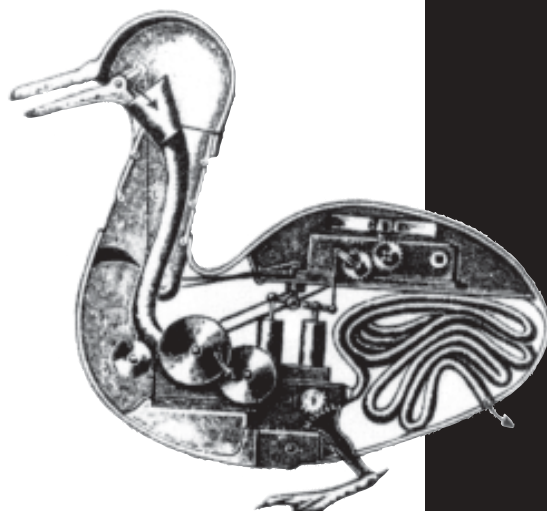
*Ну, начнем.
Дойдя до конца,
мы будем знать
больше.*

Г.Х.Андерсен



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина

НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ — картина
Хендрика Оверкапа «Зимнее веселье». В XVII веке
замерзшие каналы радовали взрослых и детей.
А вот нынешнее население Европы все больше использует
лед как строительный материал. Об этом читайте
в статье Ю.П.Супруненко «Ледовая инженерия».





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

НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:

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

Редакторы и обозреватели

Б.А.Альтшулер,
В.С.Артамонова,
Л.А.Ашкинази,
В.В.Благутина,
Ю.И.Зварич,
С.М.Комаров,
О.В.Рындина

Технические рисунки

Р.Г.Бикмухаметова

Производство Т.М.Макарова

Агентство ИнформНаука

О.О.Максименко,
Н.В.Маркина,
О.Б.Баблицкая-Каменева
textmaster@informnauka.ru

Подписано в печать 28.12.2006

Адрес редакции:

105005 Москва, Лефортовский пер., 8

Телефон для справок:

(495) 267-54-18,
e-mail: redaktor@hij.ru

Ищите нас в интернете по адресам:

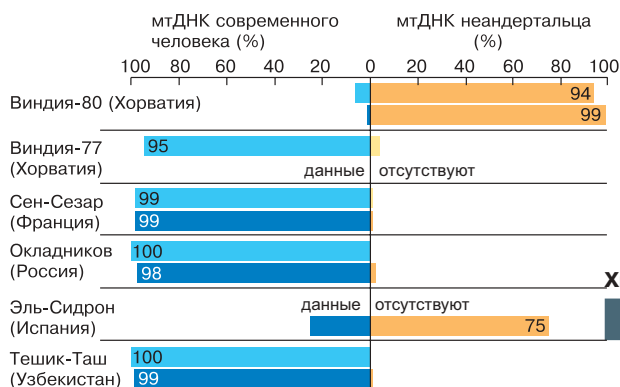
<http://www.hij.ru>;
<http://www.informnauka.ru>

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

На журнал можно подписаться
на сайтах:

<http://www.hij.ru>
<http://esmi.subscribe.ru>
<http://www.new-press.ru>

© АНО Центр «НаукаПресс»



Химия и жизнь

8

30

Проект «Геном неандертальца» начал свою работу.

Продолжаем нашу традиционную тему «Вода и лед». Что можно построить из льда, кроме избушки и дворца?



ИНФОРМАУКА

САПФИРОВЫЙ СУСТАВ	4
ФРУКТЫ ПОД ЗАЩИТОЙ	4
НАЙДЕН ГЕН РОСТА ВОЛОС	5

ТЕХНОЛОГИИ

С.М.Комаров	
ОЛОВЯННЫЙ ИСТОЧНИК ИЗ ИСАНА	6

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Е.Клещенко	
ГЕНЫ БРАТА	8

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

Ф.Д.Дайсон	
СДЕЛАЙТЕ МНЕ СЛОНОПОТАМА	12

ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

С.М.Комаров	
ЦИВИЛИЗАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ	18

КАРТИНА МИРА: ФИЗИКА

И.А.Сокальский	
ЗРИТЕЛИ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ НАСТОЯЩЕГО	22

ЦИКЛ ВОДЫ

И.В.Петрянов-Соколов	
САМОЕ НЕОБЫЧНОЕ ВЕЩЕСТВО В МИРЕ	26

ТЕХНОЛОГИИ

Ю.П.Супруненко	
ЛЕДОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ	30

ТЕХНОЛОГИИ

В.В.Благутина	
БИОРЕСУРСЫ	36

ИЗ ДАЛЬНИХ ПОЕЗДОК

В.М.Пищальник, Д.Я.Фащук	
САХАЛИНСКАЯ ЭПОПЕЯ	40



В номере 4, 58

ИНФОРМНАУКА

Про сапфировый сустав из Харькова, про то, как не позволить испортиться зимним яблокам, про ген, отвечающий за рост волос и облысение, и «ион Скулачева», замедляющий старение, а также про механическую руку менеджера и робота-уборщицу.

12

А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

Если в новом тысячелетии каждый желающий сможет моделировать живые существа по собственному вкусу, что из этого выйдет? Как полагает американский физик и футуролог Фримен Дайсон, из этого выйдет новый этап эволюции — впрочем, подобный тому, что уже имел место в истории жизни на Земле...

18

ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

Монокристаллы — это не только сокровища Алмазного фонда и фианиты в дамских сережках. Мы окружены монокристаллами, они работают в наших мобильных телефонах, часах и компьютерах. Они нужны врачам и ядерным физикам, энергетикам и разработчикам безвредного двигателя внутреннего сгорания... Кто и как делает эти драгоценности нового тысячелетия?

36

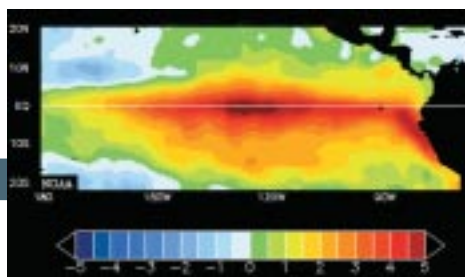
ТЕХНОЛОГИИ

Шелуха и очистки, щепы и опилки, бытовой мусор, осадки сточных вод — этот список ценнейших биоресурсов можно продолжать и дальше. Тот, кто незнаком с расчетами специалистов, вряд ли догадается, сколько пользы можно извлечь из так называемых отходов.

52

РАССЛЕДОВАНИЕ

В 50-е годы возникла идея применить антиоксиданты ионол и пропилгаллат для лечения рака и лучевой болезни. К сожалению, первые блестящие результаты так и не получилось воспроизвести... что, однако, не помешало зарождению мифа.



Вот как выглядит «изнутри» Эль-Ниньо — возможный виновник теплой зимы.



62



48

Изотопы полония: никакой политики, только физика и химия.

40

Это не катастрофа: фундамент для буровой платформы затапливают специально.

ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

И.А.Леенсон

ПОЛОНИЙ: ЧТО НОВОГО? 48

РАССЛЕДОВАНИЕ

С.П.Ярмоненко

«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ» МИФЫ, ИЛИ АЛХИМИЯ XXI ВЕКА 52

РАССЛЕДОВАНИЕ

И.И.Гольдфаин

ЛЕГЕНДАРНАЯ РАБОТА А.Н.КОЛМОГорова 57

ИНФОРМНАУКА

ПРЕПАРАТ ПРОТИВ СТАРОСТИ ВОЗВРАЩАЕТ ЗРЕНИЕ 58

РУКА МЕНЕДЖЕРА И РОБОТ-УБОРЩИЦА 58

СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ ЛЕЧАТ ИНФАРКТ 59

КНИГИ

С.Алексеев

НАШ КОСМОС 60

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

В.Д.Пудов

РОЖДЕСТВЕНСКИЕ ИГРЫ ТЕЧЕНИЙ И ВЕТРОВ 62

ФАНТАСТИКА

Владислав Выставной

ПИРАТСКИЙ ЭКЗАМЕН 66

КСТАТИ О КОСМОСЕ

П.Данилов

КОСМОС — ЭТО МЕЧТА 72

ИНФОРМАЦИЯ 34, 35, 61, 69

В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ 16

РАЗНЫЕ РАЗНОСТИ 46

КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ 70

ПИШУТ, ЧТО... 70

ПЕРЕПИСКА 72



МЕДИЦИНА

Сапфировый сустав

В Институте патологии позвоночника и суставов АМН Украины (Харьков) впервые в мире сделали операцию, во время которой тазобедренный сустав, пораженный артритом, заменили эндопротезом из сапфира (filippenko@valor.ua).

Монокристалл сапфира в качестве рабочего материала для создания эндопротеза очень хорош. Он инертен, биосовместим с живыми тканями и не ухудшает иммунный статус организма. Хорошо отполированные сапфировые поверхности не срастаются с костными структурами, на них не оседают органические молекулы. По коэффициенту трения и коэффициенту износа сапфировый сустав приближается к натуральному.

Все эти соображения и послужили основанием для сотрудничества специалистов Института патологии позвоночника и суставов им. профессора М.И.Ситенко АМН Украины, НТК «Институт монокристаллов» НАНУ и Института сверхтвердых материалов НАНУ. Исследования выполнялись в рамках Государственной научно-технической программы, а также поддерживались проектом УНТЦ. В результате совместной работы удалось создать пару трения из чистого сапфира — головку и соответствующую ей вертлужную впадину.

Заменять вышедшие из строя суставы на искусственные пытались еще в конце XIX столетия. Однако более или менее надежные протезы начали появляться лишь в 50-х годах прошлого века. К.М.Сиваш впервые в СССР создал «протез Сиваша», который до сих пор применяют в клиниках. За рубежом таким пионером был профессор Джон Чарнли, он первым использовал протезы с так называемой цементной фиксацией.

Но со временем стало ясно, что у этих вполне жизнеспособных конструкций есть слабое звено — износ пары трения. Металлическая головка искусственного сустава при работе трется об охватывающую ее вертлужную впадину, которую делают из полиэтилена. В результате мелкие частички этих материалов накапливаются в тканях вокруг эндопротеза. Сустав начинает хуже работать, пациент

испытывает боль, и приходится делать повторную операцию. И хотя пара трения «металл–полиэтилен» и сейчас считается «золотым стандартом» для протезирования, этот недостаток вынуждает ученых искать материалам замену.

Вариант «металл–металл» тоже не очень хорош. Износ есть, а нагрузка амортизируется плохо. У пары «керамика–керамика» трение приближается к нулю, но сустав хрупкий и может ломаться. К тому же сделать идеальную сферическую суставную поверхность из керамики сложно. Вот почему внимание харьковских медиков и физиков привлек сапфир.

Харьковчане стали пионерами в этой области ортопедии не случайно. В Харькове находится единственный на Украине и один из немногих в мире институтов, где умеют выращивать искусственные сапфиры больших размеров. Специалисты НТК «Институт монокристаллов» владеют технологиями, которые позволяют обрабатывать сапфировые заготовки до получения идеальной сферы. Подобные технологии есть также в США и Японии, однако сапфир там значительно дороже. Поэтому использование монокристаллов в ортопедии было признано в этих странах неперспективным. На Украине же сапфир получается недорогим — стоимость сапфировой головки по цене приближается к стоимости такой же из металла.

Операция по замене тазобедренного сустава длилась почти три часа, и пациентка уже на второй день смогла встать на ноги. Правда, пока только с помощью костылей — лишь через три месяца врачи разрешат ей нагружать ногу полностью и даже бегать. Сапфировый протез должен безукоризненно работать 20 лет, говорят специалисты. Причем сама сапфировая пара, по сути, вечная. Но пока еще не создано ни одной медицинской конструкции, которая исправно служила бы человеку всю его жизнь. Так и здесь — в организме идут различные биологические и биохимические процессы, которые приводят, например, к старению цементной мантии, окружающей ножку протеза.

Для первой пациентки сапфировый протез был сделан индивидуально. Но в большинстве случаев медики будут использовать стандартные монокристаллические протезы разных моделей и размеров. Индивидуальные изделия будут

изготавливаться на опытном производстве института только по медицинским показаниям, например после удаления опухолей, которые разрушают костную ткань у каждого пациента по-своему.

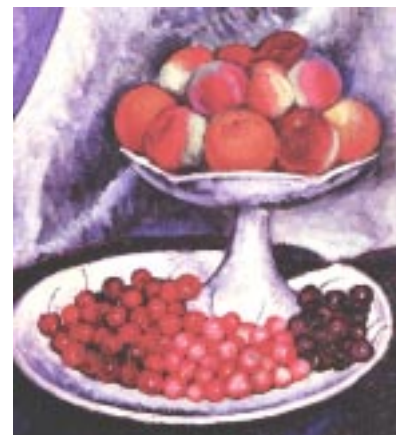
Зачастую болезнь поражает несколько суставов, и пациенту могут понадобиться сразу два и больше протезов. В ортопедии известен случай, правда он единственный в своем роде, когда у пациентки, страдающей полиартритом, ортопеды поочередно заменили два тазобедренных, два коленных, два локтевых сустава, а также четыре в пальцах и луже запястный.

Стоит добавить, что в развитых странах Запада поводом для протезирования может быть даже небольшая ограниченность в движениях или легкий дискомфорт, а не болезненные ощущения или сильная хромота. Поэтому половине прооперированных пациентов в Европе и США нет еще и 50 лет, и многие ведут активный образ жизни — плавают, бегают или играют в теннис. Это достаточно распространенная операция: в год их делают более миллиона, половину из них — в США.

ТЕХНОЛОГИИ

Фрукты под защитой

Новую технологию хранения плодов и овощей разработали московские ученые из РХТУ им. Д.И. Менделеева вместе с коллегами из Института садоводства РАСХН (Мичуринск). Она продлевает жизнь помидорам, сливам, абрикосам и другим плодам, уменьшая их потери при транспортировке и хранении. Поддержал ученых Фонд содействия развитию малых пред-





приятий в научно-технической сфере (shvets@muctr.edu.ru).

«Еще в 1912 году известный русский ученый Дмитрий Николаевич Нелюбов открыл так называемый гормон созревания — этилен, запускающий процессы созревания в растениях и выделяющийся при этом, — рассказывает один из авторов работы, доктор химических наук Валерий Швец. — Кстати, на этом принципе работают сенсоры, автоматически определяющие степень созревания фруктов. Датчики в хранилищах измеряют содержание этилена в воздухе, и таким образом можно с высокой точностью оценить, пора ли продавать зимние сорта яблок или им надо еще полежать».

Много позже оказалось, что есть и ингибиторы процессов созревания. В том числе так называемый 1-метилциклопропен, вещество, которое, замещая этилен на некоторых стадиях созревания овощей, фруктов или цветов, тормозит его. Однако простого знания механизма действия 1-метилциклопропена оказалось недостаточно. Надо было выяснить, сколько вещества нужно, чтобы и фрукты сохранить, и не отравиться, — все-таки это биологически активное соединение. А во-вторых, 1-метилциклопропен — газ, его трудно сохранить и применять — он легко полимеризуется.

С первой задачей справились ученые из Мичуринска под руководством директора института академика В.А.Гудковского. Они определили, что концентрация, эффективно предохраняющая плоды от преждевременного созревания, ничтожно мала. Достаточно добавить в атмосферу герметичной камеры меньше одной миллионной доли этого газа и продержат там плоды в течение суток. Выявили они и сроки, когда следует снимать плоды и обрабатывать их этим препаратом, чтобы фрукты и овощи и хранились хорошо, и были бы такими же вкусными, как те, которым дали дозреть на ветке.

Решить вторую задачу — хранение самого 1-метилциклопропена — удалось химикам из РХТУ. Они придумали весьма остроумный метод. Не раскрывая ноухау, можно лишь сказать, что они предложили использовать особые сорбенты, растворимые в воде. В твердом состоянии они поглощают газ, который в порах сорбента может храниться почти сколько угодно долго. А в воде они растворяются и выделяют тот самый ингибитор, который потом в течение нескольких месяцев тормозит перезревание, а следовательно, и порчу овощей и фруктов.

Хотя ученые еще не закончили исследовательские работы, первые результа-

ты в промышленных условиях уже получены. Оказалось, что препарат безвреден и для человека, и для окружающей среды (в используемых концентрациях, разумеется) и прекрасно работает, позволяя дольше сохранить не только яблоки, но и такие нежные фрукты, как абрикосы, персики и сливы.

ГЕНЕТИКА

Найден ген роста волос

Немалая часть человечества, главным образом мужчин, обеспокоена ростом своих волос и готова на любые расходы, чтобы избежать облысения. Но чтобы создать средство от этой напасти, надо прежде всего докопаться до ее причин. Найти ген, влияющий на рост волос, удалось группе российских и американских молекулярных генетиков из лабораторий Научного центра психического здоровья РАМН и Массачусетского университета под руководством доктора биологических наук, профессора Е.И.Рогаева (Evgeny.Rogaev@umassmed.edu).

В ноябрьском номере журнала «Science» опубликована их статья в соавторстве с группой Е.К.Гинтера, Р.А.Зинченко и других. Найденный учеными ген кодирует фермент фосфолипазу, который присутствует в волосных фолликулах. Короткие липиды — продукт деятельности этой фосфолипазы, вероятно, служат биорегуляторами роста волос. Так что это открытие указывает фармацевтам перспективный путь для создания эффективных стимуляторов восстановления шевелюры.

Заняться поиском гена, ответственного за рост волос, Е.И.Рогаева натолкнуло сотрудничество с Е.К.Гинтером из Центра медицинской генетики РАМН, который много лет занимается изучением разнообразных наследственных заболеваний в популяциях народов нашей страны. Исследователи обратили внимание на частоту встречающегося в марийской и чувашских популяциях заболевание под названием гипотрихоз — нарушение роста волос на голове и на теле, которым страдают и мужчины, и женщины. Проанализировав наследственные заболевания у более чем 350 тысяч человек, ученые выявили 50 семей, в которых наблюдался гипотрихоз. Лимфоциты крови больных и их родственников использовали для генетического анализа.

«Мы владеем методикой «охоты за генами», — рассказывает Е.И.Рогаев. — Эта



методика — позиционное клонирование генов наследственных заболеваний. Она объединяет средства классической генетики и молекулярной генетики. Задача состоит в том, чтобы найти мутацию в каком-либо гене, которая связана с болезнью. Сначала проводится анализ генетического сцепления в семьях, постепенно сужается область поиска, и, наконец, в этой области «выуживается» ген, в котором произошла мутация. Таким же образом мы ранее нашли ген, связанный с болезнью Альцгеймера».

Поиск с использованием разнообразных ДНК-маркеров привел исследователей к участку длиной 350 тысяч нуклеотидов, в котором расположены всего четыре гена. В трех из них не было никаких мутаций, а в четвертом произошла делеция — выпал целый кодирующий фрагмент. Именно тогда, когда эта мутация затрагивала обе копии гена, то есть находилась в гомозиготном состоянии, и наблюдалась болезнь.

Итак, охота на ген завершилась успешно. Ген фосфолипазы, в котором обнаружена зловередная мутация, найден. Теперь исследователям надо было выяснить, какое отношение этот ген и этот фермент имеют к росту волос. Они показали, что ген фосфолипазы экспрессируется в волосных фолликулах. Уже тепло! Дальше оказалось, что этот фермент работает в той части фолликула, где находятся стволовые клетки (а именно благодаря им наши волосы растут всю жизнь). Фосфолипаза волосных фолликулов расщепляет липидные молекулы на мелкие липиды, которые, возможно, влияют на деление и миграцию стволовых клеток, а тем самым и на рост волос.

Так поиск гена привел к раскрытию механизма одного из физиологических процессов организма. А для создателей фармакологических препаратов появилась замечательная идея — использовать те самые короткие биоактивные липиды для стимуляции роста волос.





Так выглядит сделанный в ИСАНе прототип источника излучения для нанометровой литографии

Оловянный источник из ИСАНа

Две струи расплавленного олова, между которыми время от времени загорается разряд, испускающий мягкие рентгеновские лучи, — возможно, таким будет источник света для нанолитографии, то есть производства микросхем, ширина линий на которых измеряется нанометрами. Этот источник разработан учеными из трюицкого Института спектроскопии РАН.

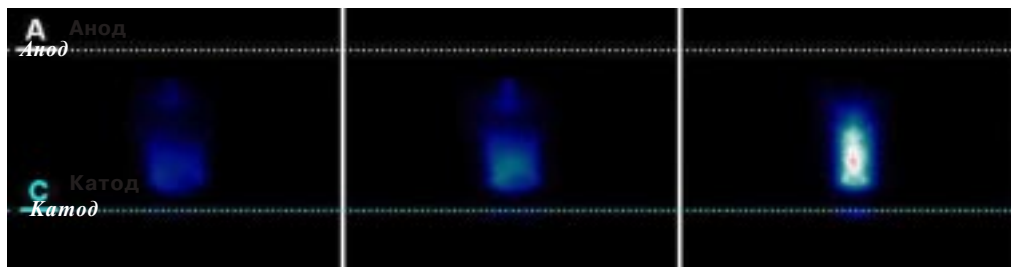
Ныне процессоры делают по так называемой 90- и 65-нанометровой технологиям, то есть с шириной линий 90 и 65 нм. Причем в этом году уже более половины процессоров компании «Intel» были изготовлены по технологии 65 нм, а ближайший конкурент — компания

«AMD» внедрит эту технологию к лету 2007 года. Впрочем, инженеры «Интела» к тому времени собираются уже перейти на технологию 45 нм, а к 2009-му — и вовсе на 32 нм.

Уменьшение размеров элемента микросхемы требует существенных изменений во всем оборудовании: нужны еще более точные механизмы, еще более чистые комнаты и прочее. Однако самое главное — источник света. Он должен быть, во-первых, мощным, а во-вторых, длина волны его излучения никак не может превышать толщину линий на микросхеме больше чем в два раза. Иначе из-за дифракции никакой

фотолитографии в принципе не получится. А этот метод — засветка эмульсии-фоторезиста светом, отраженным от маски с наносимым узором, и последующее удаление засвеченных участков, был и остается единственным методом массового изготовления микросхем. Конечно, нанотехнологи уже умеют с помощью своих зондовых микроскопов рисовать отдельные линии нанометровой толщины, но изготовители

Излучение, развернутое во времени. Изображение получено в узком спектральном диапазоне вблизи 13,5 нм. Цветовая шкала иллюстрирует спектральную яркость излучения



процессоров пока не рискуют отказаться от хорошо отлаженного метода и перейти на некое подобие гравировки микросхем вручную.

Так вот, если 65 нм — это ультрафиолетовый свет, то 32 нм и тем более 22 нм — уже мягкий рентген. Ультрафиолет еще можно сфокусировать привычными линзами, а вот рентгеновским лучом управляют с помощью так называемых брэгговских многослойных зеркал. Пик отражения таких зеркал приходится на 13,5 нм. Значит, нужен источник, который дает излучение с такой длиной волны. И до недавнего времени в мире не было источника мягкого рентгена с достаточно мощным для быстрой засветки фоторезиста лучом. В принципе большая выдержка отнюдь не препятствует изготовлению микросхем, но это будет технология штучных изделий, непригодная для массового производства. Вот ученые во всем мире и бьются над тем, чтобы сделать достаточно мощный источник рентгеновского света с длиной волны 13,5 нм.

«По инициативе мирового лидера в производстве литографических машин, голландской компании «ASMLithography» нас пригласили в европейский проект «MoreMoore» (смысл названия «больше, чем требует Мур», — тот самый Гордон Мур, один из основателей компании «Интел», эмпирический закон которого предсказывает удвоения плотности транзисторов каждые два года). «Этот консорциум специально создан для разработки технологии «32 нм», — рассказывает заведующий лабораторией спектроскопии плазмы К.Н.Кошелев из Института спектроскопии РАН. — Его деятельность финансирует Еврокомиссия с помощью Шестой рамочной программы. В состав консорциума помимо научных институтов входят и крупные компании. Каждый участник отвечает за свою часть работы. Например, изготовление источника света — задача, над которой работают сразу несколько компаний: итальянская, немецкая, французская, а из наиболее известных — голландский «Philips», который и реализует одну из схем, разработанных нами совместно с «ASML». Для получения света столь короткой длины волны, они пробуют различные типы разрядов и даже схему, близкую к так называемому «лазерному термояду», когда плазму нагревают до полумилли-

она градусов лучом очень мощного лазера. Это перспективная технология, но пока слишком дорогая. Мы решили заняться плазмой электрических разрядов. После знакомства с техническим заданием возникла мысль, что выполнить его вряд ли возможно, однако спустя три года получили то, что требовалось. Но за это время представления тех инженеров, которые проектируют саму машину для изготовления микросхем, сильно изменились. Соответственно выросли и требования к параметрам источника. Мы думаем над тем, как их выполнить, и конструкция с жидкими электродами — одно из возможных решений. Пока же в прототипе литографической машины, на котором уже начинают отрабатывать технологию, стоит тот самый, филипповский, источник света, созданный при нашем участии».

Первый шаг, который сделали ученые из ИСАН, — предложили заменить рабочее вещество с первоначально предложенного ксенона на олово. Работать с оловом труднее, но эффективность преобразования энергии разряда в полезное излучение вблизи 13,5 нм значительно выше. В созданном источнике сначала лучом не очень мощного и потому дешевого лазера испаряют олово в пространстве между электродами. Затем через получившееся облачко газа пропускают мощный импульсный разряд с током в десятки килоампер. Получается горячая плазма, которая испускает импульс мягкого рентгена.

Главная проблема с созданием источника состоит в том, что он переводит в полезный свет всего 2—3% полной мощности, причем размер светящейся области равен одному кубическому миллиметру. И от этого миллиметрового пятнышка приходится отводить огромную энергию — 200 киловатт. Как это сделать? Поначалу была предложена схема, подобная револьверу: выстрел лазера, испарение олова, вспышка света, после чего сработавшая пара электродов уходит к охладителю и на ее место встает другая пара. А потом ученым из Троицка пришла в голову гораздо более изящная схема. Раз выделяется много тепла, которое грозит расплавить электроды, так почему бы сразу же не сделать их жидкими? Впервые, они смогут выдерживать гораздо более сильный нагрев, а во-вторых,

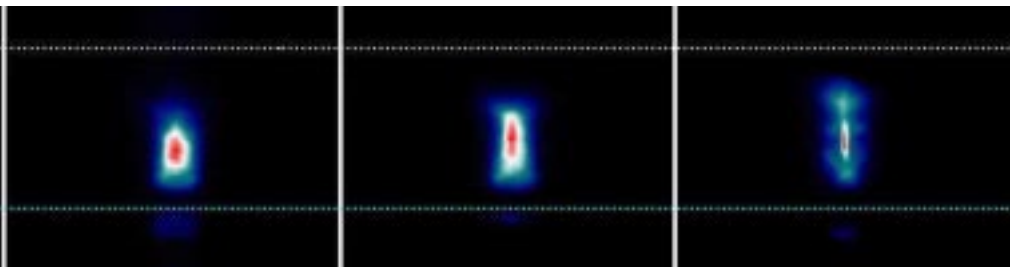


ТЕХНОЛОГИИ

стекая в ванну, жидкость будет уносить с собой излишнее тепло, выделяемое в разряде. Если же сделать электроды оловянными, то испарять олово можно будет, освещая лучом лазера один из них. Так появился источник, в котором постоянно текут две струйки олова, а между ними с частотой в несколько килогерц вспыхивает газовый разряд, дающий рентгеновское излучение. О том, как это происходит, можно судить по серии фотографий разряда. Каждый кадр снят в течение 10 наносекунд, время между началами кадров — также 10 наносекунд. Первые два кадра соответствуют нарастанию разрядного тока, сжатию и разогреву плазмы, третий кадр соответствует началу интенсивного излучения на длине волны 13,5 нм. Основная энергия излучается в четвертом и пятом кадрах, шестой кадр соответствует фазе вытекания горячей плазмы из области пинча в направлении к электродам и затухания источника. Полная мощность потерь электрической энергии в максимуме излучения (четвертый и пятый кадры) около 100 МВт.

«Прототип литографической машины, или, как его называют, альфа-тул, от английского tool — инструмент, использует предыдущий тип источника, револьверный, — говорит К.Н.Кошелев. — Если жидкие электроды позволят утроить мощность, а мы на это рассчитываем, то есть большие шансы, что их будут использовать в последней версии коммерческого продукта — гамма-тул, который ожидается после 2010 года. На прошедшей в конце октября 2006 года в Барселоне конференции «EUV Lithography» наши коллеги неплохо отнеслись к предложенной идее. Конечно, это пока журавль в небе, но очень симпатичный журавль. По крайней мере, наше сообщение отмечено во всех итоговых документах, а консорциум «MoreMoore» назвал это направление наиболее приоритетным в своей деятельности в области источников излучения».

Кандидат
физико-математических наук
С.М.Комаров



Гены брата



Вероятно, многим читателям «Химии и жизни» знаком роман Уильяма Голдинга «Наследники» (1959). Будущий лауреат Нобелевской премии изобразил контакт двух племен, кроманьонского и неандертальского — «новых людей» и «лесных дьяволов», как они называют друг друга. Для неандертальцев эта история кончается плохо, но их детеныша забирает себе женщина из «новых людей», потерявшая своего ребенка.

Неандертальцы Голдинга — скорее поэтический образ «иных разумных», чем научная реконструкция: они у него эмпаты и телепаты, а внешне больше похожи на крупных шимпанзе, чем на реального *Homo neanderthalensis*. Но первые проявления логики, юмора, нежности у этих существ, обреченных на гибель от рук «наследников», воссозданы весьма убедительно. Знаменитый английский писатель точно сформулировал главные вопросы палеоантропологии: в чем отличие человека от животных и какими были отношения между нами и другими видами рода человеческого?

Верно ли описал Голдинг особенности психики неандертальцев, мы, возможно, не выясним и в XXI веке (хотя как знать...). А вот насколько тесной была связь между нашими видами — к ответу на этот вопрос мы подошли вплотную.

Кузен или предок?

Неандертальцев впервые определили как особую группу гоминидов 150 лет назад, в 1856 году, после того как нашли останки нескольких особей в долине Неандер (Neander Thal по-немецки), неподалеку от Дюссельдорфа. Забавно, что долина получила свое название в честь богослова и поэта Иохима Нойманна, который взял себе греческий псевдоним Неандер — «новый человек».

Позднее подобные находки в Европе и Западной Азии показали, что неандерталец как вид появился около 400 000 лет назад и исчез около 30 000 лет назад. Типичные неандертальцы резко отличались от современного человека, кроманьонца. Характерные особенности их облика — массивный скелет, выступающая средняя часть лица, мощные надбровные дуги, скошенный подбородок — хорошо известны даже неспециалистам благодаря художественным и литературным реконструкциям. Неандертальцы умели обращаться с огнем, верили в загробную жизнь — во всяком случае, хороня своих мертвецов, снабжали их запасом пищи, а также изготавливали музыкальные инструменты и украшения. Правда, моду на украшения, как полагают ученые, они переняли у *Homo sapiens*.

До сих пор нет прямых доказательств, что кроманьонцы встречались с неандертальцами, но, бесспорно, их ареалы перекрывались во времени и пространстве. Наши прямые предки начали расселяться из Африки в Европу 40 000—50 000 лет назад и, очевидно, вытеснили неандертальцев — с применением силы либо просто отобрав пищевые ресурсы. Впрочем, с этим мнением согласны не все. Одни предполагают, что второй вид *Homo* не выдержал резкого потепления в конце ледникового периода, другие — что он не вымер в точном смысле слова, а был ассимилирован человеком разумным.

Эта версия привлекает многих. Палеоантропологи тщательно изучают останки, относящиеся к самому позднему времени существования неандертальцев, и порой находят экземпляры, похожие на межвидовые гибриды. Такие данные легко оспорить: где доказательства, что перед нами не хруп-

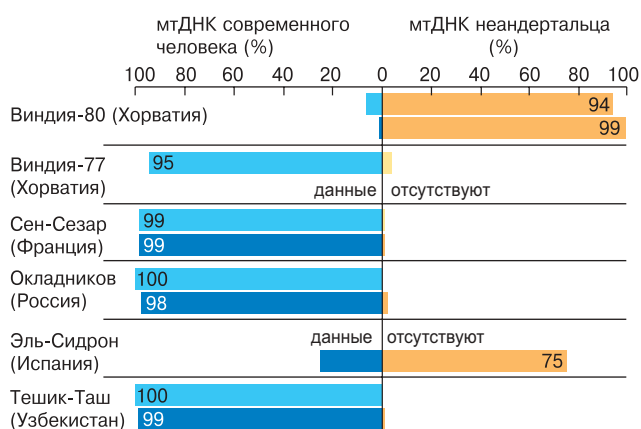


кий неандерталец или аномально здоровенный носатый кроманьонец, мало ли как проявляет себя внутривидовая изменчивость... Но профессионалы и любители продолжают сочинять гипотезы, искать у современных людей черты неандертальцев или доказывать, что рыжий цвет волос и конопатость некоторые сапиенсы унаследовали именно от них. Последняя гипотеза — вовсе не шуточная: если неандертальцы раньше нас переселились в холодную Европу, то и посветлеть они должны были раньше, чтобы лучше усваивать ультрафиолет. Вот только неизвестно, вправду ли они были рыжими.

Так все же: правы ли те, кто считает их нашими предками, или между нами никогда не было ничего, кроме безразличия, переходящего в агрессию, как и положено конкурирующим видам? Слово предоставили генетикам.

Папа или мама?

В 1997 году был секвенирован участок митохондриальной ДНК (мтДНК) из образца, найденного в долине Неандер. (Напомним читателю: митохондриальная ДНК замечательна тем, что передается потомству только по материнской линии, отцовская мтДНК не наследуется.) Затем сразу несколько научных коллективов исследовали мтДНК из 11 фрагментов костей неандертальцев, обитавших в разных европейских странах (среди них был и образец из России, из пещеры Мезмайская на Северном Кавказе). Выяснилось, что обмен мтДНК между современным человеком и неандертальцем едва ли имел место: так много различий могло накопиться только при независимой эволюции двух видов в течение полумиллиона лет.



1
Нелегко было найти образцы ДНК неандертальца, свободные от загрязнения. Например, митохондриальная ДНК, полученная из французского, российского и узбекского образцов, почти на 100% состояла из современных примесей (слева названия местонахождений). Светлые столбики — содержание 119-нуклеотидного фрагмента в каждом образце, темные — 63-нуклеотидного (по материалам "Nature", т. 444, 16 ноября 2006 года)

Значит ли это, что неандерталец не был нашим предком? По материнской линии — не был. Согласно различным популяционным моделям, вклад неандертальцев в геном современного человека составляет от 25% (четверть!) до 0,1% генов. Последний результат был получен с мтДНК, — впрочем, он может и не отражать истинной картины, хотя бы из-за предполагаемой неравномерности вклада в наш геном неандертальцев и неандерталок. Не в обиду предкам и родичам будь сказано, легче представить кроманьонскую женщину с неандертальским мужчиной, чем неандерталку с кроманьонцем. (Впрочем, на самом-то деле и нашим мужчинам не был свойствен видовой шовинизм, но об этом позже.)

Неандерталец — самый близкий к нам вид, поэтому его геном может стать бесценным источником «примечаний» к нашему собственному. До сих пор мы не знали более близких родичей, чем шимпанзе (от которых нас отличают примерно 35 миллионов нуклеотидов из трех миллиардов). В ближайшем будущем данные по геномам других обезьян, таких, как орангутанги и макаки, помогут вычислить, что отличает нас и шимпанзе от прочих приматов. А сравнение с геномом неандертальца, вероятно, позволит идентифицировать генетические изменения, происходившие в последние сто тысяч лет, — те самые, которые сформировали облик и поведение *Homo sapiens*.

Как не перепутать нас с ними

Летом 2006 года стартовал проект, задачей которого было исследовать геном неандертальца — не только мтДНК, но и ядерный геном. Среди авторов статьи в ноябрьском номере «Nature», где рассказывалось о первых результатах, были сотрудники Института эволюционной антропологии Макса Планка в Лейпциге, в частности Сванте Пээбо, тот самый, кто отсеквенировал мтДНК из Неандертала. Именно он — инициатор проекта «Геном неандертальца». Автору этой статьи рассказали об идеях Пээбо в Гейдельберге, на школе для научных журналистов, организованной все тем же обществом Макса Планка (см. «Химию и жизнь», 2006, № 9). Наверное, никто из слушателей не думал тогда, что результаты появятся так скоро...

За техническую часть отвечал другой коллектив, тоже знакомый нашим читателям. Неандертальскую ДНК читали в «454 Life Science Corp.» (Коннектикут, США) тем самым методом 454-секвенирования, или пиросеквенирования, о котором «Химия и жизнь» писала ровно год назад (2006, № 1). Метод замечателен тем, что по простоте и эффективности многократно превосходит ранее известные: с его помощью можно читать единичные молекулы ДНК практически без подготовки. Разработчики метода, Майкл Эгхольм и Джонатан Ротберг, также есть среди авторов статьи в «Nature».

Выделить ДНК из окаменелостей, чей возраст исчисляется десятками тысяч лет, возможно, но нелегко. Помимо естественной деградации биомолекул есть и другая серьезная проблема — образцы часто бывают загрязнены современной органикой. А если учесть, что ДНК неандертальцев очень похожа на нашу, первой и главной задачей было ответить на вопрос: чью ДНК читаем?

Более 70 костей и зубов неандертальцев протестировали на сохранность биомолекул: выделили из них и исследовали аминокислоты. Высокий уровень рацемизации аминокислот означал, что пригодной ДНК в таком образце, скорее всего, не найдется. В итоге отобрали шесть самых многообещающих образцов, по 100—200 мг от каждого, и стали проверять, современная в них ДНК или неандертальская. Для этого провели полимеразные цепные реакции двух коротких фрагментов мтДНК (63 и 119 нуклеотидов), которые заведомо различаются у современных людей и неандерталь-

цев: сделали много копий этих участков, а потом отсекали их. В числе прочих были исследованы образцы из пещеры Тешик-Таш в Узбекистане и пещеры Окладникова на Алтае. Кстати, авторы работы не забыли поблагодарить за сотрудничество академика А.П.Деревянко, директора Института археологии и этнографии СО РАН. И российский, и таджикский образцы подавали надежды, но, к сожалению, они не оправдались (рис. 1).

Самым многообещающим оказался образец, который был найден в 1980 году в пещере Виндия (Хорватия). Возраст его, установленный с помощью радиоуглеродного анализа, составил $38\,310 \pm 2\,130$ лет до наших дней. В этом образце почти не было примесей современной мтДНК, а вот неандертальской содержалось достаточно много. Логично было предположить, что так же обстоит дело и с ядерной ДНК. Этот образец и использовали в дальнейшей работе.

Не мать он нам

Напомним, в чем состоит сущность метода 454-секвенирования. Множество одностранных фрагментов ДНК амплифицируют, то есть многократно копируют в каплях эмульсии и затем секвенируют в ячейках сот. Каждый очередной нуклеотид заявляет о себе вспышкой флуоресценции, которую фиксирует компьютер; таким методом можно прочитать 25 миллионов «букв» ДНК за четыре часа.

Преимущества метода понятны. Во-первых, ДНК не пришлось клонировать в бактериях, а при этом большая часть материала потерялась бы. Во-вторых, когда кусочки ДНК копируются по отдельности, каждый в своей капле, все копируется одинаково хорошо: нет конкуренции между матрицами. В-третьих, длина каждого читаемого по этой методике кусочка ДНК, 100—200 нуклеотидов, превышает среднюю длину фрагментов, сохраняющихся в ископаемых останках. В-четвертых, сама возможность секвенировать одновременно сотни тысяч нитей ДНК очень важна: ведь многие из них занесены в образец другими организмами, скажем почвенными бактериями.

Таким способом были прочитаны более 250 000 фрагментов ДНК из кости неандертальца. Разумеется, далеко не все из них принадлежали неандертальцу. Определить хозяина не удалось для 79% фрагментов, а большую часть остальных занесли в останки существа вроде актиномицетов. Всего 6,2% (15 701 фрагмент) были опознаны как участки геномов приматов. Но и это был успех.

Исследователей в первую очередь заинтересовала мтДНК. Ее сравнение с ДНК 311 современных людей из разных стран подтвердило ранее полученные данные: неандертальской мтДНК у нас опять не обнаружилось. (Как говорил по этому поводу известный российский генетик Н.К.Янковский, «не мать он нам».) Отличий у неандертальцев оказалось даже слишком много, как будто они прошли более длинный эво-

люционный путь, чем мы, — очевидно, из-за ошибок при секвенировании. Чтобы разобраться с этим, авторы работы откопировали участки ДНК, внутри которых у неандертальца были замены по сравнению с «обобщенной» ДНК современного человека. Эти участки клонировали и секвенировали еще раз, причем 14 отличий из 34 пришлось убрать. После этого рассчитанный эволюционный путь неандертальца сравнили с известными данными, а значит, метод коррекции оказался эффективным. Ничего не поделаешь: когда читаешь плохо сохранившийся текст в единственном экземпляре, всегда есть риск, что какая-то буква прочитается неправильно! В двух третях оставшихся точек неандертальская ДНК отличалась от человеческой, но совпадала с ДНК шимпанзе — похоже, эти-то отличия были настоящими.

По результатам исследования мтДНК время расхождения видов *H.sapiens* и *H.neanderthalensis* было оценено в 461—825 тыс. лет.

Дерево, с которого мы слезли

Все остальные фрагменты ДНК неандертальца показали гомологию с ядерными генами человека. Примерно для 0,04% нашего генома нашлось соответствие с геномом неандертальца — для начала недурно! Прочитано было более 1 млн. нуклеотидов из всех хромосом, в том числе половых — X и Y. (Отсюда ясно, что хорватский неандерталец был мужчиной.) А теперь несколько слов о том, как из букв ДНК извлекают сведения о путях эволюции.

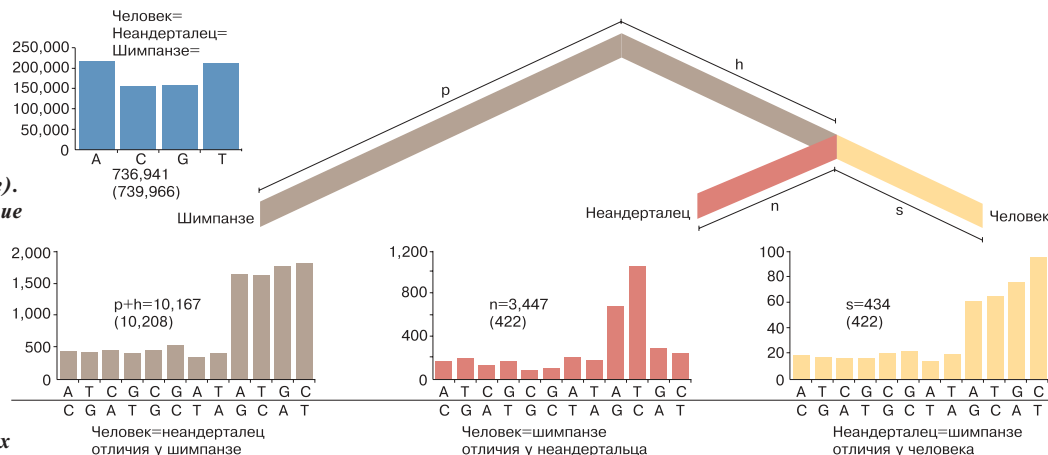
Фрагменты ДНК неандертальца сравнили с соответствующими участками в геномах современного человека и шимпанзе — это называется «трехмерный элаймент». Каждый нуклеотид отнесли к одной из пяти групп:

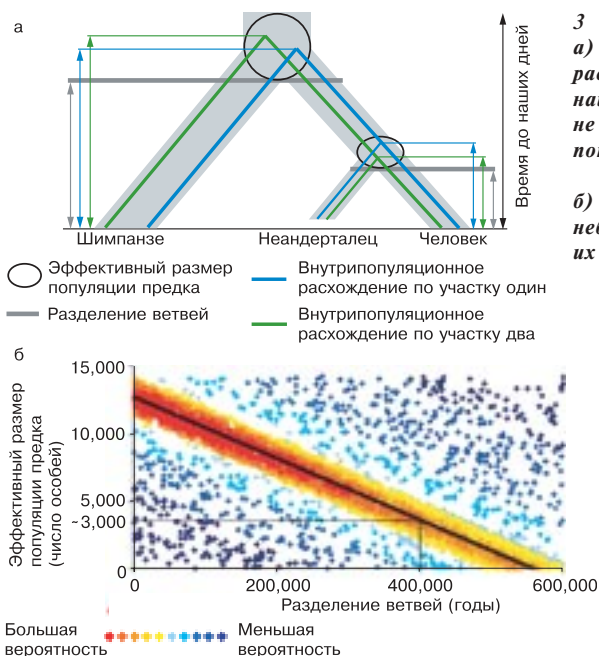
- совпадает у всех трех видов (736 941 нуклеотид);
- совпадает у человека и неандертальца, отличается у шимпанзе (10 167);
- совпадает у человека и шимпанзе, отличается у неандертальца (3 447);
- совпадает у неандертальца и шимпанзе, отличается у человека (434);
- различается у всех трех видов (51).

Итак, нам известны число замен, которые произошли после того, как разошлись наши пути с шимпанзе — или у шимпанзе, или у общего предка неандертальцев и человека (p+h), число замен у человека (s) на его собственном эволюционном пути и такое же число для неандертальца (n). (Латинские буквы взяты от латинских названий групп: *Pan*, *Homo*, *H.sapiens*, *H.neanderthalensis*.) Считая, что темп мутаций постоянен, нетрудно вычислить длину эволюционных путей (рис. 2).

Сравнительно большое число отличий в ДНК неандертальца от человека и шимпанзе списали на повреждения и ошибки сиквенса: не мог неандерталец за отведенное ему время накопить столько мутаций! Поэтому в дальнейшем число от-

2
Родословное древо, построенное на основании первых данных о генах человека, неандертальца и шимпанзе (объяснения в тексте). Слева сверху показано соотношение четырех нуклеотидов на тех позициях, которые совпали у всех трех видов. Внизу, под «ветвями», — соотношение частот всех возможных нуклеотидных замен в каждой группе; примечательно сходство этих соотношений, типичное для близких видов млекопитающих





3

а) Результат сложного математического моделирования и компьютерных расчетов представлен в простейшей форме. Разные участки генома нашего общего с неандертальцем предка начали независимую эволюцию не одновременно, и отсюда можно делать выводы о размере предковой популяции

б) Современные люди и неандертальцы произошли от сравнительно небольшой группы приматов: наиболее вероятное их количество — около 3000, а могло быть и меньше



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

400 000 лет точным, то наших общих предков было всего три тысячи. Но точки вокруг прямой на рис. 3б показывают, что размер предковой группы с ненулевой вероятностью мог варьировать от 12 000 до самых малых величин.

Так или иначе, размер предковой популяции у гоминид стал небольшим еще до отделения неандертальца, то есть это не уникальное свойство современного человека. Авторы работы предположили, что такой маленький размер типичен для рода *Homo*, и в нашей истории не раз бывало, что вид возрождался из маленькой группы.

Наконец, последнее, но самое интригующее. Исследователи давно обратили внимание на так называемые SNP (single nucleotide polymorphisms) — однонуклеотидные позиции в геномной ДНК, где у разных людей могут стоять разные нуклеотиды. Именно SNP в первую очередь формируют наши индивидуальные различия, именно они зачастую определяют разницу между двумя аллельными генами, поэтому их давно изучают и картируют. На сегодня известны миллионы SNP, а мутируют они медленно, поэтому ими интересуются также эволюционисты. Теперь появилась возможность проверить, в каких из этих точек у неандертальцев остались нуклеотиды, идентичные шимпанзе, а в каких появились новые нуклеотиды (допустим, у общего предка человека и неандертальца). В 30% случаев аллели оказались новыми, и это число слишком велико, если нет неучтенных фактов. Но все станет понятно, если мы предположим, что имел место поток генов от современных людей к неандертальцам. Кстати, как заметил один из авторов работы, по X-хромосоме неандертальца уровень дивергенции выше, чем по неполовым хромосомам. А это может означать, что неандертальцы получали гены *Homo sapiens* от мужчин-кроманьонцев (не от женщин, иначе это опять-таки сказалось бы на мтДНК).

Чтобы утверждать это наверняка, нужно продолжать исследование, в частности не помешал бы полный сиквенс Y-хромосомы неандертальца. Но похоже, что не только неандертальские охотники подстерегали в европейских лесах хрупких женщин нашего вида — мужчины-кроманьонцы тоже гонялись за неандерталками не исключительно с научными целями. В обоих случаях дети оставались в племени матери, так что потока митохондриальных генов не наблюдалось. Но к остальным генам это, возможно, не относится.

Итак, теперь ясно, что проект «Геном неандертальца» — не фантастика. Уже сейчас можно прикинуть, сколько останков неандертальца потребуется для проекта. В работе, о которой шла речь, была использована примерно пятнадцатая часть экстракта из 100 мг костной ткани. Чтобы таким же образом прочитать весь геном (считая его равным 3 миллиардам нуклеотидов), потребуется примерно 20 г кости с достаточной сохранностью биомолекул. Впрочем, авторы методики 454-секвенирования обещают повысить ее эффективность еще в 10 раз. Может быть, мы ознакомимся с полной версией генома неандертальца уже через два года.

личий у него считали равным нашему, а для расчетов использовали только совпадения в ДНК неандертальца с ДНК шимпанзе и человека. Кроме того, важно было учесть, что ошибки сиквенса могли породить и ложные совпадения с ДНК человека или шимпанзе. После введения поправок с помощью математических методов все числа немного изменились (исправленные значения на рисунке указаны в скобках). В итоге, если мы примем, что наши пути с шимпанзе разошлись 6,5 миллиона лет назад, тогда с неандертальцем — 516 000 лет назад. Возьмем доверительный интервал 95% и получим 465 000—569 000 лет.

Снова о дружбе народов

Эффективным размером популяции генетики называют количество особей, которые передают свои гены следующим поколениям. Этот показатель отражает генетическое разнообразие, поэтому при наличии «волн жизни» эффективный размер считается исходя из минимального размера популяции. У современного человека эффективный размер популяции не превышает 10 000. (Это не значит, что первых людей на Земле было именно столько, это значит, что другие люди не оставили потомства, дожившего до эпохи генетики.) У шимпанзе, гориллы и орангутанга эти значения в два — четыре раза больше, а у общего предка людей и шимпанзе оно было ближе к обезьяньему, чем к человеческому. Исследования генома неандертальца дали возможность оценить эффективный размер популяции общего предка людей и неандертальцев.

Авторы работы использовали так называемый метод Уолла, который позволил рассчитать и эффективный размер предковой популяции, и время окончательного разделения наших видов (рис. 3а). Если коротко, суть метода в том, что для разных участков генома независимая эволюция началась в разное время по причине разной распространенности аллелей в популяции, и чем больше эти различия во времени, тем, очевидно, больше был размер популяции.

Исследователи также построили линию соответствия между размером популяции и временем расхождения двух видов: чем больше была предполагаемая популяция, тем позднее могли разойтись наши пути. Зная из независимых источников (например, палеонтологических), когда неандертальцы отделились от нас, мы можем сделать предположение о размере предковой популяции (рис. 3б). Если считать время



Сделайте мне слонопотама





Фримен Джон Дайсон (Freeman Dyson, р. 1923) — американский физик-теоретик, один из создателей квантовой электродинамики. Сегодня он почетный профессор Института исследований в Принстоне (Нью-Джерси). Мы публикуем сокращенный текст выступления Ф.Д.Дайсона на футурологическом симпозиуме в Беркли (Калифорния) в октябре 2005 года. Выдающийся физик и футуролог считает, что гениальная инженерия станет доступной даже детям и в результате сущность эволюции изменится совершенно неожиданным образом.

Двадцатый век по праву войдет в историю науки как век физики. Сейчас уже почти никто не сомневается в том, что XXI век будет веком биологии. Об этом говорит прежде всего то, что биология — явный лидер по объему финансирования исследований, а также по числу реализуемых работ и приложений. Можно с уверенностью предсказать, что это преимущество сохранится, и биология будет доминировать в новом столетии. Биология привлекает больше внимания, чем физика, и в плане возможных этических последствий новых открытий, и в плане их возможного влияния на экономику и благосостояние человечества.

Ускоренное развитие биологии заставляет ученых задуматься над очень непростой проблемой. Дело в том, что весь прошлый век человечество занималось «приручением» (биологи сказали бы «доместикацией») физических открытий. На этом пути оно добилось огромных успехов — назовем хотя бы персональные компьютеры, системы космической ориентации GPS и цифровые видеокамеры. Я думаю, что следующие 50 лет мы будем приручать и одомашнивать биотехнологии, подобно тому, как мы это сделали с вычислительными и электронными технологиями.

Я помню, как во время моей работы в Принстонском институте в 40—50-е годы Джон фон Нейман начинал проектировать первые электронные вычислительные машины, способные действовать в соответствии с заложенными в них инструкциями и командами. Фон Нейман в те годы создавал программное обеспечение, которое позднее обеспечило быстрое действие и гибкость компьютерам. Разумеется, ему и в голову не могло прийти, что когда-нибудь эти вычислительные устройства станут настолько компактными, дешевыми и распространенными, что обычная домохозяйка с их помощью станет подсчитывать домашние расходы или заполнять налоговые декларации. Компьютеры далекого будущего представлялись их автору гигантскими централизованными устройствами, обслуживающими очень крупные заводы или исследовательские организации. Существует даже легенда, что на вопрос кого-то из высших правительственных чинов, сколько потребуется таких машин для США в будущем, фон Нейман ответил: «Восемнадцать».

Мне кажется, есть глубокая аналогия между этой близостью гения и современным отношением общества к развитию гениальной инженерии, которую мы привычно связы-

ваем с деятельностью огромных фармацевтических и сельскохозяйственных корпораций вроде «Монсанто». Всеобщее недоверие к попыткам этих промышленных гигантов ввести различные гены в растения напоминают мне ту атмосферу, которая окружала работы фон Неймана (конечно, одной из причин страха было то, что на первых в мире ЭВМ проводили расчеты, связанные с созданием водородной бомбы). Я думаю, что страх, недоверие и враждебность к биотехнологиям будут сохраняться до тех пор, пока они будут ассоциироваться в нашем сознании с деятельностью гигантских и централизованных организаций.

Возможно, биотехнологии ожидают блестящее будущее — такое же, как то, что не предугадал фон Нейман для создаваемых им компьютеров. Вспомним еще раз, что бурное развитие и популярность вычислительной техники начались тогда, когда она перестала быть делом крупных фирм и организаций, а сами компьютеры из огромных и сложных машин превратились практически в бытовую технику. Приручив компьютеры, общество стало относиться к ним с симпатией и доверием. Первым удачным шагом на пути приручения биотехнологий можно считать появление в зоомагазинах генетически модифицированных аквариумных рыбок, переливающихся новыми необычными красками. Следующим шагом должно стать придание биотехнологиям тех характеристик и свойств, которые проектировщики компьютеров удачно называют «дружественными к потребителю» (user friendly).

Недавно я провел целый день на прекрасной выставке цветов и крупнейшем в мире аукционе в Филадельфии, где лучшие цветоводы мира демонстрировали свои достижения. До этого я посетил в Сан-Диего такую же потрясающую выставку «Шоу рептилий». Я не мог бы определить, какая из них была более впечатляющей — розы и орхидеи Филадельфии изяществом и яркостью цвета соперничали со змеями и ящерицами Калифорнии. Каждый из сортов роз был получен в результате многолетней кропотливой работы искусных селекционеров, этому бизнесу (или искусству) посвящают свою жизнь тысячи людей. Представьте, что произойдет, когда в руки этих энтузиастов попадут хотя бы некоторые методики и приемы гениальной инженерии. Можно не сомневаться, что очень быстро появятся комплекты и наборы разнообразных заготовок для садовников (наподобие «Сделай сам»), желающих вырастить совершенно новые типы орхидей и роз. Затем, конечно, появятся и другие варианты, с помощью которых можно будет создавать особые сорта моркови или необычные виды голубей, ящериц, змеек. Очень скоро новая мода захлестнет всех любителей домашних растений и животных, включая собаководов и любителей кошек.

Приручение биотехнологий и их передача в общественное пользование может привести к появлению множества невиданных живых созданий, и обычные люди, наверное, совершат это гораздо быстрее, чем гигантские сельскохозяйственные корпорации. Может быть, в самое ближайшее время будут созданы чрезвычайно полезные растения, которые заменят нам виды, утраченные в результате моно-

польного и монокультурного сельского хозяйства, построенного на промышленном подходе. Проектирование геномов может стать новой формой искусства, напоминающего одновременно живопись и скульптуру. Разумеется, лишь некоторые из новых биологических особей будут действительно прекрасными, но само существование такого искусства обогатит нашу жизнь, наполнив ее разнообразными и неожиданными созданиями.

Конечным этапом одомашнивания биотехнологий станут новые игры, доступные даже детям младшего возраста. Они вполне могут заменить современные компьютерные развлечения, поскольку детям будет гораздо полезнее играть с клетками живых организмов и семенами, чем с фантастическими образами на экранах мониторов. Выращивая живые создания, наши дети привяжутся к своим питомцам, научатся сопереживать и сочувствовать им. Дети смогут соревноваться в создании «самого колючего кактуса» или выращивании «самого крошечного динозаврика». Конечно, создатели таких игр должны выработать правила и условия, при выполнении которых эти занятия не будут опасными.

Приручение биотехнологий вполне может стать модой, культурной «волной» будущего, и это заставляет нас серьезно задуматься о связанных с этим проблемах. Можно ли и нужно ли бороться с таким развитием событий? (Не ис-

ключено, что мы не сможем или не захотим остановить приручение биотехнологий.) Каким образом мы установим необходимые ограничения и правила? Должны ли ограничения такого рода определяться национальными законодательствами или они должны быть с самого начала международными? Я уже стар и могу лишь задавать вопросы. Ответы на них придется искать нашим детям и внукам.

Конечно, мы не можем угадать, как реализуются биотехнологии будущего, подобно тому, как фон Нейман не мог представить себе персональные компьютеры. Поэтому я попытаюсь лишь в общих чертах описать те особенности наборов для домашних биотехнологических опытов, которые мне кажутся очевидными. В этой попытке я даже не стану упоминать внешние формы, буду исходить лишь из функций.

Такой набор должен удовлетворять элементарным требованиям. Во-первых, обеспечивать выращивание живых существ в контролируемых условиях. Садоводам понадобится сад или теплица, животноводам — клетки или стойла для животных, снабженные системами жизнеобеспечения, питания и лечения. Далее, экспериментаторам будут нужны простые и «дружественные» (как говорят компьютерщики) инструменты, позволяющие даже не очень квалифицированному человеку работать с семенами, яйцами и эмбрионами. Домашние биотехнологические лаборатории, безусловно, должны включать в себя портативный секвенатор (устройство, позволяющее определять последовательность «букв» в ДНК), а также портативный синтезатор, вырабатывающий необходимые количества ДНК с заданным порядком нуклеотидов. Таковых аппаратов пока нет, однако почти наверняка они будут созданы в течение ближайших двух десятилетий, поскольку именно они сейчас наиболее востребованы и будут иметь огромное экономическое значение для медицины и фармацевтической промышленности.

Какую пользу принесет нам одомашнивание биотехнологий? Разумеется, они внесут в нашу жизнь не меньше новизны и разнообразия, чем компьютерные технологии. Почти наверняка их внедрение начнется с садоводства и разведения мелких домашних животных, однако затем они быстро распространятся везде. Приручение биотехнологий может означать, например, что мы научимся выращивать (а не изготавливать) многие привычные нам предметы и объекты — возможно, начнем с мебели, а закончим домами и автострадами. Как только азами овладеют подростки, они начнут не только щеголять словечками и терминами из геномики (подобно тому, как сегодня они пользуются компьютерным жаргоном, придумывают всякие там «блоги» и т. п.), но и будут создавать разные предметы и существа, руководствуясь в основном любознательностью и склонностью к шуткам.

Я не рискну предсказывать, к каким революционным преобразованиям в науке может привести развитие биотехнологии. Например, по одному из сценариев, который лично мне представляется очень плохим, ученым в скором времени удастся создать «лекарство от смерти». Такая возможность может быстро превратить человечество в сборище бессмертных стариков, не желающих уступать место молодежи. Нормальная смена поколений будет нарушена, и в результате развитие, в том числе научное, может остановиться.

Более обнадеживающей выглядит перспектива создания новых видов микробов, растений и животных, созданных для жизни в особо сложных и экстремальных условиях (на Марсе или на спутниках Юпитера и Сатурна). Такие организмы, адаптированные к низким температурам и слабому солнечному излучению, смогут постепенно преобразовать эти далекие небесные тела, — например, растения в теплицах будут вырабатывать кислород, постепенно создавая на Марсе требуемую атмосферу и повышая темпе-

Хронология биотехнологий

1859. Чарльз Дарвин предлагает теорию эволюции, основанную на естественном отборе.

1866. Георг Мендель, изучая посевы бобовых, закладывает основы современной генетики.

1882. Обнаружены хромосомы в клетках животных.

1902. Выяснено, что хромосомы передают наследственную информацию.

1905. Открыты половые хромосомы.

1926. Показано, что рентгеновское излучение может вызывать мутации в геноме.

1944. Доказано, что наследственность бактерий определяется ДНК.

1951. Р. Франклин получает первые рентгеновские изображения ДНК.

1953. Д. Уотсон и Ф. Крик устанавливают структуру ДНК в виде двойной спирали.

1973. Сплайсинг ДНК знаменует собой начало генной инженерии.

1978. Удалось заставить генетически модифицированные бактерии вырабатывать инсулин.

1986. Описана полимеразная цепная реакция, которая позволяет получать миллионы копий ДНК за несколько часов.

1994. В торговую сеть США поступили генетически модифицированные помидоры.

2000. Завершение чернового варианта проекта «Геном человека».

2003. В торговую сеть США поступили первые образцы генетически модифицированных аквариумных рыбок. Близкое будущее. Садоводы и животноводы начинают использовать в своей практической работе методы генной инженерии; появляются первые биотехнологические игры для детей; начинается создание растений и животных, способных существовать в экстремальных условиях.

ратуру его поверхности. Возможно, когда-нибудь в результате такой жизнедеятельности негостеприимные небесные тела станут приемлемыми для обитания человека.

Гораздо более важным может оказаться воздействие новых биотехнологий на общий ход эволюции. Вот какую интересную теорию предлагает профессор Карл Воуз из университета штата Иллинойс, крупнейший в мире специалист по таксономии и систематике микробов, который много лет исследует различия между геномами современных и древних бактерий. Именно ему удалось обнаружить, что на «древе жизни» существуют крупномасштабные структуры, унаследованные всеми существами от трех первичных ветвей развития. Недавно К. Воуз опубликовал статью «Новая биология для нового столетия» (*Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 68, p. 173), в которой доказывает, что редуccionизм (основа биологии более 100 лет) потерял свою ценность и актуальность. Автор считает, что биология будущего должна основываться на внезапно возникающих самоорганизующихся структурах, а вовсе не на представлении о фиксированном наборе генов или молекул. Кроме того, Воуз задает вопрос: когда начался процесс, который мы называем дарвиновской эволюцией? Под ней подразумевается то, что имел в виду сам Дарвин: соревнование или борьба за выживание между нескрещивающимися биологическими видами.

Карл Воуз доказывает, что дарвиновская эволюция вовсе не возникла одновременно с жизнью. Сравнение геномов самых древних линий живых существ наглядно демонстрирует, что эти линии постоянно обменивались значительными объемами генетической информации. На начальном этапе развития жизни преобладала «горизонтальная передача» генов между неродственными видами, и чем дальше к началу возникновения жизни, тем больше роль этой передачи.

А потом в какой-то злосчастный день одна из клеток, похожих на примитивную бактерию, вдруг «сообразила», что она обогнала собратьев по «эффективности». По какой-то причине она обособилась от сообщества и перестала делиться с ним своими достижениями. Ее потомки стали первыми бактериями, научившимися сохранять свое интеллектуальное превосходство лишь для собственного выживания. Обладая некоторым преимуществом перед другими формами жизни, такие бактерии начали процветать и развиваться отдельно, в то время как остальные продолжали жить в едином сообществе. Через несколько миллионов лет таким же путем из сообщества выделилась следующая клетка, ставшая предком археобактерий, затем третья – родоначальник эукариот. Так распалось единое мировое сообщество живых клеток, пока оно окончательно не разделилось на виды. С этого момента начался тот этап эволюции, который мы называем дарвиновской. Возможно, его надо называть не этапом, а интерлюдией – так музыканты называют небольшую вставку в крупное музыкальное произведение.

Дарвиновская интерлюдия продолжалась от 2–3 миллиардов лет, причем она существенно снизила общий темп эволюционного развития жизни. Основные биохимические механизмы были выработаны именно в додарвиновскую эпоху в течение сотен миллионов лет. Следующие два миллиарда лет эволюции внесли лишь незначительные изменения, поскольку обособленные виды были сравнительно стабильными: чтобы закрепились эволюционные преобразования, старые виды должны вымирать, уступая место более перспективным и приспособленным.

Похоже, что сейчас, через 3 миллиарда лет, дарвиновская интерлюдия в эволюции закончилась. Она оказалась лишь промежуточной стадией между двумя периодами горизонтальной передачи генов. Эпоха дарвиновской эволюции, основанной на конкуренции видов, закончилась, по-



А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

видимому, совсем недавно — всего около 10 тысяч лет назад, когда один-единственный вид *Homo sapiens* стал не только доминирующим, но и настолько мощным, что начал преобразовывать биосферу планеты.

В настоящее время *Homo sapiens* осваивает и приручает новые биологические технологии, и мы снова сталкиваемся с преддарвиновскими механизмами эволюции, то есть с горизонтальной передачей генов. Она, например, позволяет легко внедрять гены микробов в растения и животных, нарушая границы между биологическими видами. Мы быстро приближаемся к постдарвиновской эпохе, когда перестанут существовать отдельные виды живых существ и вновь возникнет ситуация свободного обмена генетической информацией между видами (*software exchange*, как говорят компьютерщики). При этом эволюция вновь приобретет всеобщий характер, напоминая золотой век развития жизни, когда не существовало отдельных биологических видов и еще не был придуман фактор преимущества одних видов над другими.

Мне хотелось бы распространить идеи Карла Воуза о перспективах развития биологии на будущее развитие науки в целом. К. Воуз сравнивает живые организмы с вихревыми структурами в турбулентных потоках, возникающими независимо от того, сколь часто проявляется вызывающее их возмущение. Он пишет: «Все более очевидно, что для осознания сущности живых систем (в самом глубоком и широком понимании этого термина) необходимо перестать относиться к ним как к машинам и научиться рассматривать их в качестве стабильных, сложных и динамических образований или структур».

Итак, все живые существа можно рассматривать как самоорганизующиеся структуры, а не просто как набор молекул. Впрочем, так можно рассматривать и неживые объекты, такие, как гроза или активные ядра в далеких галактиках. Они часто бывают не менее разнообразными и динамичными, чем живые, и они также могут быть самоорганизующимися структурами, сущности которых мы пока просто не понимаем. Господствовавший в физике и биологии редуccionизм сохранит в этом столетии свое важное значение для науки, но, возможно, перестанет быть доминирующим подходом. Фундаментальные проблемы науки и философии — эволюция Вселенной, происхождение жизни, природа человеческого сознания, эволюция климата на планете — не могут быть решены, если подходить к ним как к сумме частиц и молекул. Мы должны научиться думать по-новому и, исходя из этого, организовывать огромные базы данных, относящиеся к глобальным задачам.

Все же единственный способ узнать, каким на самом деле окажется будущее, — это прожить достаточно долго и увидеть его собственными глазами.

Перевод кандидата
физико-математических наук
А.В.Хачояна

**ЗЕЛЕННЫЕ МЫШИ
СЕРЕЮТ
ОТ ХИТОЗАНА**

Датские ученые сумели с помощью хитозана доставить в живые клетки препарат, который прервал работу дефектного гена.

Jorgen Kjems,
jk@mb.au.dk

«Клетка воспринимает капсулу из природного сахара — хитозана в качестве приятной закуски и с радостью ее поглощает. Оказавшись внутри клетки, капсула высвобождает содержащийся в ней препарат» — так образно описывает разработанный им и его коллегами процесс профессор Йорген Къемс из Орхусского университета (Дания). Препаратом служит интерференционная РНК (иРНК), за открытие роли которой в 2006 году присудили Нобелевскую премию по химии.

Попав внутрь клетки, иРНК разрушает РНК, предназначенную для синтеза какого-то строго определенного белка. Лекарством же она окажется, если этот белок представляет собой следствие работы дефектного гена. Сама по себе иРНК, проникнув в организм, будет сразу разрушена. Однако когда нанокapsулы из хитозана с иРНК распыляют в виде аэрозоли и эти капсулы попадают сначала в легкие, а потом и в кровь, лечебные молекулы вполне способны достигнуть цели.

Для проверки метода ученые внедрились в геном эмбриона мыши ген зеленого флуоресцентного белка. Получившиеся в результате мыши, естественно, в ультрафиолете светились зеленым цветом. Затем им дали хитозановый препарат с иРНК, которая не дает синтезироваться этому белку. И к мышам вернулась нормальная окраска.

«Опыты, которые мы проводим на мышах, предрасположенных к артриту, очень обнадеживают. Не исключено, что аналогичные хитозановые капсулы помогут бороться и с различными вирусными заболеваниями вроде гриппа или гепатита, а также с раком», — говорит профессор Къемс.

**ОКРАШИВАЯ
КРЫЛЫШКИ
БАБОЧЕК**

Ученые из США придумали новый способ изучения активности генов.

Пресс-секретарь
John Della Contrada,
dellacon@buffalo.edu

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

Ученые из университета Буффало делают татуировку на крыльях бабочки и таким образом изучают роль генов в получении окраски. Суть дела такова. Из промотора теплового шока дрозофилы, а также гена медузы, кодирующего зеленый флуоресцентный белок (GFP — любимый инструмент современных генетиков), была построена хитрая конструкция. Ее хитрость в том, что в обычных условиях ген зеленого белка не работает. Однако при нагреве промотор активируется, ген просыпается, и начинается синтез зеленого белка. А в роли подопытного организма для встраивания генов как раз и выступила бабочка.

Сначала ученые нагревали трансгенных куколок и смотрели, не позеленеют ли те. Отладив методику, биологи перешли к более тонким экспериментам. А именно — освещали лазером крылышко только что вылупившейся бабочки. И не все крылышко целиком, а рисовали на нем узор. В результате возникала своеобразная татуировка: лишь в тех клетках, над которыми прошел луч лазера, промотор активировался и в них появлялся зеленый белок.

«Этот метод позволяет включать и выключать многие гены в развивающемся крылышке бабочки. Кстати, точно так же можно изучать роль генов в формировании окраски других живых существ — насекомых, рыб, птиц и растений», — говорит участница работы аспирантка Диана Рамос.

**СВИСТ РАКА**

Американские физики придумали, как распознать рак кожи с помощью света и ультразвука.

«Optics Letters»,
т. 31, № 20

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

Рак кожи, меланома, опасен тем, что измененные клетки способны перемещаться по кровеносным сосудам, порождая все новые и новые очаги воспаления. Найти в образце крови даже десяток таких клеток позволяет прибор, который придумали физики из университета Миссури-Колумбия (США). Они воспользовались тем, что клетки меланомы содержат темный пигмент — меланин — и ни в каких других клетках, присутствующих в крови, его нет.

Анализ выглядит так. Из образца крови удаляют эритроциты и плазму. У здорового человека должны остаться лишь белые кровяные тельца. У больного к ним будут примешаны клетки опухоли. Вот этот остаток образца и растворяют в физиологическом растворе, а потом светят на него высокочастотным синим лазером. Пигмент в клетках меланомы поглощает импульс, нагревается и расширяется, а в промежутках между импульсами — охлаждается и сужается. В результате возникают ультразвуковые колебания. Их ловит специально созданный детектор. Получается, что пение раковой клетки под лучом лазера выдает ее присутствие. Метод столь чувствителен, что способен заметить десять клеток в стандартном образце крови. «В дальнейшем мы планируем распознавать пение других форм рака. Как известно, можно сделать конструкцию из золотого нанополоски и белка, который будет связываться со строго определенными рецепторами на поверхности клеток. Если такая конструкция будет распознавать раковые клетки в растворе, то последующее облучение золотого шарика заставит его петь, и благодаря этому удастся заметить начало опасной болезни», — говорит руководитель работы Джон Виатор.

**ВИТАМИН D
ПРОТИВ РАКА**

Британские медики заметили, что витамин D и рак груди связаны между собой.

«Journal of Clinical
Pathology»,
17 октября 2006

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

Ученые из лондонского Королевского колледжа во главе с доктором Карлом Пальмиери изучали содержание витамина D в сыворотке крови женщин, больных раком груди. Они обнаружили, что содержание витамина в крови тех из них, у кого рак был в начальной стадии, составляет 184 ммоль/литр, а у кого опухоль сильно развилась, витамина было меньше — 146 ммоль/литр. «Честно говоря, мы не понимаем, что здесь причина, а что следствие — болезнь или уменьшение содержания витамина. Однако, основываясь на данных предыдущих исследований, мы считаем, что дефицит витамина D способствует развитию рака груди», — говорит доктор Пальмиери. Как показали лабораторные исследования, витамин D останавливает размножение клеток и способствует клеточной смерти.

«Мы продолжаем наши исследования и пытаемся разобраться в молекулярном механизме явления, а также понять, как, управляя содержанием витамина D, можно бороться с этим заболеванием», — рассказывает доктор Пальмиери.

Кстати, витамин D не только появляется в коже человека под действием ультрафиолета, но и содержится в пище, например яйцах или жирной рыбе.

ИЗМЕРЕНИЯ СПИНА

Ученые из США и Германии сделали шаг к созданию квантового компьютера — померили направления спина у группы атомов.

Christoph Boehme,
boehme@
physics.utah.edu

В зарубежных лабораториях

По мнению физиков, квантовый компьютер сулит небывалый прорыв в технике: он должен считать в миллиарды миллиардов раз быстрее, чем обычный, микроэлектронный. Однако на пути его создания немало трудностей. Одна из них — как померить какое-нибудь свойство отдельного квантового объекта, например направление спина ядра атома. Доцент университета Юты Кристоф Бом со своими коллегами из берлинского института Гана-Мейтнер и мюнхенского Технического университета сумели померить среднее направление спина хоть не одного-единственного атома, но небольшой их группы, числом в 10 тысяч. А ведь до сих пор удавалось измерить среднее направление спина гораздо больших групп, состоящих из 10 миллиардов атомов.

Подопытный прототип компьютера представлял собой кремниевую подложку, в которую были имплантированы отдельные атомы фосфора. К полученной микросхеме приложили слабое напряжение и стали следить за силой тока. Она менялась с течением времени, однако делала это не постоянно; ученым удалось заметить интервал времени в течение которого сила тока оставалась постоянной — 100 миллионных долей секунды. Затем образец охладили до низкой температуры, приложили магнитное поле и подействовали микроволновым излучением. В результате атомы должны были менять направление своих спинов с частотой в несколько миллиардных долей секунды. И это удалось проверить, наблюдая за колебаниями силы тока.

«Наше исследование продемонстрировало, что без магнита, а только с помощью электричества можно узнать такую важную информацию, как направление спина атомного ядра. Это принципиально важный результат. Конечно, мы еще очень далеки от создания квантового компьютера, фактически мы лишь подошли к созданию квантовых счетов. Но такой шаг очень важен», — говорит Кристоф Бом.

В зарубежных лабораториях

НАНОЦЕЛЛЮЛОЗА ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ПЛАСТИКА

Американские инженеры нашли новое применение многочисленным отходам.

Пресс-секретари
Claire B. Dunn,
cbdunn@esf.edu

«Если добавить унцию нанокристаллов целлюлозы в фунт пластика, то его прочность повысится в три тысячи раз. Этот пластик сможет заменять стекло и, кроме того, окажется биоразлагаемым», — говорит доктор Уильям Винтер, директор Института исследований целлюлозы университета штата Нью-Йорк. А запасы целлюлозы поистине неисчерпаемы, и значительная их часть — отходы. Причем не только деревообрабатывающей промышленности: в США каждый год получается один миллиард тонн биомассы, включающей в себя как щепки, так и очистки яблок или апельсиновую кожуру, которые остаются после изготовления соответственно сидра и сока. Целлюлоза составляет от 25 до 40% этой биомассы.

Согласно технологии, предложенной доктором Винтером, целлюлозу сначала очищают от лигнина и других примесей. Затем ее гомогенизируют и под высоким давлением разрезают чистые волокна на мельчайшие кусочки. В результате получается суспензия нанокристаллов. Ее-то и следует, по мнению автора, добавлять в пластик. Впрочем, не только пластик можно сделать более прочным с помощью таких нанокристаллов. Они пригодятся и для керамики, и для материала имплантатов.

В зарубежных лабораториях

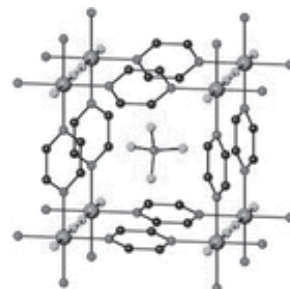
МАГНИТНЫЙ ПОЛИМЕР

Немецкие ученые обнаружили, что полимер, содержащий медь, способен переходить в антиферромагнитное состояние.

Пресс-секретарь
Christine Bohnet,
c.bohnet@fz-
rossendorf.de

С начала Джемс Менсон из Восточного вашингтонского университета синтезировал соединение $[\text{Cu}(\text{HF}_2)(\text{пирозин})]_2\text{BF}_4$ с интересной полимерной структурой. В ней атомы бора, фтора, водорода, углерода и меди, а так пирозинные циклы образовывали нечто похожее на ячейку кубической решетки. А потом Иоханн Возница и его коллеги из Дрезденской Лаборатории сильных магнитных полей решили проверить, не обладает ли этот полимер магнитными свойствами. Для этого они охладили образец до температуры 1,5 К и убедились: точно, обладает. Правда, не ферромагнетизмом, а антиферромагнетизмом. Разница в том, что в первом случае все спины электронов направлены в одну и ту же сторону, а во втором — поочередно то в одну, то в другую: суммарный магнитный момент в результате равен нулю, а вот магнитный порядок присутствует. Причем в данном случае магнитные свойства проявили атомы меди, чего за ними никогда прежде не замечали.

Ученые пока не могут ответить на вопрос, почему так получилось. Однако интересен уже факт открытия магнитных свойств у такого полимера с участием меди.



В зарубежных лабораториях

ВЫРАЩИВАНИЕ ЗУБОВ

Финские ученые заставили мышинные зубы размножаться.

Irma Thesleff,
irma.thesleff@
helsinki.fi

Как это ни прискорбно, а лишь у пресмыкающихся новые зубы вырастают всю жизнь. Нас, млекопитающих, эволюция лишила этого чудесного свойства. Однако ученые не теряют надежды повернуть время вспять и разбудить замолчавший миллионы лет назад механизм. Очередную попытку предприняли биологи из Института биотехнологии Хельсинкского университета со своими коллегами из Берлина и Киото. Они активировали сигнальный путь Wnt у мыши. Правда, не у целого животного, а у культуры ткани его зуба. Результат был весьма интересен: спустя какое-то время исследователи обнаружили в подопытном образце добрую дюжину мышинных зубиков со вполне развитыми корнями, нормальным дентином и эмалью.

«Наши опыты показывают, что новые зубы зародились из старого зуба точно так же, как это происходит у низших позвоночных животных», — говорит участница работы профессор Ирма Теслефф. — Эволюция привела к тому, что этот механизм был утрачен, но взамен форма зубов стала более сложной. Как выяснилось, утрата, по крайней мере у мышей, была неполной и сигнальный путь Wnt играет большую роль в ее восполнении».

Цивилизация монокристаллов



Кандидат
физико-математических наук
С.М.Комаров

Ода монокристаллам

Раньше только богатые люди могли позволить себе радость обладания монокристаллами: разноцветные сверкающие камни, всевозможные смарагды и лалы, диаманты, яхонты червлёные и лазоревые служили им украшениями, а заодно и амулетами, которые дарили здоровье, обеспечивали исполнение желаний и избавляли от козней врагов.

С тех пор утекло много воды, и монокристаллы вошли буквально в каждый дом. Незаметно для глаза во второй половине двадцатого века сформировалась самая настоящая цивилизация монокристаллов, поскольку именно эти творения природных сил и человеческих рук лежат в основе всего того, что называют высокими технологиями. Вот лишь краткий перечень машин, в которых можно встретить монокристалл. В сердце каждого телевизора, каждого мрЗ-плеера, каждого сотового телефона, не говоря уж про компьютер, находится монокристалл: подложка из кремния с нанесенной на нее микросхемой. В любом из этих приборов есть и другой монокристалл — кварцевый или ниобат-литиевый, который отсчитывает время и фильтрует электрический сигнал. Особый монокристалл — искусственный алмаз. Алмазный инструмент служит символом развития промышленности: без него невозможна точная механика. В человеческом теле уже приживаются протезы суставов из монокристалла сапфира. Казалось бы, откуда могут взяться монокристаллы в турбинах реактивного самолета или паровой машине крупной теплоэлектростанции? А они там вполне могут быть; это монокристаллические турбинные лопатки, которые выдерживают высокие нагрузки. Отсюда ясно, почему материаловеды столько внимания уделяют этим объектам.

Антинано

В каком-то смысле монокристалл — антипод нанообъекта, и оба они интересны человеку именно тем, что принципиально отличаются от обычного массивного материала, который состоит из многих кристаллов либо не имеет кристаллического строения вовсе. Наночастица столь мала, что число атомов и электронов в ней можно точно сосчитать. В результате появляется сильная зависимость свойств от размера: задав размер наночастицы, удастся однозначно определить ее свойства и это обстоятельство использовать. Например, добиться, чтобы квантовая точка светила именно с этой длиной волны, а не с какой-то другой.

Слишком маленький монокристалл, наоборот, может не проявлять нужных свойств. Например, ювелиры утверждают, что женский глаз не в состоянии рассмотреть драгоценный камень, если его диаметр менее двух миллиметров. Это не случайно: малый кристалл плохо разлагает свет и оттого слабо блестит. Главное же достоинство монокристалла состоит в том, что внутри нет никаких границ зерен: по всему его телу атомы выстроены в одну и ту же кристаллическую решетку. В результате, глядя на большой в общем-то объект — диаметр некоторых моно-

кристаллов достигает метра — можно говорить о таком микроскопическом свойстве, как направлении в кристаллической решетке. Поскольку вдоль разных направлений свойства различаются, причем иногда очень сильно, получается, что, повернув монокристалл нужной стороной, можно добиться наибольшего или наименьшего из возможных для данного материала значения какого-то свойства. В поликристаллическом материале, где все ориентировки перемешаны, свойства усредняются и оказываются весьма далекими от экстремальных значений.

О монокристаллах написана не одна книжка. Поэтому остановимся на нескольких монокристаллах, к которым приковано внимание научного мира. О них и о многом другом размышляли ведущие специалисты, собравшиеся в конце ноября 2006 года в Черноголовке, на организованной силами Московского института стали и сплавов и Института проблем микроэлектроники РАН конференции «Кристаллофизика XXI века».

Мысль о рынке

Отечественные ученые традиционно уделяют много внимания изучению фундаментальных свойств материалов. В нашем случае это означает поиск наилучших способов вырастить тот или иной монокристалл, или с помощью легирования получить какой-то необычный комплекс свойств. А дальше зачастую происходит то, что хорошо определил академик Г.П.Швейкин (см. «Химию и жизнь», 2006, № 5): мы кладем в ящик знаний результаты наших фундаментальных исследований, а другие страны оттуда эти результаты забирают и превращают в технологии, которые уже не считаются общим достоянием. К несчастью для теоретиков, воспроизвести технологию выращивания монокристалла не так уж и сложно, главное — чтобы было подходящее оборудование и идея, что же именно следует вырастить.

Среди кристаллографов притчей во языцех стал случай с фианитами. Ученые из Физического института АН СССР (ФИАН) совершили большое открытие — научились выращивать монокристаллы искусственного минерала, оксида циркония. По блеску эти кристаллы превосходят алмаз, в чем может убедиться каждый, кто прогуляется по нарядному восточному рынку. Однако там, за рубежом, никто не знает, что этот камень называется фианитом. Все называют его цирконом. Получается, что наши ученые заработали весьма зыбкую славу, которая не продержалась и двух десятилетий, а безвестные инженеры, адаптировавшие технологию для массового выращивания кристаллов, — вполне весомые деньги.

К сожалению, в нашей стране потребность в монокристаллах в после развала сектора высоких технологий невелика, а на внешнем рынке сильно давление китайских коллег, за спиной которых стоит мощное социалистическое государство. В родном же краю никто спину кристаллографов особенно не защищает, поэтому работать приходится в основном на свой страх и риск, и большей час-



тью на экспорт. Однако даже в этих не самых благоприятных условиях отдельным группам удается не только сохранить старое, но и создать новое.

Монокристалл для поиска бозона Хиггса

Увидеть рентгеновский или гамма-луч можно разными способами. В частности — с помощью кристалла-сцинтиллятора, который светится поймав гамма-квант.

Одна из самых интересных программ, связанная со сцинтилляторами — выполненный отечественными учеными заказ ЦЕРНа на монокристаллы вольфрамата свинца, PbWO_4 для детектора Большого адронного коллайдера, запуск которого намечен на 2007 год. «Представьте себе сооружение диаметром семь метров и длиной более пятнадцати. Именно так выглядит детектор одного из главных экспериментов, ради которых строили БАК, — эксперимента по обнаружению бозона Хиггса, — рассказывает кандидат технических наук, директор ИТЦ Московского института стали и сплавов А.Н.Анненков. — Внутренняя поверхность детектора покрыта монокристаллами вольфрамата свинца. Общий вес этих монокристаллов — 90 тонн, а размер каждого — примерно 25х25 мм в сечении и 220 мм в длину. Если в столкновении пучков протонов и антипротонов будет рожден бозон Хиггса, он при распаде даст два гамма-кванта с огромной энергией, несколько десятков ГэВ. Эти кванты должны разлететься в противоположном направлении. Попадая в соответствующие кристаллы, они вызовут вспышку света, которую зафиксируют скрытые за каждым кристаллом фотоумножители. Если удастся зарегистрировать два таких одновременных события на противоположных стенках детектора, то эксперимент будет признан удачным».

Условия, в которых проходит эксперимент, — сильное облучение и огромная энергия гамма-квантов — и определили выбор материала. Дело в том, что чем выше плотность вещества, тем быстрее в нем тормозится гамма-квант. Только состоящий из двух очень тяжелых элементов вольфрамат свинца способен остановить гамма-квант с энергией в гигаэлектрон-вольты на длине всего в два десятка сантиметров. Потому-то физики из Протвино и их коллеги из Европейского центра ядерных исследований, которые совместно проектировали детектор, и остановили свой выбор на малоизвестном материале.

Первым способом выращивания монокристаллов вольфрамата свинца предложили ученые из харьковского Института монокристаллов, где были сосредоточены советские разработки кристаллов для электроники. Однако в 1993 году страна уже распалась на республики, поэтому у специалистов расположенного в Богородицке Тульской области «Завода химико-технологических исследований» возникла мысль разработать собственную технологию. «Нам удалось за считанные месяцы вырастить хорошие монокристаллы, прошедшие все необходимые испытания в ЦЕРНе, — продолжает рассказ А.Н.Анненков, который в те годы был главным инженером завода. — Надо сказать, что мысль

заняться выращиванием вольфрамата свинца появилась не случайно. Завод в Богородицке открыли в 1961 году, и долгое время на нем выращивали пьезокристаллы ниобата лития — они нужны для производства фильтров на поверхностных акустических волнах. В частности, эти фильтры стояли в каждом советском цветном телеприемнике. В начале девяностых годов отрасль рухнула, а оборудование осталось. Надо было искать заказы. Вольфрамат свинца как раз и помог выправить ситуацию — мы получили финансирование от ЦЕРНа. Хорошо помог нам МНТЦ — предоставил три гранта на создание и отработку технологии: самый большой, закончившийся в 2005 году — на 10 млн. долларов. Сейчас мы практически монополисты по этому материалу. Есть еще два завода. Один, «Северные кристаллы», тоже оставшийся с советских времен, расположен на Кольском полуострове в городе Апатиты — там выращивали кристаллы для другого детектора ЦЕРНа. А еще растить кристаллы вольфрамата пытались китайцы, но они выбрали иной метод выращивания и не получили продукцию нужного качества».

Медицинская служба кристаллов

А что дальше, после того, как будет выполнен заказ ЦЕРНа? Не исключено, что кристаллы, способные работать при жестком облучении помогут создать и другие устройства, хоть те же гамма-телескопы или установки для исследования космических лучей, частицы которых тоже обладают огромными энергиями. А может, они пригодятся и в более близких к обыденной жизни приборах. Такие случаи уже бывали в истории физики. Первые детекторы в опытах на ускорителях частиц были оснащены сцинтилляторами из кристаллов силиката лютеция, а теперь они поступили в распоряжение медиков и служат во всех томографах. Мировое производство силиката лютеция составляет 20 тонн в год, монополия же принадлежит американцам и защищена патентами.

«Работа с вольфрамоматом нас многому научила, — говорит А.Н.Анненков. — Мы поняли, что по ее завершении нельзя будет взять какой-то известный монокристалл и начать его выращивать: рынок давно и надежно поделен, попасть на него очень непросто. Поэтому мы занялись разработкой другого кристалла — алюминий-лютециевого перовскита (это сложный оксид с такой же решеткой, как у минерала перовскита). Он ничем не хуже силиката лютеция. У нас есть патент на его производство, а наши партнеры из Германии сделали образец томографа для исследования маленьких животных — мышей и крыс. Рынок таких устройств может быть большим: биологам важно знать подробности того, что происходит внутри подопытных животных, не убивая их. Кроме того, мы сильно рассчитываем на национальный проект по здравоохранению, который предусматривает отечественное производство томографов. В частности, за их создание взялись наши коллеги из Сарова. Конечно, кристалл — сердце томографа, но есть еще его тело, которое требует точной механики, и душа — про-



граммное обеспечение. Кристаллы есть у нас, а два остальных компонента — у них»

Еще одно применение сцинтилляторов в медицине — это флюорография нового поколения. Здесь работают огромные, диаметром в метр, монокристаллы иодида цезия. Гамма-квант, попав в такой экран, вызывает вспышку, а расположенная за ним матрица из светочувствительных элементов фиксирует ее интенсивность и место. Получается цифровая рентгеновская фотография. Такие монокристаллы делают на Украине — в том же Харькове, во Франции, и в Китае. Причем харьковскими монокристаллами оснащены отечественные приборы для флюорографии, которые уже разработаны в рамках национального проекта. В отличие от традиционной, такая рентгеновская съемка требует гораздо меньшей дозы облучения и дает более четкие изображения, которые можно сразу получать в цифровом виде. Мировое производство этих кристаллов достигает 15 тонн в год.

Кристаллические уши

Точно так же, как глаз человека не может увидеть лучи Рентгена, ухо человека не способно уловить колебания электрического поля. А вот пьезоэлектрик — может. Этот материал преобразует электрические колебания в механические и обратно. Из кристаллов такого вещества делают во-первых, всевозможные резонаторы и фильтры для радиоэлектроники, а во-вторых, датчики давления, температуры, вязкости и ускорения. А самый главный материал для фильтров и датчиков — монокристаллический кварц (см. «Химию и жизнь», 1999, № 4). Один из крупнейших в мире заводов, обеспечивающих кварцевые пластинки для многочисленных электронных приборов от компьютеров до сотовых телефонов, — южноуральский завод «Кристалл» в Челябинской области. Как обычно бывает в материаловедении, у кварца есть одно хорошее качество и одно плохое. Хорошо то, что частота, на которой он входит в резонанс, — при этом переменный электрический ток может сквозь этот диэлектрик легко пройти, — почти не меняется в разумном интервале температур от -60 до 80°C . Стабильность частоты важна потому, что только благодаря ей электронный прибор способен вырезать из общего радифона полезный сигнал и превратить его, скажем, в голос человека на другом конце телефонной линии. А плохо то, что коэффициент превращения электрической энергии в механическую у кристалла кварца невелик и для многих приборов это не подходит. Инженеры быстро поняли этот недостаток и придумали замену — кристаллы ниобата и танталата лития. Именно они обеспечивают цветному телевизору прием сигнала. Они же наряду с кварцем участвуют и в организации сотовой связи — вот почему производство этих кристаллов исчисляется десятками тонн в год. Впрочем, у танталата с ниобатом свои недостатки: при хорошем коэффициенте превращения электричества в механику их частота сильно меняется с изменением температуры, специалисты называют это явление «высокий температурно-частотный дрейф». Это ограничивает область использования: прибору нельзя давать перегреваться.

И тут на сцену выходит кристалл лангасита, сложное кислородное соединение лантана, галлия и диоксида кремния. Есть у него и близкий родственник, лангатаат, где вместо диоксида кремния присутствует пентоксид тантала. Решетка этого вещества имеет ту же симметрию, что и решетка кварца, поэтому неудивительно, что он проявляет пьезоэлектрические свойства. Лангасит, фактически, обладает сильными сторонами всех трех упомянутых соединений. Главный же недостаток этого материала — весьма агрессивное разрушение приделанного к нему электрода.

«История лангасита начинается в середине восьмидесятых, — рассказывает кандидат технических наук О.Н.Бузанов из компании «Фомос материалы», которая выращивает и продает кристаллы этого соединения. — Тогда ученые из МГУ во главе с профессором Б.В.Миллем вырастили первые кристаллы лангасита. Поначалу его собирались использовать для изготовления лазеров, но он не оправдал надежд. А вот пьезоэлектрические свойства оказались хорошими. Потом про лангасит как будто забыли на пять лет. Его выращиванием пытались заниматься и в Харькове, в Институте монокристаллов, и в Александрове, во ВНИИ-СИМСе. Однако удача отворачивалась от исследователей, и деньги кончались раньше, чем получалась устойчивая промышленная технология. Наконец в 1996—1998 годах нам совместно со специалистами завода в Богородицке удалось поставить технологию выращивания 3-дюймовых кристаллов. А теперь мы создали и запатентовали технологию выращивания кристаллов лангасита и получения пластин из них диаметром 100 мм. Патенты дают возможность торговать кристаллами лангасита во всем мире. В числе покупателей есть такая крупная компания, как «Мицубиси материалс корпорейшн».

Дело в том, что лангасит отлично подходит для построения сотовых сетей стандарта CDMA с высокой пропускной способностью, которые приходят на смену GSM. В России такую связь обеспечивает «Sky Link». У этого стандарта несколько преимуществ. Прежде всего, он позволяет передавать сложные цифровые сигналы, например видеоизображение в реальном масштабе времени. Благодаря повышенной безопасности связи, сотовый телефон с этой технологией имеет все шансы превратиться в электронный кошелек. А в цифровых телевизорах нового поколения кристалл лангасита как нельзя лучше подходит для приема сложного сигнала. Вот японцы и согласились поставить эти кристаллы в своем оборудовании базовых станций сети. «В сотовых телефонах лангасит пока не применяют, но это неизбежно: необходимость развития техники приведет к его использованию на этом широком рынке, — говорит О.А.Бузанов. — Впрочем, на мой взгляд, главное достоинство лангасита — способность выдерживать высокие температуры и именно с этой областью связано его будущее».

Дело в том, что пьезоэлектрики не выдерживают высоких температур: соединения с литием легко разлагаются, а кварц при 573°C претерпевает фазовое превращение и растрескивается. Лангасит же не меняет своей решетки вплоть до температуры плавления, а это почти полторы тысячи градусов. Сделав из него датчик, например, давления, можно контролировать процессы горения и взрыва. И прежде всего — в камере двигателя внутреннего сгорания. Ни для кого не секрет, что топливо в двигателе автомобиля сгорает не полностью, загрязняя окружающую среду вредными веществами. Причина этого — в неверной регулировке двигателя. А правильно отрегулировать его нельзя в принципе: состав бензина различается даже на разных заправках. Зато датчик из лангасита способен зафиксировать весь процесс сгорания топлива в каждом цикле и через систему обратной связи поддерживать оптимальную работу двигателя. «Поскольку в Европе постоянно ужесто-

чают требования к выбросам, изготовители двигателей заинтересованы в таких датчиках. Сейчас мы работаем с компаниями, которые делают датчики, и они с интересом испытывают наши кристаллы. Впрочем, это касается не только двигателей автомобилей. Тепловые турбины, двигатели самолетов, водных судов и космических кораблей — все они станут работать лучше, если оснастить их подобными датчиками», — говорит О.А.Бузанов.

Кристалл для лазера: моно из нано

Далеко в прошлом остались рубиновые и сапфировые рабочие тела лазерных устройств. В большинстве современных лазеров луч рождается в кристалле из иттрий-алюминиевого граната. Собственно, квантовый свет излучают отнюдь не атомы иттрия или алюминия. Нет, они формируют необходимую кристаллическую структуру. Генерацию же осуществляют атомы неодима, которые равномерно распределены по телу кристалла. И вот эти хорошо всем известные кристаллы, как ни странно, представляют собой большую проблему. Для того чтобы понять ее суть, заглянем внутрь лазера.

Принцип его работы таков: кристалл граната возбуждают с тем, чтобы он снял это возбуждение, высвечивая инфракрасный луч. Поэтому помимо кристалла, в котором рождается луч, в лазере должны быть по меньшей мере два важных узла. На выходе лазера стоит один или несколько кристаллов — нелинейный оптический фильтр. Он преобразует инфракрасное излучение граната в свет нужной длины волны. На входе расположен источник возбуждающего света. Как правило, это полупроводниковый лазер. Такая схема позволяет преобразовать в свет до 40% поданной мощности. Однако у полупроводникового лазера есть три серьезных недостатка. Во-первых, его луч в сечении похож не на круг, а на сильно сплюснутый эллипс. Такой луч трудно фокусировать. Во-вторых, плотность энергии в таком луче не может быть большой: чрезмерно большая энергия разрушит сам полупроводник. В-третьих, при изменении температуры частота излучения изменяется. И это очень плохо: у иттрий-алюминиевого граната диапазон частот света, которым удастся возбуждать находящийся в нем неодим, очень узкая. В результате, если температура полупроводникового лазера изменится на несколько градусов, мощность возбужденного им луча гранатового кристалла резко снизится. Получается, что температуру лазера надо поддерживать на постоянном уровне с большой точностью. Так возникает необходимость в системе охлаждения. Как же решают эту проблему и нужно ли ее решать?

«Технология создания лазеров на кристаллах иттрий-алюминиевого граната была разработана в середине семидесятых годов и сейчас доведена до совершенства, — рассказывает профессор Московского института стали и сплавов В.М.Гармаш. — В общем-то, свойства этих лазеров вполне устраивают потребителей, будь то медики, которые орудут лазерным скальпелем, связисты, которые без лазера не передадут сигнал по оптическому волокну, или военные. Однако человеку всегда свойственно стремиться к чему-то большему. Вот он и хочет получить от того же лазера большую мощность. Это позволяет либо уменьшить размер устройства, либо размер источников энергии для него. Поэтому материаловеды всячески ищут кристалл, способный заменить гранат. Главная цель — увеличить диапазон частот, которые могут возбудить в нем лазерный луч и повысить мощность выходящего луча. Наилучшие результаты сейчас показывает ванадат иттрия или гадолиния, YVO_4 и $GdVO_4$ соответственно. В кристаллы этих веществ удастся ввести гораздо больше неодима, чем в гранаты. В результате полупроводниковому лазеру уже можно позволять нагреваться не на считан-

ные градусы, а на полтора десятка. Охлаждать такую систему все равно придется, но можно это делать не настолько точно. А значит, гораздо дешевле».

Впрочем, поиски новых лазерных материалов в некотором роде связаны с чисто экономической причиной — фактической монополией Китая на изготовление кристаллов граната. Еще промышленное производство этих кристаллов сохранилось только в США. Возможно, из политических соображений, все-таки лазерные технологии в значительной своей части связаны с изготовлением оружия. Во всех развитых странах есть малые производства, которые по заказу могут вырастить небольшую партию кристаллов с какими-нибудь экзотическими добавками. Однако такие лазеры служат больше для исследовательских целей. А промышленное производство лазеров держится на импорте из Китая. Чтобы потеснить китайскую монополию хотя бы на время, как раз и требуется создать кристалл, который способен значительно улучшить параметры лазера. Считается, что упомянутые полтора десятка градусов как раз и служат таким улучшением.

Однако принципиальное решение кроется не столько в изменении состава кристаллов, сколько в ином подходе к их выращиванию, а именно отказу от получения монокристаллов из расплава, как это делают без малого сто лет по методу Яна Чохральского. Сырьем для кристаллов XXI века послужат нанорешетки.

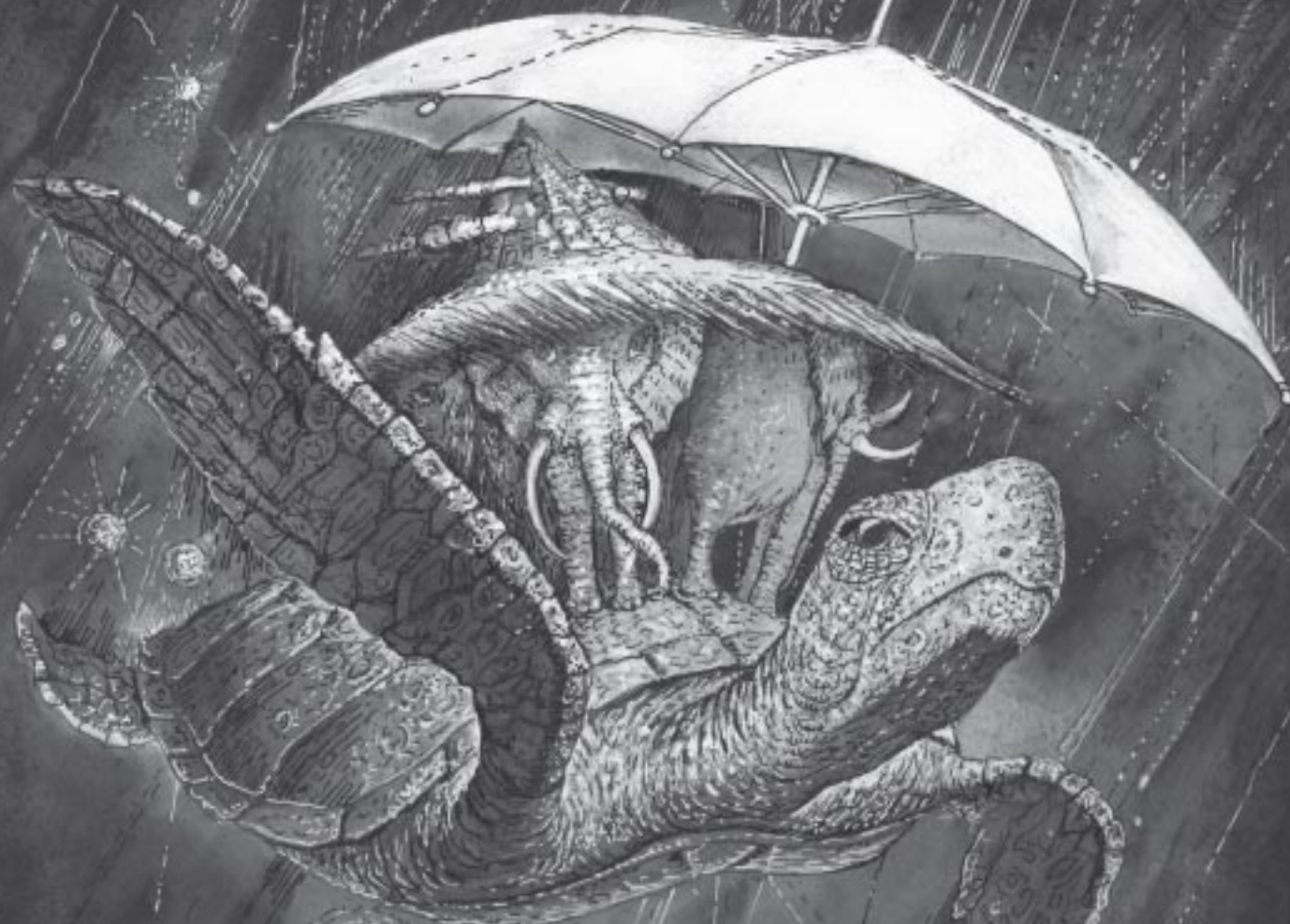
«Частицы нанометровых размеров обладают колоссальной поверхностной энергией, — рассказывает В.М.Гармаш. — Чтобы избавиться от этой энергии, они стремятся объединиться в большой кристалл, сокращая суммарную площадь границ. А ведь поверхностная энергия меньше всего у монокристалла. Если сделать из такого порошка заготовку, сохранив при этом нанометровый размер зерен (что очень непросто), соединить ее с кристаллической затравкой, а потом аккуратно нагреть, то можно заставить наночастицы объединиться в монокристалл. Это будет настоящий прорыв! Во-первых, не нужен ирридиевый тигель, который стоит очень дорого и без которого невозможно обойтись при выращивании кристаллов из расплава. Во-вторых, размер монокристалла будет ограничен только размерами заготовки, а не размером тигля. Кроме того, чем больше кристалл, тем труднее его выращивать из расплава: с увеличением размера возрастает неравномерность распределения химических элементов. А самое главное в том, что удастся работать с тугоплавкими или, наоборот, разлагающимися при нагреве соединениями. Такие монокристаллы нельзя вырастить из расплава. На этом пути возможны удивительные открытия, которые окажут сильное влияние не только на технологию лазеров, но и вообще на всю промышленность выращивания монокристаллов. Японские ученые уже сумели вырастить кристаллы из нанопорошков. У нас, в России, тоже кое-что в этом направлении сделано».

Фотографии кристаллов лангасита и лангата получены в компании «Фомос материалы»



ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА





Зрители:

эксперименты настоящего

Плюнь тому в глаза,
кто скажет,
что можно
объять необъятное.

Козьма Прутков

Вот и подошел к концу цикл «Вселенная: материя, пространство, время». Последняя его статья посвящена физическим экспериментам настоящего. Описать даже сотую их часть на четырех страницах — задача непосильная. Мы выбрали только несколько экспериментов из настоящего и совсем недавнего прошлого, которые были поставлены в рамках развития двух сюжетных линий современной физики, а именно физики солнечных нейтрино и физики космических лучей.

Загадка солнечных нейтрино

В 1930 году Вольфганг Паули скрепя сердце ввел в физику понятие «нейтрино» — элементарной частицы, существование которой, по его мне-

нию, никогда не получится доказать. Но уже в середине 50-х годов XX века группа Фредерика Рейнеса надежно зарегистрировала нейтрино. Постепенно стало понятно, что уникальные свойства нейтрино — прежде всего способность крайне слабо взаимодействовать с веществом — делают

его мощным инструментом астрономических исследований. Нейтрино приходят на Землю такими, какими были рождены, проникая без взаимодействия сквозь звезды, планеты и межзвездное вещество. Никакие другие частицы такой способностью не обладают.

Первым космическим объектом, нейтринное излучение которого физики попытались обнаружить, было Солнце. Нейтрино образуются в Солнце в больших количествах в результате термоядерных реакций, когда легкие ядра сливаются в более тяжелые, а выделяющуюся при этом энергию уносят гамма-кванты и нейтрино. К концу 50-х годов прошлого века так называемая стандартная

Продолжение. Начало см. в №№ 6—12, 2006



солнечная модель в общих чертах была построена. Эта модель предсказывала вполне определенное значение потока электронных (то есть выступающих в паре с электроном или позитроном) нейтрино, которые должны приходить из ядра Солнца на поверхность Земли. Единственным критерием правильности модели мог стать эксперимент по измерению такого потока.

К сожалению, главное преимущество нейтрино оборачивается громадными сложностями в его регистрации, ведь все методы регистрации элементарных частиц строятся на их взаимодействии с веществом. Например, наша способность видеть определяется тем, что частицы света — фотоны, — попадая в глаз, взаимодействуют с сетчаткой. При этом рождается импульс, который по нервным окончаниям бежит в соответствующий участок мозга. Большое количество импульсов после обработки мозгом трансформируется в картину окружающей нас реальности: мы видим. Наблюдать же нейтрино трудно, поскольку подавляющая их часть проходит сквозь прибор, не взаимодействуя с ним. Каждую секунду сквозь каждый квадратный сантиметр поверхности нашей планеты проходит примерно 60 миллиардов нейтрино. Нужно держать под контролем несколько сотен тонн вещества, чтобы в течение дня (почти сто тысяч секунд) зафиксировать взаимодействие хотя бы одного нейтрино хотя бы с одним из примерно 10^{31} атомов, содержащихся в этом громадном объеме. Вдумайтесь в эти числа с невообразимым количеством нулей и представьте себе сложность задачи.

В 1946 году итальянский физик Бруно Понтекорво предложил использовать для детектирования нейтрино реакцию $\nu_e + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow e^- + {}^{37}\text{Ar}$. Нейтрино взаимодействует с одним из нейтронов, входящих в состав ядра изотопа хлор-37, в результате чего электрически нейтральный нейтрон превращается в положительно заряженный протон — образуется аргон-37. При этом вылетает электрон.

Эксперимент Дэвиса

Идея оказалась плодотворной, но для ее практической реализации потребовалось на протяжении почти тридцати лет шаг за шагом преодолевать технические сложности, устранять методические погрешности, исключать источники фона. К счастью, за воплощение идеи Понтекорво взялся очень талантливый, сверхцелеустремленный и невероятно терпеливый человек — американец Раймонд Дэвис. Начиная с 1955 года он отработывал методику с помощью все более и более сложных детекторов, которые размещал вблизи искусственных источников нейтрино — ядерных реакторов. Число рожденных там нейтрино хорошо известно, поэтому можно проверить, правильные ли показания дает детектор. Через семь лет, в 1962 году он начал эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, и только спустя одиннадцать лет, в 1973 году, появились первые результаты. Еще двадцать лет потребовалось на то, чтобы набрать достаточное количество данных. Более сорока лет, посвященных одной проблеме, — явление для современной физики уникальное. Но только такой подход мог обеспечить успех в решении этой невероятно сложной задачи.

Детектор солнечных нейтрино Дэвис разместил в шахте Хоумстейк (США) на глубине 1480 метров (для подавления фона от космического излучения, интенсивность которого существенно падает с глубиной). Основной частью детектора был огромный бак, содержащий 610 тонн перхлорэтилена (C_2Cl_4), из которого тщательно удалили все примеси. Раз в несколько месяцев систему продували гелием, который собирал весь улов: несколько десятков образовавшихся за время экспозиции ядер ${}^{37}\text{Ar}$. Они попадали в небольшую — объемом всего в кубический сантиметр — ловушку, где их и пересчитывали.

Дефицит солнечных нейтрино

Результат эксперимента Дэвиса обескуражил. В детекторе получал-

ся примерно один атом аргона-37 в два дня. Это в три раза меньше того, что можно было бы ожидать исходя из расчетов, основанных на стандартной солнечной модели. Бесконечные и кропотливые проверки, перепроверки и новые расчеты не изменили основного вывода. Возникла так называемая проблема дефицита солнечных нейтрино. Были созданы детекторы SAGE (Баксанская нейтринная обсерватория, Россия) и GALLEX (лаборатория Гран Сассо, Италия). В них детектором служил галлий-71: с участием нейтрино он превращается по реакции $\nu_e + {}^{71}\text{Ga} \rightarrow e^- + {}^{71}\text{Ge}$ в германий-71. Эти эксперименты подтвердили результаты Дэвиса.

Поиск решения проблемы дефицита стимулировал экспериментальную активность и теоретические исследования. Одно из предложенных решений заключалось в гипотезе об осцилляциях нейтрино. Помимо электронных нейтрино ν_e (которые образуются в термоядерных реакциях в недрах Солнца) существуют еще мюонные нейтрино ν_μ и тау-нейтрино ν_τ . Если нейтрино обладают хотя бы минимальной массой (а до сих пор они считались безмассовыми частицами), то они могут осциллировать — превращаться одно в другое. Тогда на пути от Солнца часть электронных нейтрино превращается в мюонные, а часть — в тау. Таким образом, как хлор-аргонный, так и галлий-германиевый эксперименты, чувствительные только к электронным нейтрино, регистрируют лишь треть всех нейтрино, образовавшихся в Солнце и вылетевших по направлению к Земле.

Эту гипотезу удалось подтвердить в конце прошлого века в экспериментах «SuperKamiokande» (Япония) и «SNO» (Канада).

Детектор «SuperKamiokande» представляет собой резервуар высотой 42 м и диаметром 40 м, заполненный 50 тыс. тонн специально очищенной воды и расположенный глубоко под землей недалеко от местечка Камиока в Японии. На стенах резервуара размещены 11 146 фотоумножителей. Это чрезвычайно светочувствительные приборы: при попадании на их поверхность даже одного кванта света они генерируют электрический импульс, который затем обрабатывает специальная электронная система.

Работа детектора основана на том, что заряженная частица, движущаяся в среде со скоростью, превышающей скорость света в этой среде, испускает свет (черенковское свече-

ние), направленный под углом 42° к траектории частицы. Нейтрино не имеют заряда, но при взаимодействии с веществом они рождают заряженные мюоны и электроны с черенковским свечением, которое фотоумножители и должны регистрировать. По конфигурации сработавших фотоумножителей, величине и форме электрических импульсов можно определить энергию и направление прихода нейтрино.

«SuperKamioke» стал первым детектором, который зарегистрировал нейтрино, рожденные за пределами Солнечной системы. 23 февраля 1987 года в течение нескольких секунд было замечено 11 нейтрино, рожденных при вспышке сверхновой звезды SN1987A в Большом Магеллановом облаке (см. «Химию и жизнь», 1988, № 4). Измеренные характеристики нейтрино прекрасно совпали с предсказанными, что подтвердило правильность теории взрыва сверхновых звезд.

5 июня 1998 года была опубликована «нобелевская» статья коллаборации (так ныне принято называть многонациональные коллективы ученых) «SuperKamioke» с сообщением об открытии нейтринных осцилляций. Был сделан анализ событий от нейтрино, образующихся при взаимодействии космических лучей с земной атмосферой и долетевших до детектора. Распределение углов прихода нейтрино измерялось в продолжение 1144 дней. Это распределение должно быть симметрично относительно верха/низа, так как вследствие изотропности прихода космических лучей из Вселенной потоки нейтрино, направленные вверх и вниз, одинаковы. Однако количество нейтрино, приходящих из нижней полусферы, оказалось существенно меньше. Это объясняется тем, что нейтрино, пришедшие с другой стороны Земли, преодолевают гораздо большее расстояние, нежели возникшие прямо над детектором, и вероятность превращения в другой тип для них выше.

Нейтринная обсерватория в Садбери (Sudbury Neutrino Observatory — SNO) построена в шахте на глубине 2070 метров и представляет собой черенковский детектор на тяжелой воде. Тысяча тонн сверхчистой тяжелой воды (D_2O) залита в акриловый сосуд диаметром 12 метров. Черенковское излучение регистрируют 9600 фотоумножителей. Детектор погружен в сверхчистую обычную воду, которая находится в бочкообразной полости диаметром 22 метра

и высотой 34 метра. За сутки детектор регистрирует около 10 нейтринных событий. Накопление данных началось в 1999 году.

Результаты работы детектора SNO также свидетельствуют о существовании нейтринных осцилляций. Детектор способен независимо регистрировать поток электронных нейтрино и суммарный поток всех типов нейтрино. Суммарный поток превышает наблюдаемый поток электронных нейтрино, но равен общему потоку нейтрино, рассчитанному в рамках стандартной солнечной модели. Это свидетельствует о превращении электронных нейтрино в другие сорта нейтрино по пути от Солнца к Земле.

Таким образом, в результате долгого и трудного пути, который занял 30 лет, загадка солнечных нейтрино была разрешена. С учетом осцилляций количество приходящих от Солнца нейтрино хорошо согласуется со стандартной солнечной моделью, а результаты экспериментов, в которых измеряется поток нейтрино от Солнца, не противоречат друг другу.

Однако проблема космических лучей сверхвысоких энергий все еще не разрешена...

Загадка космических лучей

Вот уже 95 лет физикам известно, что на Землю из космоса приходят космические лучи: протоны, немного ядер гелия и совсем небольшая примесь ядер более тяжелых элементов. Эти частицы движутся с разными скоростями (в физике чаще говорят не о скоростях, а об энергиях). Очень энергичные частицы, попадая в атмосферу, взаимодействуют с ее атомами. В результате рождаются новые частицы, которые, в свою очередь, тоже взаимодействуют с ядрами атомов атмосферы. Возникает так называемый широкий атмосферный ливень, состоящий из десятков и сотен тысяч частиц, которые доходят до поверхности Земли. Поперечные размеры ливня могут достигать десятков километров. Такие ливни наблюдают детекторами, состоящими из сотен датчиков, которые размещены на площадях в десятки и сотни квадратных километров. Датчики регистрируют черенковский свет, генерируемый в атмосфере частицами ливня, либо реагируют на прохождение через них частицы. По времени прихода сигнала в разные датчики, по интенсивности сигнала, по количеству зарегистрированных частиц разных типов можно судить о направлении прихода первичной частицы

(«космического луча»), об энергии этой частицы и ее атомном весе. Накопленные за многие годы данные порождают больше вопросов, чем ответов. Главных вопросов три.

Спектр первичных частиц космического излучения (зависимость количества частиц от их энергии) имеет довольно странную форму. Гладкий на отдельных участках, он имеет два хорошо заметных излома в районе энергий 10^{15} эВ и 10^{18} эВ (эВ, или электрон-вольт, соответствует энергии, до которой разгоняется электрон, пройдя разность потенциалов в 1 Вольт). Происхождение этих изломов до сих пор не понятно.

Максимальные измеренные энергии космических лучей составляют более 10^{21} эВ. Это совершенно непонятно: протоны с такими энергиями должны взаимодействовать с реликтовым излучением и терять энергию («обрезание Грайзена—Кузьмина—Зацепина»). А значит, долететь до Земли они просто не могут. Тем не менее мы их наблюдаем.

И наконец — мы не знаем, как и где приходящие на Землю частицы разгоняются до таких огромных энергий. Где расположены эти космические ускорители? Как они устроены? Известные нам процессы — вспышки в атмосфере Солнца, взрывы сверхновых звезд — при всей своей масштабности никак не дотягивают до роли таких ускорителей.

Ответы на эти вопросы было бы гораздо проще найти, если бы мы могли идентифицировать хотя бы один источник космических лучей. Увидеть точку на небесной сфере, откуда дошла до нас сверхэнергичная частица космического излучения. Можно было бы посмотреть в этом направлении с помощью обычных оптических, радио-, гамма- или рентгеновских телескопов и понять, что там находится. Но пока этого не удалось, и на то есть свои причины. Протоны и другие ядра, входящие в состав космических лучей, приходят к нам вовсе не с того направления, в котором они были испущены. Межзвездные магнитные поля искривляют их траекторию, и они «забывают», в каком уголке Вселенной были рождены.

Ускорение протонов до сверхвысоких энергий в любом космическом объекте должно сопровождаться рождением не менее энергичных частиц других сортов. Казалось бы, можно попытаться поискать, например, сверхэнергичные гамма-кванты или нейтроны. Но нейтроны нестабильны и не могут долететь до Земли издалека. Они просто распадутся по дороге. Траектория гамма-кван-

тов не искривляется магнитными полями, и они стабильны. Однако Вселенная непрозрачна для них: то же реликтовое излучение поглощает сверхэнергичные гамма-кванты, и те не могут достичь Земли с больших расстояний.

Единственная частица, которая сопровождает частицы космических лучей, не меняя направления своего движения, не распадаясь и не поглощаясь межзвездной средой, — это нейтрино. Поэтому решение загадки происхождения космических лучей сверхвысоких энергий связано прежде всего с попытками зарегистрировать нейтрино таких же энергий.

Подводная и подледная физика

Нейтрино сверхвысоких энергий взаимодействуют с веществом интенсивнее низкоэнергетичных солнечных нейтрино, о которых говорилось выше. Но потоки их на много порядков меньше. Поэтому детектор должен быть очень большим. Кроме того, его нужно укрыть от фона космических лучей: спрятать на глубине как минимум километр, а лучше — еще глубже. При небольших потоках нейтрино и невысокой вероятности взаимодействия с веществом увидеть их можно только при условии отсутствия других частиц.

Первые нейтринные телескопы строили под землей, в старых шахтах. Однако на пути развития таких детекторов есть естественный предел — размеры шахты. По-видимому, предельные размеры подземных нейтринных детекторов уже достигнуты. Это «SuperKamioKande» и «MACRO» (Италия). Последний представляет собой параллелепипед с ребрами 12х12х72 м. Оценки же показывают, что габариты нейтринных детекторов нужно увеличивать как минимум в десять раз.

Альтернативный путь еще в 1960 году предложил академик М.А.Марков: размещать нейтринные детекторы глубоко под водой. В этом случае вода играет роль и экрана, который защищает от фона, и рабочего вещества, в котором частицы генерируют черенковский свет.

Первый детектор такого рода был запущен в эксплуатацию на озере Байкал в 1993 году. Он содержит 192 фотоумножителя, расположенных в цилиндрическом объеме диаметром 42 м и высотой 70 м на глубине 1200 м в южной части озера. Этот пионерский эксперимент показал возможность глубоководного детектирования нейтрино.

На Южном полюсе идет монтаж детектора «IceCube», который закончится в 2010 году. Фотоумножители вмораживаются в антарктический лед на глубину около 2 км. Полный объем детектора составит 1 кубический км.

В Северном полушарии сразу три коллаборации — ANTARES, NESTOR и NEMO работают в Средиземном море над созданием нейтринных телескопов. В настоящее время ANTARES монтирует детектор в 40 км к югу от побережья Франции, в районе Марселя, на глубине 2400 м. Через два года детектор должен вступить в строй. После этого предполагается объединить усилия трех средиземноморских нейтринных экспериментов, чтобы общими усилиями работать над единым европейским детектором кубокилометрового масштаба (в дополнение к «IceCube» в Южном полушарии) в рамках проекта KM3NET.

Принцип детектирования нейтрино во всех этих подводных и подледных детекторах один. Увидеть нейтрино, пришедшее из верхней полусферы, по-видимому, не удастся. Даже на глубинах в несколько километров оттуда приходит слишком много фоновых частиц (мюонов), в которых нейтрино просто теряются. Выделение нейтринных событий основано на поиске треков, которые идут в направлении снизу вверх. Кроме нейтрино, ни одна частица не способна пройти Землю насквозь.

Чтобы нейтрино можно было увидеть, оно должно провзаимодействовать с ядром вещества в воде или во льду под детектором в реакциях: $\nu_{\mu} + {}^n\text{A} \rightarrow \mu + ({}^{n+1})\text{A}$, $\nu_{\tau} + {}^n\text{A} \rightarrow \tau + ({}^{n+1})\text{A}$, $\bar{\nu}_{\mu} + {}^n\text{A} \rightarrow e^{-} + ({}^{n+1})\text{A}$, в которых мюонное, тау- или электронное нейтрино рождают заряженный мюон, тау-лептон или электрон. Последние движутся в воде, генерируя черенковский свет. Его регистрируют фотоумножители.

Поскольку детектор фиксирует нейтрино только из нижней полусферы, то важно иметь как минимум два детектора, расположенных в Южном и Северном полушариях, чтобы для

наблюдения было доступно все небо. В этом смысле «IceCube» и средиземноморские проекты прекрасно дополняют друг друга.

Надо полагать, что в ближайшие годы, после ввода в строй «IceCube» и ANTARES, мы сможем наконец познать природу космических лучей высоких энергий. Хотя, наверное, при этом возникнут другие вопросы, которые будет решать следующее поколение физиков, придумывая и претворяя в жизнь все новые и новые эксперименты. Такова логика бесконечного развития науки.

Я долго думал о том, чем завершить цикл статей об устройстве Вселенной и о нашем месте в ней. Наверное, трудно найти для этого лучшие слова, чем те, что были сказаны известным российским физиком Д.А.Киржницем: «Хочется надеяться, что после знакомства с содержанием курса у начинающего физика появится (или укрепитесь) ощущение единства физического мира на всех уровнях его иерархии — от субъядерного до космического. <...> Такая всеобщность и универсальность вместе со свойственной Природе соразмерностью и гармонией не просто поражают воображение, но и оставляют отчетливое впечатление, что за видимым миром вещей и явлений стоит некое высшее организующее начало. Именно здесь лежат корни «религиозного» (в духе Спинозы, Эйнштейна, отчасти Сахарова) восприятия окружающего нас мира, которое, к сожалению, пока еще недооценивается рационально мыслящим большинством. А ведь такое восприятие превращает сухого «технаря» в естествоиспытателя, не просто переживающего радость познания совершенной структуры мира, но и одухотворенного сознанием своей поистине жреческой миссии посредника между незримым архитектором, непостижимо гениальные замыслы которого воплощены в окружающем нас мире и в нас самих, и остальным человечеством».



КАРТИНА МИРА: ФИЗИКА





Самое необычное вещество в мире

В этом году мы хотим рассказать вам, уважаемые читатели, о воде. Этот цикл статей так и будет называться: цикл воды. Наверное, нет смысла говорить о том, сколь важно это вещество для всех естественных наук и для каждого из нас. Не случайно многие пытаются спекулировать на интересе к воде, взять хотя бы нашумевший фильм «Великая тайна воды», которые привлек внимание миллионов людей. С другой стороны, нельзя упрощать ситуацию и говорить, что мы знаем о воде все; это совсем не так, вода была и остается самым необычным веществом в мире. Чтобы в деталях рассмотреть особенности воды, нужен обстоятельный разговор. А начинаем мы его главами из замечательной книги основателя нашего журнала академика И.В.Петрянова-Соколова, которая вышла в издательстве «Педагогика» в 1975 году. Эта книжка, кстати, вполне может служить образцом научно-популярного разговора крупного ученого с таким непростым читателем, как ученик средней школы.

Все ли уже известно о воде?

Совсем еще недавно, в 30-х годах нашего века, химики были уверены, что состав воды им хорошо известен. Но однажды одному из них пришлось измерить плотность остатка воды после электролиза. Он был удивлен: плотность оказалась на несколько сотых тысячных долей выше нормальной. В науке нет ничего незначительного. Эта ничтожная разница потребовала объяснения. В результате ученые открыли много новых больших тайн природы. Они узнали, что вода очень сложна. Были найдены новые изотопные формы воды. Добыта из обычной тяжелая вода; оказалось, что она совершенно необходима для энергетики будущего: при термоядерной реакции дейтерий, выделенный из литра воды, даст столько же энергии, как 120 кг угля. Теперь во всех странах мира физики упорно и неустанно работают над решением этой великой задачи. А началось все с простого измерения самой обычной, будничной и неинтересной величины — плотности воды была

измерена точнее на лишней десятичный знак. Каждое новое, более точное измерение, каждый новый верный расчет, каждое новое наблюдение не только повышает уверенность в знании и надежности уже добытого и известного, но и раздвигает границы неведомого и еще не познанного и прокладывает к ним новые пути.

Что же такое обыкновенная вода?

Такой воды в мире нет. Нигде нет обыкновенной воды. Она всегда необыкновенная. Даже по изотопному составу вода в природе всегда различна. Состав зависит от истории воды — от того, что с ней происходило в бесконечном многообразии ее круговорота в природе. При испарении вода обогащается протием, и вода дождя поэтому отличается от воды озера. Вода реки не похожа на морскую воду. В закрытых озерах вода содержит больше дейтерия, чем вода горных ручьев. В каждом источнике свой изотопный состав воды.

Когда зимой замерзает вода в озере, никто из тех, кто катается на коньках, и не подозревает, что изотопный состав льда изменился: в нем уменьшилось содержание тяжелого водорода, но повысилось количество тяжелого кислорода. Вода из тающего льда другая и отличается от воды, из которой лед был получен.

Что такое легкая вода?

Это та самая вода, формулу которой знают все школьники — H_2^{16}O . Но такой воды в природе нет. Такую воду с огромным трудом приготовили ученые. Она им понадобилась для точного измерения свойств воды, и в первую очередь для измерения ее плотности. Пока такая вода существует только в нескольких крупнейших лабораториях мира, где изучают свойства различных изотопных соединений.

Что такое тяжелая вода?

И этой воды в природе нет. Строго говоря, нужно было бы называть тяжелой воду, состоящую только из одних тяжелых изотопов водорода и кислорода, D_2^{18}O , но такой воды нет даже и в лабораториях ученых. Конечно, если эта вода понадобится науке или технике, ученые сумеют найти способ, как ее получить: и дейтерия, и тяжелого кислорода в природной воде сколько угодно.

В науке и ядерной технике принято условно называть тяжелой водой тяжеловодородную воду. Она содержит только дейтерий, в ней совсем нет обычного, легкого изотопа водорода. Изотоп-



ный состав по кислороду в этой воде соответствует обычно составу кислорода воздуха.

Еще совсем недавно никто в мире и не подозревал, что такая вода существует, а теперь во многих странах мира работают гигантские заводы, перерабатывающие миллионы тонн воды, чтобы извлечь из нее дейтерий и получить чистую тяжелую воду.

Много ли различных вод содержится в воде?

В какой воде? В той, что льется из водопроводного крана, куда она пришла из реки, тяжелой воды $D_2^{16}O$ около 150 г на тонну, а тяжелоокислородной ($H_2^{17}O$ и $H_2^{18}O$ вместе) почти 1800 г на тонну воды. А в воде из Тихого океана тяжелой воды почти 165 г на тонну.

В тонне льда одного из больших ледников Кавказа тяжелой воды на 7 г больше, чем в речной воде, а тяжелоокислородной воды столько же. Но зато в воде ручейков, бегущих по этому леднику, $D_2^{16}O$ оказалось меньше на 7 г, а $H_2^{18}O$ — на 23 г больше, чем в речной.

Третья вода $T_2^{16}O$ выпадает на землю вместе с осадками, но ее очень мало — всего лишь 1 г на миллион миллионов тонн дождевой воды. В океанской воде ее еще меньше.

Строго говоря, вода всегда и всюду разная. Даже в снеге, выпадающем в разные дни, разный изотопный состав. Конечно, отличие невелико, всего 1—2 г на тонну. Только, пожалуй, очень трудно сказать — мало это или много.

В чем же различие между легкой природной и тяжелой водой?

Ответ на этот вопрос будет зависеть от того, кому он задан. Каждый из нас не сомневается, что с водой-то он знаком хорошо. Если каждому из нас показать три стакана с обычной, тяжелой и легкой водой, то каждый даст совершенно четкий и определенный ответ: во всех трех сосудах простая чистая вода. Она одинаково прозрачна и бесцветна. Ни на вкус, ни на запах нельзя найти между ними никакой разницы. Это все — вода.

Химик на этот вопрос ответит почти так же: между ними нет почти никакой разницы. Все их химические свойства

почти неразличимы: в каждой из этих вод натрий будет одинаково выделять водород, каждая из них при электролизе будет одинаково разлагаться, все их химические свойства будут почти совпадать. Оно и понятно: ведь химический состав у них одинаков. Это вода.

Физик не согласится. Он укажет на заметную разницу в их физических свойствах: и кипят и замерзают они при различных температурах, плотность у них разная, упругость их пара тоже немного различна. И при электролизе они разлагаются с разной скоростью. Легкая вода чуть быстрее, а тяжелая — по-медленнее. Разница в скоростях ничтожна, но остаток воды в электролизере оказывается немного обогащенным тяжелой водой. Таким путем она и была открыта. Изменения в изотопном составе мало влияют на физические свойства вещества. Те из них, которые зависят от массы молекул, меняются заметнее, например скорости диффузии молекул пара.

Биолог, пожалуй, станет в тупик и не сразу сумеет найти ответ. Ему нужно будет над вопросом о различии между водой с разным изотопным составом еще немало поработать. Совсем недавно все считали, что в тяжелой воде живые существа не могут жить. Ее даже мертвой водой называли. Но оказалось, что если очень медленно, осторожно и постепенно заменять протий в воде, где живут некоторые микроорганизмы, на дейтерий, то можно их приучить к тяжелой воде и они будут в ней неплохо жить и развиваться, а обычная вода для них станет вредной.

Сколько молекул воды в океане?

Одна. И этот ответ не совсем шутка. Конечно, каждый может, посмотрев в справочник и узнав, сколько в Мировом океане воды, легко сосчитать, сколько всего в нем содержится молекул H_2O . Но такой ответ будет не вполне верен. Вода — вещество особенное. Благодаря своеобразному строению отдельные молекулы взаимодействуют между собой. Возникает особая химическая связь вследствие того, что каждый из атомов водорода одной молекулы оттягивает к себе электроны атомов кислорода в соседних молекулах. За счет та-

кой водородной связи каждая молекула воды оказывается довольно прочно связанной с четырьмя соседними молекулами.

Как же все-таки построены молекулы воды в воде?

К сожалению, этот очень важный вопрос изучен еще недостаточно. Строение молекул в жидкой воде очень сложно. Когда лед плавится, его сетчатая структура частично сохраняется в образующейся воде. Молекулы в талой воде состоят из многих простых молекул — из агрегатов, сохраняющих свойства льда. При повышении температуры часть их распадается, их размеры становятся меньше.

Взаимное притяжение ведет к тому, что средний размер сложной молекулы воды в жидкой воде значительно превышает размеры одной молекулы воды. Такое необычайное молекулярное строение воды обуславливает ее необычайные физико-химические свойства.

Какова должна быть плотность воды?

Правда, очень странный вопрос? Вспомните, как была установлена единица массы — один грамм. Это масса одного кубического сантиметра воды. Значит, не может быть никакого сомнения в том, что плотность воды должна быть только такой, какая она есть. Можно ли в этом сомневаться? Можно. Теоретики подсчитали, что если бы вода не сохраняла рыхлую, льдоподобную структуру в жидком состоянии и ее молекулы были бы упакованы плотно, то и плотность воды была бы гораздо выше. При 25°C она была бы равна не 1,0, а 1,8 г/см³.

При какой температуре вода должна кипеть?

Этот вопрос тоже, конечно, странный. Верно, при ста градусах. Это знает каждый. Больше того, именно температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении и выбрана в качестве одной из опорных точек температурной шкалы, условно обозначенной 100°C.

Однако вопрос поставлен иначе: при

какой температуре вода должна кипеть? Ведь температуры кипения различных веществ не случайны. Они зависят от положения элементов, входящих в состав их молекул, в периодической системе Менделеева.

Если сравнивать между собой одинаковые по составу химические соединения различных элементов, принадлежащих к одной и той же группе таблицы Менделеева, то легко заметить, что чем меньше атомный номер элемента, чем меньше его атомный вес, тем ниже температура кипения его соединений. Вода по химическому составу может быть названа гидридом кислорода. H_2Te , H_2Se и H_2S — химические аналоги воды. Если определить температуру кипения гидрида кислорода по положению его в периодической таблице, то окажется, что вода должна кипеть при $-80^\circ C$. Следовательно, вода кипит приблизительно на сто восемьдесят градусов выше, чем должна кипеть. Температура кипения воды — это наиболее обычное ее свойство — оказывается необычайным и удивительным.

При какой температуре вода замерзает?

Не правда ли, вопрос не менее странный, чем предыдущие? Ну кто же не знает, что вода замерзает при нуле градусов? Это вторая опорная точка термометра. Это самое обычное свойство воды. Но ведь и в этом случае можно спросить: при какой температуре вода должна замерзать в соответствии со своей химической природой? Оказывается, гидрид кислорода на основании его положения в таблице Менделеева должен был бы затвердевать при ста градусах ниже нуля.

Из того, что температура плавления и кипения гидрида кислорода — его аномальные свойства, следует, что в условиях нашей Земли жидкое и твердое состояния его также аномальны. Нормальным должно было бы быть только газообразное состояние воды.

Сколько существует газообразных состояний воды?

Только одно — пар. А пар тоже только один? Конечно нет, паров воды столько же, сколько существует различных вод. Водяные пары, различные по изотопному составу, обладают хотя и очень близкими, но все же различными свойствами: у них разная плотность, при одной и той же температуре они немного отличаются по упругости в насыщенном состоянии, у них чуть-чуть разные критические давления, разная скорость диффузии.

Может ли вода помнить?

Такой вопрос звучит, надо признать, очень необычно, но он вполне серьезен и очень важен. Он касается большой физико-химической проблемы, которая в своей наиболее важной части еще не исследована. Этот вопрос только поставлен в науке, но ответа на него она еще не нашла.

Вопрос в том, влияет или нет предыдущая история воды на ее физико-химические свойства и возможно ли, исследуя свойства воды, узнать, что происходило с ней ранее, — заставить саму воду «вспомнить» и рассказать нам об этом. Да, возможно, как это ни кажется удивительным. Проще всего это можно понять на простом, но очень интересном и необычайном примере — на памяти льда.

Лед — это ведь вода. Когда вода испаряется — меняется изотопный состав воды и пара. Легкая вода испаряется хотя и в ничтожной степени, но быстрее тяжелой.

При испарении природной воды состав изменяется по изотопному содержанию не только дейтерия, но и тяжелого кислорода. Эти изменения изотопного состава пара очень хорошо изучены, и так же хорошо исследована их зависимость от температуры.

Недавно ученые поставили замечательный опыт. В Арктике, в толще огромного ледника на севере Гренландии, была заложена буровая скважина и высверлен и извлечен гигантский ледяной керн длиной почти полтора километра. На нем были отчетливо различимы годовичные слои нарастающего льда. По всей длине керна эти слои были подвергнуты изотопному анализу, и по относительному содержанию тяжелых изотопов водорода и кислорода — дейтерия и ^{18}O были определены температуры образования годовичных слоев льда на каждом участке керна. Дата образования годовичного слоя определялась прямым отсчетом. Таким образом была восстановлена климатическая обстановка на Земле на протяжении тысячелетия. Вода все это сумела запомнить и записать в глубинных слоях гренландского ледника.

В результате изотопных анализов слоев льда была построена учеными кривая изменения климата на Земле. Оказалось, средняя температура у нас подвержена вековым колебаниям. Было очень холодно в XV веке, в конце XVII века и в начале XIX. Самые жаркие годы были 1550 и 1930.

То, что сохранила в памяти вода, полностью совпало с записями в исторических хрониках. Обнаруженная по изотопному составу льда периодичность изменения климата позволяет предсказывать среднюю температуру в будущем на нашей планете.

Это все совершенно понятно и ясно. Хотя и очень удивительна тысячелетняя хронология погоды на Земле, записанная в толще полярного ледника, но изотопное равновесие достаточно хорошо изучено и никаких загадочных проблем в этом пока нет.

Тогда в чем же состоит загадка «памяти» воды?

Дело в том, что за последние годы в науке постепенно накопилось много поразительных и совершенно непонятных фактов. Одни из них установлены твердо, другие требуют количественного надежного подтверждения, и все они еще ждут своего объяснения.

Например, еще никто не знает, что происходит с водой, протекающей сквозь сильное магнитное поле. Физики-теоретики совершенно уверены, что ничего с ней при этом происходить не может и не происходит, подкрепляя свою убежденность вполне достоверными теоретическими расчетами, из которых следует, что после прекращения действия магнитного поля вода должна мгновенно вернуться в прежнее состояние и остаться такой, какой была. А опыт показывает, что она изменяется и становится другой.

Из обычной воды в паровом котле растворенные соли, выделяясь, отлагаются плотным и твердым, как камень, слоем на стенках котельных труб, а из омагниченной воды (так ее теперь стали называть в технике) выпадают в виде рыхлого осадка, взвешенного в воде. Вроде разница невелика. Но это зависит от точки зрения. По мнению работников тепловых электростанций, эта разница исключительно важна, так как омагниченная вода обеспечивает нормальную и бесперебойную работу гигантских электростанций: не зарастают стены труб паровых котлов, выше теплопередача, больше выработка электроэнергии. На многих тепловых станциях давно установлена магнитная подготовка воды, а как и почему она работает, не знают ни инженеры, ни ученые. Кроме того, на опыте подмечено, что после магнитной обработки воды в ней ускоряются процессы кристаллизации, растворения, адсорбции, изменяется смачивание... правда, во всех случаях эффекты невелики и трудно воспроизводимы. Но каким образом в науке можно оценить, что такое мало и что — много? Кто возьмется это сделать? Действие магнитного поля на воду (обязательно быстротекущую) длится малые доли секунды, а «помнит» вода об этом десятки часов. Почему — неизвестно. В этом вопросе практика далеко опередила науку. Ведь даже неизвестно, на что именно действует

магнитная обработка — на воду или на содержащиеся в ней примеси. Чистой-то воды ведь не бывает.

«Память» воды не ограничивается только сохранением последствий магнитного воздействия. В науке существуют и постепенно накапливаются многие факты и наблюдения, показывающие, что вода как будто бы «помнит» и о том, что она раньше была заморожена. Талая вода, недавно получившаяся при таянии куска льда, как будто бы тоже отличается от той воды, из которой этот кусок льда образовался. В талой воде быстрее и лучше прорастают семена, быстрее развиваются ростки; даже как будто бы быстрее растут и развиваются цыплята, которые получают талую воду. Кроме удивительных свойств талой воды, установленных биологами, известны и чисто физико-химические отличия, например талая вода отличается по вязкости, по значению диэлектрической проницаемости. Вязкость талой воды принимает свое обычное для воды значение только через 3—6 суток после плавления. Почему это так (если это так), тоже никто не знает. Большинство исследователей называют эту область явлений «структурной памятью» воды, считая, что все эти странные проявления влияния предыдущей истории воды на ее свойства объясняются изменением тонкой структуры ее молекулярного состояния. Может быть, это и так, но... назвать — это еще не значит объяснить. По-прежнему в науке существует важная проблема: почему и как вода «помнит», что с ней было.

Знает ли вода, что происходит в космосе?

Этот вопрос затрагивает область столь необыкновенных, столь таинственных, до сих пор совершенно непонятных, наблюдений, что они вполне оправдывают образную формулировку вопроса. Экспериментальные факты как будто бы установлены твердо, но объяснения для них пока еще не найдено.

Поразительная загадка, к которой относится вопрос, была установлена не сразу. Она относится к малозаметному и как будто бы пустяковому явлению, не имеющему серьезного значения. Это явление связано с самыми тонкими и пока непонятными свойствами воды, трудно доступными количественному определению, — со скоростью химических реакций в водных растворах и главным образом со скоростью образования и выпадения в осадок труднорастворимых продуктов реакции. Это тоже одно из бесчисленных свойств воды.

Так вот, у одной и той же реакции, проводимой в одних и тех же условиях, время появления первых следов осад-

ка непостоянно. Хотя этот факт был давным-давно известен, химики на него внимания не обращали, удовлетворяясь, как это еще часто бывает, объяснением «случайными причинами». Но постепенно, по мере развития теории скоростей реакции и усовершенствования методики исследования, этот странный факт стал вызывать недоумение.

Несмотря на самые тщательные предосторожности в проведении опыта в совершенно постоянных условиях, результат все равно не воспроизводится: то осадок выпадает сразу, то приходится довольно долго ждать его появления.

Казалось бы, не все ли равно — выпадает осадок в пробирке за одну, две или через двадцать секунд? Какое это может иметь значение? Но в науке, как и в природе, нет ничего не имеющего значения.

Странная невоспроизводимость все более и более занимала ученых. И наконец был организован и осуществлен совершенно небывалый эксперимент. Сотни добровольных исследователей-химиков во всех частях земного шара по единой, заранее разработанной программе одновременно, в один и тот же момент по мировому времени снова и снова повторяли один и тот же простой опыт: определяли скорость появления первых следов осадка твердой фазы, образующейся в результате реакции в водном растворе. Опыт продолжался почти пятнадцать лет, было проведено более трехсот тысяч повторений.

Постепенно стала вырисовываться удивительная картина, необъяснимая и загадочная. Оказалось, что свойства воды, определяющие протекание в водной среде химической реакции, зависят от времени.

Сегодня реакция протекает совсем иначе, чем в тот же момент она шла вчера, и завтра она будет идти снова по-другому.

Различия были невелики, но они существовали и требовали внимания, исследования и научного объяснения.

Результаты статистической обработки материалов этих наблюдений привели ученых к поразительному выводу: оказалось, что зависимость скорости реакции от времени для разных частей земного шара совершенно одинаковая.

Это означает, что существуют какие-

то таинственные условия, изменяющиеся одновременно на всей нашей планете и влияющие на свойства воды.

Дальнейшая обработка материалов привела ученых к еще более неожиданному следствию. Оказалось, что события, протекающие на Солнце, каким-то образом отражаются на воде. Характер реакции в воде следует ритму солнечной активности — появления пятен и вспышек на Солнце.

Но и этого мало. Было обнаружено еще более невероятное явление. Вода каким-то необъяснимым путем отзывается на то, что происходит в космосе. Была установлена четкая зависимость от изменения относительной скорости Земли в ее движении в космическом пространстве.

Таинственная связь воды и событий, происходящих во Вселенной, пока необъяснима. А какое значение может иметь связь между водой и космосом? Никто еще не может знать, насколько оно велико. В нашем теле около 75% воды; на нашей планете нет жизни без воды; в каждом живом организме, в каждой его клеточке протекают бесчисленные химические реакции. Если на примере простой и грубой реакции подмечено влияние событий в космосе, то пока даже и представить себе нельзя, как велико может быть значение этого влияния на глобальные процессы развития жизни на Земле. Наверное, будет очень важной и интересной наука будущего — космобиология. Одним из ее главных разделов станет изучение поведения и свойств воды в живом организме.

Все ли свойства воды понятны ученым?

Конечно нет! Вода — загадочное вещество. До сих пор ученые не могут еще понять и объяснить очень многие ее свойства.

Можно ли сомневаться, что все подобные загадки будут успешно разрешены наукой. Но будет открыто немало новых, еще более удивительных, загадочных свойств воды — самого необыкновенного вещества в мире.



ЦИКЛ ВОДЫ



Ледовая инженерия



Художник Н. Краштин

От забав – к бизнесу

Вспомним знаменитый Ледяной дом, построенный по велению своенравной царицы Анны Иоанновны. Вот как повествует о нем автор одноименного романа И. Лажечников, которого похвалил сам Пушкин: «Между Адмиралтейством и Зимним дворцом, как бы по мановению волшебного жезла, встало в несколько дней дивное здание, какого ни одна страна, кроме России, не производила и какое мог только произвести суровый север наш с помощью жестокой зимы 1740 года. Все здание было из воды. Фундамент клался из воды; стены, кровля, стекла, украшения выводились из нее же; все спаивалось водою; вода принимала все формы, какие угодно было затейливому воображению дать ей. И когда солнце развернуло свои лучи на этом ледяном доме, он казался высеченным из одного куска сапфира, убранным фигурами из опала».

Писатель не считал лишним посвятить читателя и в технологию изготовления причудливой забавы. «Самый чистый лед, наподобие больших квадратных плит, разрубали, архитектурными украшениями убрали, циркулем и линейкой размеривали, рычагами одну ледяную плиту на другую клали и каждый ряд водою поливали, которая тотчас замерзала и вместо крепкого цемента служила. Таким образом чрез краткое время построен был дом, который был длиною в восемь сажен, шириною в две сажени с половиною, а вышиною вместе с кровлей в три сажени». Для достоверности Лажечников ссылался на редкую книжицу «Подлинное и обстоятельное описание построен-

ного в Санкт-Петербурге, в Генваре 1740 года, ледяного дома и всех находившихся в нем домовых вещей и уборов, с приложенными при том гридированными фигурами, также и некоторыми примечаниями о бывшей в 1740 году во всей Европе жестокой стуже, сочиненное для охотников до натуральной истории чрез Георга Волфганга Крафта, С.-Петербургской Императорской Академии Наук члена и физики профессора».

А придумок ледовых было там немало. В печке ледяные дрова, намазанные нефтью, горели постоянно, почти не истощаясь от таяния. Перед домом стояло шесть выточенных из льда пушек с колесами и станками, неоднократно стрелявших. «Напоследок в том же ряду у ворот стояли два дельфина. Сии дельфины помощью насосов огонь от зажженной нефти из челюстей выбрасывали, что ночью приятную потеху представляло».

Возможно, пример царственных особ надоумил нынешних предпринимателей строить ледяные отели. На севере Швеции, в Лапландии, высится гордость мировой ледовой архитектуры – «Айсотель». Сверкающие стены этой белоснежной гостиницы соперничают по яркости со сполохами северного сияния. Туристы едут в тундру, предпочитая пальмам и солнцу завывание выюги. Постояльцам предлагают любые зимние удовольствия: от ночевки на ледяном ложе до прогулок на собачьих упряжках.

Лед, полученный из чистых вод реки Торн, очень прозрачен, а если его подсветить, он заискрится, словно бриллиант. Весь «Айсотель» похож на прозрачный леденец. В номерах — кровати с морозными узорами, светильники-сосульки,



выбитые во льду ниши-полки. Внутри не холодно: когда на улице минус тридцать, в ледяном помещении всего минус пять. Для согрева постояльцам выдают оленин шкуры вместо простыней, а термоспальники заменяют обычные одеяла. В баре — своя экзотика, здесь облачаются в блестящие плащи для сохранения тепла, в ходу стаканы и блюда, высеченные из льда. В отеле есть свой Колонный зал в ледяном исполнении, художественная галерея с ледяными скульптурами. Натуры творческие не упустят возможность поучиться ледяному вааянию, используя вместо кисти и красок пилу и топорик. Экзотичны здесь и оздоравливающие процедуры: в дополнение к шведской бане местные мастера делают массаж с кусочками льда. Кристальный кинозал создает прямо-таки интимную обстановку: в темноте видны только белые облачка пара, выдыхаемого зрителями. В отеле есть даже ледяная церковь, где устраивают помолвку, свадьбу или крещение. Если же роскошные апартаменты опустошат бумажник, можно переселиться в эконом-класс: бунгало-иглу, расположенное по соседству с отелем.

Ледяных гостиниц в мире становится все больше. В Норвегии появился «Иглу-отель» с ледяным храмом и снежной галереей искусств, в Финляндии — «Сноу-отель» с замком, церковью, галереей, горкой и лабиринтом из снега и льда. Подобные развлекательно-увеселительные заведения стали появляться и на американском континенте.

Снежно-ледяные чертоги возводят даже в жарких странах. Среди барханов Аравийской пустыни на площади в 40 га пост-

роят куполообразный ледник с круговыми заснеженными горнолыжными спусками и высотными перепадами. Тут же вырастет волшебный зимний город с кафе, ресторанами, магазинами, рынками, елками, Санта-Клаусами. О высоте снежно-ледового чуда в пустыне пока не сообщается. Наверное, сложно рассчитать скорость таяния снега и льда в 40-градусную жару.

Лед – вода, горная порода, строительный материал

Забавы подталкивали к изобретательству, но еще больше идей подсказывала сама природа. Взять хотя бы плотины. Сколько людям приходилось наблюдать снежно-ледовых запруд в долинах рек, на ручьях в балках, оврагах! Особенно крупные случались в горах при продвижении ледников. Нередко природные ледовые сооружения грозили бедами. Задержанные водные потоки образовывали целые озера. С наступлением весны плотины прорывало, и вода устремлялась вниз, неся разрушения и жертвы. Опасность представляли и ледяные мосты. Они образовывались на малых реках после ледостава, когда быстро падал уровень воды, и угрожали обвалом не только транспорту, но и пешеходам. Однако идея строительства плотин и мостов изо льда понравилась инженерам.

До недавнего времени лед рассматривался исключительно как водный ресурс. А ведь это еще и инженерно-строительная порода. Для успешного применения сооружений в высокогорье или высоких широтах мало знать те характеристики льда, которые определяют и для обычных строительных материалов. Модификации льда были описаны еще П.Бриджменом в 30-е годы прошлого века, но поведение этого вещества при различных нагрузках все еще не исследовано до конца. Прежде всего нужно изучить его пластичность в зависимости от структуры, размеров, температуры окружающей среды. Мощным стимулом для этих разработок стали развитие гидроэнергетики и судоходства в холодных регионах, открытие нефти и газа под ледяными покровами.

В научных словарях появился термин «технический лед». Это не только тот материал, который выпиливают или выкалывают из естественных ледяных массивов для строительства, холодильной промышленности, транспорта, но и тот, что создают послойным или брызговым намораживанием, часто с добавлением армирующих компонентов — песка, гравия, древесноволокнистых материалов, стекловолокна. Так в арсенале строителей появились ледобетон, дереволед, пенолед, песколед, пластолед. Оказалось, что искусственный лед, малозернистый и пористый, более прочен, чем естественный, да к тому же легко режется ножом бульдозера. Ледяной монолит оказывается особо прочным, если его создают из переохлажденной воды (до -40°C). В этом случае между кристаллами льда образуются тонкие аморфные прослойки. Еще лучше скрепить такие образования можно воздействием ультразвука. Но инженерам этого мало: они пытаются дополнительно увеличить прочность льда. Так, в Якутском университете успешно ведутся эксперименты по вмораживанию 5–10-миллиметровых шариков из полиэтилена в лед для работы при больших нагрузках.

А задачи у ледостроителей все усложняются. От ледяных мостов и причалов они переходят к более замысловатым конструкциям, необходимым для строительства платформ, ледяных дамб, дорог-зимников. И для каждого ледяного сооружения нужны особые подходы. Так, для удлинения срока работы автозимников участки с ослабленным ледяным покровом укрепляют: намораживают на них дополнительный слой льда. Для этого по обеим сторонам намечаемой полосы насыпают валики из снега и внутреннее пространство послойно заливают водой. Часто лед армируют тальником, жердями, досками.

Появилась потребность в ледяных платформах и островах для бурения морского льда и добычи полезных ископаемых со дна, погрузочно-разгрузочных работ, научных исследова-

ний. Однако они не слишком устойчивы к воздействию ветров, волн, течений и быстро разрушаются при потеплении. Поэтому инженеры строят комбинированные ледяные и гравийно-галечниковые острова. Их создают так же, как ледовые переправы или плотины. На ледовый покров насыпают привезенный материал, под его тяжестью лед тонет, а затем на него намораживают дополнительные порции. Такой остров был сделан насосами близ северного побережья Аляски для установки буровой платформы.

Варианты ледогрунтовых сооружений разнообразны. Имеются даже проекты с системами охлаждения внутри ледяного массива. В этом случае промерзает не только вода, но и морское дно, так что ледяной массив смерзается с ним. Срок эксплуатации таких ледяных сооружений практически неограничен.

Особенно заманчивы проекты искусственных островов на арктическом мелководье. Плавающее ледяное поле прорезают насквозь по контуру будущего острова, а сверху намораживают воду. Под действием силы тяжести вырезанный участок постепенно опускается на дно. Затем в майну насыпают донный грунт и в него устанавливают замораживающие колонки. Таким образом, остров застрахован и от сдвигов, и от разрушения волнами или течением. Есть также предложения использовать для строительных целей плавающие айсберги.

Ну а довелось бы побывать господину Крафту, Санкт-Петербургской Императорской академии наук члену и физики профессору, устройтелю Ледяного дома, на современном ледовом аэродроме, он бы онемел от удивления. Подготовка льда для взлета и посадки самолетов и вертолетов — это еще одно направление инженерной гляциологии. Лед усиливают, армируют хворостом, тонкими бревнами, проволокой, тросом. Затем для лучшего сцепления поверхности с колесами посыпают абразивными материалами, обрабатывают бородами, шиповыми катками и другими орудиями. С трещинами борются, выпиливая во льду узкие каналы-швы и заливая их отработанным маслом или керосином. Лед если и будет трескаться, то только по этим незамерзающим ориентирам, а нужный участок останется нетронутым. Только тот, кому приходилось бывать пассажиром на экстремальных авиалиниях Крайнего Севера или Антарктиды, может оценить труды гляциологов.

Патент на фирн

Среди авторов изобретений практически не бывает географов — не та наука. Тем не менее еще в 1990-е годы доктор географических наук В.Г.Ходаков и кандидат географических наук А.В.Сосновский получили авторское свидетельство на «Способ опреснения морской и соленой воды». Этот метод оказался полезен и в ледовом строительстве.

Искусственное намораживание льда — дело не новое. Его давно применяют, если нужно увеличить толщину льда на водоемах или возвести зимой склады. Обычно для этого лед на морозе поливают водой. Но как сделать этот процесс более интенсивным? Для этого были нужны дополнительные исследования. Руководитель лаборатории инженерной гляциологии Института географии РАН Владимир Георгиевич Ходаков рассказывал:

«Дело было в мае на Полярном Урале. Мороз -17°C , ветер, а на озеро из густого тумана падал... дождь. Конечно, искусственного происхождения. Гляциологи нашего института проводили эксперимент по намораживанию льда с помощью дождевальной установки. На высоту около 20 метров поднимался фонтан воды: 65 литров в секунду. На восходящей ветви траектории струя слегка расширялась, а на вершине разбрызгивалась. И шел поток из капель, частично замерзавших на лету. Морозный ветер усиливал разбрызгивание, постепенно рос бугор с округлыми склонами. За 19 часов он поднялся на семь метров. Образовалось примерно 1200 тонн плотного зернистого фирна. За два месяца работы, с учетом неизбежных перерывов, можно сотворить таким образом целый ледник».



фото: flickr.com

Ледовые дороги

За рубежом факельный метод получения льда впервые применили лет тридцать назад. Однако тогда микрокапельный факел получали с помощью разбрызгивателей (спринклеров) на выходе воды из агрегата. При этом используют только холод тонкого приземного слоя воздуха. Лед образуется медленно, и материал получается рыхлым, больше похожим на снежную кашу. Он годится для лыжных трасс и трамплинов, но там, где требуется твердый лед, подобный метод вряд ли применим. Отечественный способ намораживания, опробованный географами на Полярном Урале, охватывает больший слой воздуха, и скорость формирования льда резко возрастает.

Уже с конца 1970-х годов инженеры-гляциологи Института географии начали проводить лабораторные и натурные эксперименты по использованию отечественной дождевальной техники для быстрого получения льда. Временные небольшие сооружения удавалось намораживать садовыми разбрызгивателями, но более перспективными оказались дальнотруйные установки. Одним таким агрегатом за четверо суток удалось увеличить толщину льда на Лене с 20 до 80 см и открыть ледовую переправу на месяц раньше обычного срока. Такой полуискусственный лед прекрасно выдерживал машины массой до 10 т.

Затем перешли к использованию этого метода для опреснения соленой воды вымораживанием. Ранее подобный эксперимент прошел в США, на Аляске. Но там в массиве искусственного снега толщиной около одного метра, образовавшемся на значительной площади, большая часть пор оказалась заполненной соленой водой. Эксперимент прекратили, признав метод недостаточно эффективным. Наши географы и здесь оказались более изобретательными.

Подобным образом теперь получают пресную воду в засушливых районах развитого скотоводства и орошаемого земледелия. Разыскав артезианский бассейн, в нем бурят скважины с максимальным напором и расходом воды. Однако подземные воды нередко оказываются солеными. В таком случае вентиль перекрывают до зимы. Когда устанавливаются морозы до -20°C , кран открывают, и фонтанирующая вода начинает превращаться в искусственный фирн. Поскольку намораживание идет непрерывно, фирново-рассольная смесь все время поддерживается при температуре замерзания. При этом пресноводный кристаллический «скелет» льда накапливается, а избыточный рассол свободно фильтруется сквозь фирн и стекает по уклону местности. Остается пресная глыба льда.

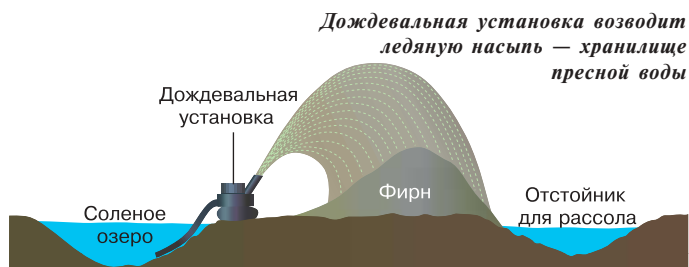




фото: jedidiah.stuff.gen.nz

Интерьер ледовой гостиницы

Один агрегат при хорошем напоре воды и температуре воздуха около -20°C откладывает свыше 1500 т льда в сутки. За три месяца вырастает полновесный ледник, к тому же почти пресный. В замкнутых порах пресного льда удерживается не более 10% исходной соленой воды. Даже при ее солёности воды 15 г/л полученная в итоге смесь отвечает санитарным нормам. Но не страшна и гораздо более соленая вода. После первых же весенних оттепелей пористый фирновый массив полностью промывается талой водой и превращается в источник пресной воды, вполне пригодный для водопоя скота, орошения сельскохозяйственных угодий, технического и бытового водоснабжения. Никаких затрат на получение воды больше не требуется. Если фирн тает слишком быстро, дополнительные средства понадобятся только для создания водоприемника достаточного объема либо для укрытия искусственного ледника теплоизолятором.

Гляциозкология

В поле зрения инженерной гляциозкологии – снег и лед как среда обитания живых организмов и человека. Инженерные сооружения ускоряют таяние снега, человек нередко провоцирует появление наледей, таяние подземных и поверхностных льдов, образование провалов, а это может повредить растениям и животным.

Каковы перспективные задачи у инженеров-гляциозкологов? Уже сейчас они участвуют в градостроительстве и обсуждают проекты городов в искусственных снежниках с коммуникациями, садами, парками, улицами в виде траншей и котлованов. Речь не о том, чтобы «свернуть шею» Земле, сместив земную ось с помощью гигантского взрыва, как предлагал один из героев Жюль Верна для отепления Арктики. Разговор о вживании в естественные условия.

Снег в северных и горных регионах — это и основание для фундаментов, и материал для строительных конструкций, и среда обитания. Для возведения зданий специальные машины вырезают снежные брикеты. Снежные дома и склады-холодильники, если их правильно возвести и изолировать от внутреннего тепла, прослужат долго. Главное — избежать ползучести. В отличие от чистого льда снег сильно деформируется, причем снежная постройка может просесть под собственным весом. Ползучесть, или пластичность, льда намного меньше, хотя и его разрушение под действием тяжести нельзя не учитывать в строительстве. С другой стороны, со временем снежно-ледяная масса укрепляется, «спекается» в монолит. Куски на стыках оплавляются и привариваются друг к другу морозным швом.

Сооружения из снега могут нормально функционировать и при положительных температурах, требуются только тщательная теплоизоляция, искусственное охлаждение и уплотнение снега. Тогда и снежная баба переживет любое потепление. А вот целые поселения в сплошных льдах — это пока полужанитарные проекты.

Уже планируется проложить первую скоростную автомагис-

траль из сверхпрочного льда от Аляски до Шпицбергена через Северный полюс, с ответвлениями к Европе, Азии, Гренландии. «Мировая трасса номер один» — так назвал ее автор проекта Г.Хайнце, вице-президент американской нефтяной компании «Арк». На роль «асфальта» выбран гранулированный лед, который ранее использовали для создания искусственных ледяных островов под буровые газонефтяные вышки. Технология его производства — разбрызгивание воды в очень холодном воздухе — неплохо освоена. Спрессованные ледяные частички дают прочный и вместе с тем упругий материал. Это необходимо, чтобы выдержать движение паковых льдов. Инженеров привлекает дешевизна и простота изготовления такого покрытия.

Магистраль будут строить с помощью машины, движущейся по дороге по мере ее строительства, а воду для намораживания станут качать из-под льда. С экологией в этом проекте как будто все в порядке — если, конечно, удастся не загрязнять холодные арктические воды с их замедленным режимом обновления. А вот как преодолеть дрейф льдов? Или это будет временная дорога, наподобие зимников на замерзающих реках?

В реальности города Поулстар (Звезда Полюса) автор проекта убежден не меньше, чем в самой магистральной. Располагаясь на пересечении ледовых дорог, он станет крупным торговым центром. Питание жителей обеспечат местные ресурсы — рыба, креветки и гидропонная, то есть произрастающая в воде, растительность. Энергетические установки могли бы каким-то образом задействовать магнитное поле Земли или энергию, сконцентрированную в полярных сияниях.

С арктическими и горно-ледниковыми районами связано огромное количество заманчивых и дерзких замыслов. Например, есть грандиозный проект 1120-километрового тоннеля в Гренландии, который протянется от западного до восточного побережья через льды и горы острова. Его диаметр будет сравнительно небольшим, рассчитанным на однокорейное полотно электрифицированной дороги. Основная сложность — преодолеть движение льда, ведь в некоторых местах смещение достигает 20 м в сутки. Придется, видимо, искать участки неподвижного материкового льда или предпосылку проходку в скальных массивах.

Видимо, лед теперь будет постоянно привлекать к себе внимание нетрадиционно мыслящих инженеров. Сегодня гляциологам по силам управлять лишь отдельными элементами гляциосферы: усиливать таяние ледников и увеличивать их сток; покрывая тонким слоем веществ ледники, уменьшать их испарение и отступление; обстреливать лавинные склоны, тем самым обеспечивая дополнительное питание ледника. При этом необходимо четко различать, где еще можно «командовать» природой, а где силовые методы уже противопоказаны и человеку остается только подчиняться. Корректируя природу, нельзя забывать, что нарушения естественных законов развития могут повлечь за собой необратимые, а подчас и катастрофические процессы. Иначе хрупкая красота ледяного ожерелья планеты окажется под угрозой.



ТЕХНОЛОГИИ



VI Всероссийская олимпиада по органической химии

для студентов, аспирантов и молодых ученых

апрель 2007, Москва

Химический факультет МГУ

в рамках

Международной конференции студентов и аспирантов
по фундаментальным наукам "Ломоносов-2007"



МГУ,
Химический факультет



ChemBridge Corporation



Высший химический колледж РАН

при информационной поддержке
журнала "Химия и жизнь-XXI век"

Председатель:

В.В. Лунии,
академик РАН, профессор,
декан Химического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова

Заместитель председателя:

А.В. Анисимов, профессор,
зам.декана Химического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова

Организационный комитет:

С.Е. Семенов,
Высший химический колледж РАН
С.Е. Сосонюк,
МГУ им. М.В. Ломоносова
Б.И. Покровский,
МГУ им. М.В. Ломоносова
А.В. Куракин,
ChemBridge Corporation

Участникам олимпиады, вошедшим в десятку сильнейших, фирма ChemBridge компенсирует проезд в Москву (в обе стороны, исходя из стоимости плакатного билета).

ChemBridge Corporation дополнительно награждает 20 лучших олимпиадцев, из числа аспирантов, молодых ученых, а также студентов выпускных курсов однодневными пропусками на участие в международном симпозиуме ASMC-2007, который будет проходить с 27 по 31 августа 2007 года в Санкт-Петербурге. Этот симпозиум, проводимый фирмой ChemBridge Corporation совместно с Европейской Федерацией Медицинской Химии (EFMC) и Американским Химическим Обществом (ACS), соберет ведущих химиков всего мира.

Проезд Москва-С.Петербург олимпиадцам будет оплачен.

ASMC
St PETERSBURG 07
www.asmc07.org

Призовой и стипендиальный фонд
составляет более 150000 рублей!

Мы ждем вас!

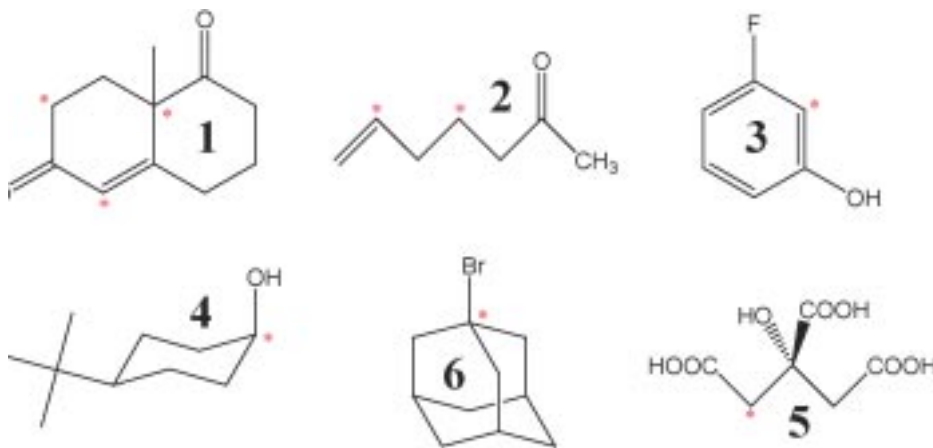
Приходите и побеждайте!

Регистрационная форма и задачи
для разминки опубликованы на
сайте www.chembridge.ru и в
журнале "Химия и жизнь-XXI век"
(№1, 2007)

Регистрационные формы
присылайте по адресу
olympiada@chembridge.ru
или Москва, 119048, а/я 424
тел: (495)775-06-54 доб. 12-01, 12-19,
факс: (495)956-49-48
www.chembridge.ru

Задачи для разминки к Всероссийской олимпиаде по органической химии

Спланируйте синтез
нижеприведенных
структур (1-6),
содержащих ^{13}C -метки
в указанных (*) положениях.
В качестве исходных веществ,
не обогащенных ^{13}C ,
можно использовать любые
доступные реактивы
(например, имеющиеся
в каталоге Aldrich),
а в качестве источника ^{13}C
– только следующие три:
 $^{13}\text{CH}_3\text{I}$, K^{13}CN , $\text{K}_2^{13}\text{CO}_3$.



ЗАО «КАТАКОН» предлагает
совместную разработку ЗАО «КАТАКОН»,
Института катализа им. Г.К.Борескова СО РАН,
Института физики полупроводников СО РАН

АНАЛИЗАТОРЫ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ



630090 Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, 5, ЗАО «КАТАКОН»
телефон +7(383) 3397265, 3331084;
факс (383) 3308766,
e-mail: catacon@ngs.ru
www.catacon.ru

Измерение удельной поверхности приборами серии **СОРБТОМЕТР** базируется на тепловой десорбции аргона или азота методами БЭТ и STSA. Приборы эффективны для определения текстурных характеристик дисперсных и пористых веществ и материалов в научных исследованиях, в промышленности (контроль качества сырья и готовой продукции), а также в учебных целях. Измерения прибора **СОРБТОМЕТР** основаны на одноточечном методе БЭТ, **СОРБТОМЕТР-М** — на многоточечных методах БЭТ и STSA. Метод STSA позволяет определить объем микропор образца.

Технические характеристики приборов

Диапазон измеряемой удельной поверхности..... 0,1–2000 м²/г
Диапазон относительных парциальных давлений газа-адсорбата 0,03–0,95
Полная автоматизация цикла адсорбция-десорбция.
Встроенная в прибор станция подготовки исследуемых образцов к измерениям.
Управление процессом измерения и обработка результатов с использованием ЭВМ.

Мы обучаем персонал потребителя работе на приборе, обеспечиваем техническое и методическое сопровождение прибора во время эксплуатации.

Биоресурсы

В ноябре в Москве прошли первая в России Международная выставка и конференция «Биоэнергетика-2006». Биоэнергетика — это уже не очень новая наука и технология, которая включает в себя разнообразные технологии, позволяющие получать из биомассы и различных отходов свет, тепло и топливо. Темы на конференции обсуждали самые разные — от теоретических разработок и конкретных установок по переработке отходов растениеводства и лесоперерабатывающей промышленности до региональных программ по развитию биоэнергетики. С яркими докладами выступили академик РАН И.И.Моисеев и доктор биологических наук Е.С.Панцхава. На их основе и была написана эта статья.



Биоэнергетика в последнее десятилетие стала важным сектором большой энергетики. Во многих странах мира — в ЕС, Индии, Китае, Бразилии — ее вклад в энергобаланс сегодня превышает суммарный вклад остальных возобновляемых источников энергии. К 2010 году 27 стран ЕС планируют довести вклад биоэнергетики в общий баланс производства энергии до 12%.

Основные направления использования биомассы в энергетике Европейского союза — это производство пиллет (горючих брикетов) и древесной щепы для прямого сжигания; газификация и пиролиз биосырья и твердых бытовых отходов; производство биоэтанола, биодизельного топлива, биоводорода и биогаза. Количество биомассы на нашей планете (не говоря об отходах) огромно — примерно 800 млрд. тонн, причем четверть этого количества ежегодно возобновляется. Вполне возможно, что через несколько десятков лет растительное сырье будет питать не только энергетику, но и химическую промышленность.

На конференции не раз отмечали, что у России — огромная сырьевая база для развития биоэнергетики. Это прежде всего органические отходы агроперерабатывающих комплексов, городов и лесопереработки. В Институте энергетической стратегии подсчитали, что в настоящее время ежегодный объем органических отходов сельского хозяйства и городов по всем регионам России в сумме составляет почти 700 млн. тонн (260 млн. тонн по сухому веществу). Структура этих отходов такова: 20% потенциальной энергии приходится на отходы животноводства и птицеводства, 58% — на растениеводство, 7,9% — на отходы перерабатывающей промышленности, 11,9% — на твердые бытовые отходы и 1,2% — на осадки сточных вод. Все это могло бы дать до 58 млрд. м³ биогаза

(46 млн. тонн условного топлива), 90 млн. тонн пиллет или 75 млн. тонн «син-газа» (синтез-газа), который можно конвертировать в 160 млрд. м³ водорода и 330 тысяч тонн этанола...

Все выступавшие также констатировали, что пока Россия — богатая нефтяная и газовая держава — не торопится с внедрением биотехнологий, равно как и с введением мер государственного регулирования для их развития.

Если о биоресурсах рассказывать подробно, получится солидная монография, поэтому попробуем хотя бы упомянуть самые перспективные технологии, условно разделив их по типам получаемого топлива: биогаз, биодизель и биоэтанол. Но сначала поговорим о том, что не вполне входит в сферу биоэнергетики.

Ничего не выбрасывать: сжигать и газифицировать

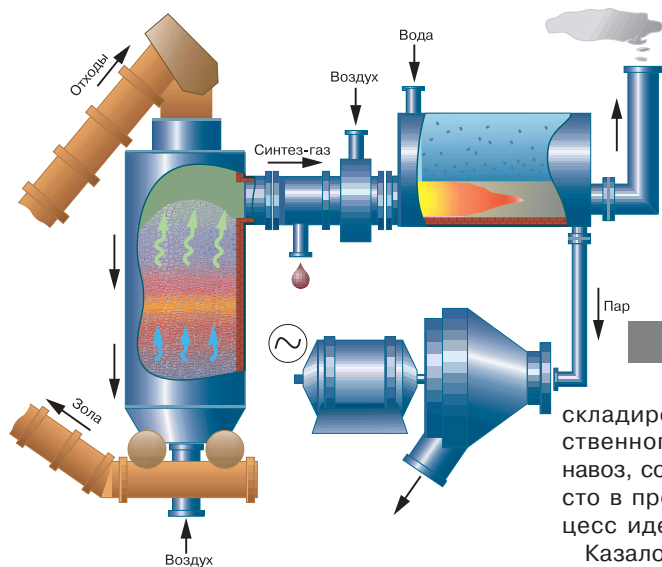
Речь пойдет о получении энергии из твердых бытовых отходов и отходов древесины (пиллет, древесных гранул). Например, отходы древесины можно просто сжигать (получая тепловую и электрическую энергию), что и делают в странах ЕС, а можно их газифицировать и получать синтез-газ, который в свою очередь конвертируют в водород и метанол. Сырьем для газификации служит не только древесина, но и солома, стебли кукурузы, отходы растениеводства и лесоводства, а еще сырье, выращенное на специальных плантациях.

Твердые бытовые отходы (ТБО) сжигают и получают из них синтез-газ. Его состав не всегда одинаков: водород (25—42%), угарный газ (25—42%), углекислый газ (10—35%), азот (2—5%), чуть больше 1% метана, следы сероводорода. Но это не мешает Японии (префектура Чибэ) получать таким об-

разом водород для сталелитейного завода. В Италии (Фондотто) работает электростанция на син-газе, полученном при газификации ТБО. На заводе в Германии (Карлсруэ) 720 тонн ТБО в сутки идет на обогрев муниципальных зданий и работу паровых турбин. В Париже вообще около 80% потребляемой энергии производится за счет сжигания городских отходов. Специальные меры по стимулированию производства энергии из бытовых отходов приняты в Голландии и других странах. Сегодня в мире работают около 3800 заводов, которые сжигают мусор и производят энергию.

В России только пробиваются первые ростки подобных технологий — сегодня работают четыре мусоросжигательных завода. В подмосковных Мытищах и Серпухове построены демонстрационные полигоны. Институт проблем химической физики РАН запустил пилотную установку около шоссе Энтузиастов (рис. 1). В ней можно газифицировать твердые топлива и отходы с зольностью до 90% и влажностью до 60%. КПД этой установки достигает 95%.

Возможны и более прогрессивные технологии использования отходов, предполагающие глубокие химические превращения и даже получение нефти, — это пиролиз. При пиролизе лигноцеллюлозный материал перерабатывается без доступа воздуха, превращаясь в жидкое органическое топливо — бионефть. Подобный завод компании «Dynamotive Energy Systems» (Канада, провинция Онтарио) может перерабатывать в сутки 200 т самого разнообразного сырья, выдавая высококлассное топливо. Сырьем могут служить почти 20 видов биомассы: кукурузные отходы, еловая и сосновая древесина, древесина лиственницы, багассы, березы, черного тополя, кедра, солома, твердые бытовые отходы. Пиролизом из тонны биомассы



1
Термохимическая конверсия и сжигание
возобновляемого сырья
ИПХФ РАН



ТЕХНОЛОГИИ

получают от 580 до 800 кг бионефти, причем лучший результат получается с кукурузными отходами.

Фирма «Changing World Technologies» придумала, как переводить в нефть и газ любые отходы методом термической деполимеризации. С ее помощью можно получать нефть с КПД около 85%. В дело пойдет все: пластмассы, биологические остатки, стоки канализационных вод, тяжелые нефтепродукты, отработанные автомобильные шины и медицинские материалы. В первую такую промышленную установку (штат Миссури), которая будет давать высококачественную нефть при затратах 8—12 долларов за баррель, инвестировано 20 млн. долларов.

Биогаз

Биогаз — это биометан или биоводород, которые получают из бытовых органических отходов, навоза или любых сточных вод методами ферментации. В основном получают метан. Его, как и природный газ, можно использовать в чистом виде и делать из него жидкие моторные топлива, причем инфраструктуру менять не надо. Метановое сбраживание отходов осуществляют с помощью специальных бактерий — это довольно простая и экономичная технология. Вообще-то практически тот же процесс происходит в природе, если

складировать отходы сельскохозяйственного и пищевого производств, навоз, солому или сточные воды. Просто в промышленной установке процесс идет гораздо быстрее.

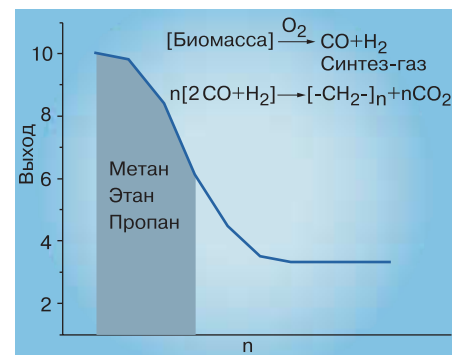
Казалось бы, любой фермер может купить такую портативную установку и обеспечить электроэнергией не только свой дом, но и хозяйство. Именно так и обстоит дело в Китае, где с середины 70-х годов XX века действует национальная программа по получению биогаза из отходов животноводства. К 2004 году в этой стране работало 10 млн. фермерских биореакторов, кроме того, 64 тысячи биогазовых станций, обеспечивающих работу 190 электростанций и более 60% автобусного парка. Китай — безусловный мировой лидер биогазовой промышленности.

В США биогаз занимает второе место по важности среди биотоплив (после этанола). Недавно там приняли закон об оборудовании всех полигонов твердых бытовых отходов системами по их конверсии в смесь метана и CO_2 . В ЕС работают более 800 биогазовых установок, к 2010 году там планируется произвести из биогаза 15 млн. тонн нефтяного эквивалента топлива. В Швеции почти 800 автобусов ездят на биогазе и первый в мире поезд. Его пробег до заправки — 600 км, максимальная скорость — 130 км/ч.

Недостаток биогаза в том, что получается не чистый метан, а его смесь с CO_2 . Углекислый газ — это балласт, от которого лучше избавиться, а классическим способом это делать невыгодно. Проблему решают по-разному. Например, ученые из Института нефтехимического синтеза (ИНХС) РАН предложили такие контакторы, которые

практически без затрат энергии могут освобождать биогаз от CO_2 (рис. 2). Метод сочетает абсорбционное и мембранное разделение, а пилотные установки обеспечивают производительность 50 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Метан можно использовать сам по себе, а можно получать из него жидкое топливо. Вот тут и кроется вторая проблема. Метан превращают в синтез-газ, а его с помощью метода Фишера — Тропша — в жидкие углеводороды (рис. 3). Этот метод, честно говоря, не идеален, поскольку требует большого количества капитальных вложений. При некоторых схемах произ-



3

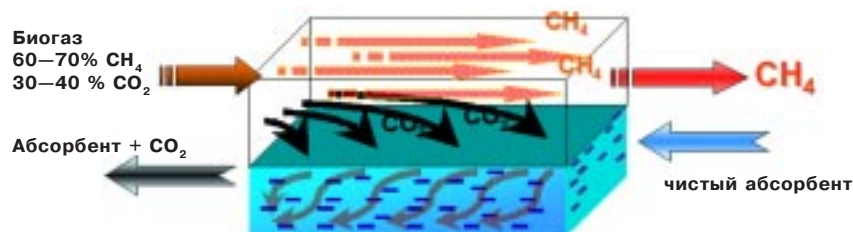
Получение синтез-газа из биомассы

водства на каждое звено CH_2 жидкого топлива получается одна молекула CO_2 . Тем не менее во всем мире строятся заводы, реализующие эту технологию за неимением лучшей, — их уже около 30.

Не так давно в ИНХС РАН разработали способ синтеза диметилового эфира из синтез-газа. Метод несколько менее затратный, чем процесс Фишера — Тропша, и он позволяет получать высокооктановый бензин. Кроме того, нашим химикам удалось использовать воздух вместо чистого кислорода, что также удешевляет производство.

Биодизель

Биодизель можно сделать из любого растительного масла: рапсового, соевого, арахисового, пальмового, отработанного подсолнечного и оливкового, а также из животных жиров. Жиры эте-



2

Разделение биогаза с помощью мембранных контакторов
ИНХС им.А.В.Топчиева РАН

Таблица

Сырье	Производительность, т/га	Цена спирта, \$/м ³
Сахарная свекла (цена 15 евро/т)	2,5—3,0	300—400
Сахарный тростник	3,5—5,0	160
Кукуруза	2,5	250—400
Пшеница	0,5—2,0	380—400
Картофель	1,2—2,7	800—900
Сладкое сорго	3,0—5,0	200—300
Кассава (маниок)	1,5—6,0	700
Синтетический спирт		540

рифигируют метиловым спиртом, после чего получают метиловые эфиры (биодизель) и побочный продукт глицерин (он нужен в производстве пластмасс, в тонкой химии, но надо искать и новые пути его применения). Биодизель можно заливать в обычные двигатели внутреннего сгорания в чистом виде или смешивать с минеральным дизтопливом.

Обычный двигатель будет работать и просто на растительном масле (либо его можно добавлять к дизелю), но при этом рано или поздно возникают технические проблемы, поскольку масло сгорает не полностью. Тем, кто на это отваживается, приходится применять разные ухищрения: оборудовать автомобиль специальными форсунками и прочими деталями. Только в этом случае можно надеяться, что масла будет расходоваться меньше, чем обычного нефтяного дизтоплива. Из-за этих сложностей гораздо выгоднее сначала получить из масла биодизель. Тем более что его производство довольно простое, а оборудование недорогое.

У биодизеля много преимуществ по сравнению с обычным минеральным: метиловые эфиры хорошо воспламеняются; у них выше цетановое число; их выхлоп нетоксичен, поскольку топливо не содержит серу. Кстати, несмотря на отсутствие серы, у биодизеля хорошие смазочные свойства. Самое важное, что при его сгорании выделяется ровно столько же углекислого газа, что поглотило из атмосферы растение, служившее сырьем.

Одна из самых перспективных культур для производства биодизеля — это рапс. Именно поэтому он вышел на третье место в мировом производстве масличных растений (после сои и хлопка), опередив даже подсолнечник. Многие его считают культурой XXI века. Ведь помимо всего прочего рапс улучшает свойства почвы, и его урожайность достигает 35 ц/га. После того как из семян удаляют масло, остается шрот — высококачественный корм для скота. Стоимость биодизеля из рапса в ФРГ — 0,5 евро (бензин стоит 1 евро). При этом

для 100 км пробега необходимо всего 4—5 литров такого дизеля. Впрочем, каждая страна делает биодизель из того масла, которое у нее в избытке.

В Татарстане сегодня строят специализированный маслоэкстракционный завод для переработки 300 тысяч тонн рапса в год (правда, не для биодизеля, а для производства децана-1). Украина тоже думает об этой проблеме. Россия же в целом не слишком торопится, полагая, что это нерентабельно. А вот чешская компания ARKEO считает, что выращивать рапс и сурепицу в России выгодно, и выплачивает за тонну рапса хозяйствам по 4750 руб.

Остальные страны также расценивают это направление как чрезвычайно экономичное. В Великобритании рапс выращивают уже на 1,5 млн. га (с гектара можно получить три тонны растительного масла и соответственно тонну дизельного топлива). В Англии, Франции и Италии биодизельное топливо составляет 3% общего производства дизеля. Вся Западная Европа сейчас производит 700 тыс. т в год дизельного топлива растительного происхождения, и планируется, что к 2010 году эта цифра вырастет до 8,3 млн. т. В США к 2010 году 20% дизельного топлива должен составлять биодизель.

Биоэтанол

Этанол — один из краеугольных камней в фундаменте биоэнергетики. Топливный этанол получают ферментацией сахара, который, в свою очередь, извлекают из крахмала зерновых (кукурузы, пшеницы) или картофеля. Сырьем также может служить сахарный тростник, некоторые тропические растения, древесина или солома.

Добавки этанола в бензин (до 20%) существенно улучшают его качество, поскольку повышается октановое число. Добавление одной части этанола в бензин экономит три части нефти, при этом спиртом можно разбавлять бензин без изменения конструкции двигателей. Смесь бензина и этанола (Е-10, поскольку этанола там 10%) американ-

ские автомобилисты используют уже четверть века.

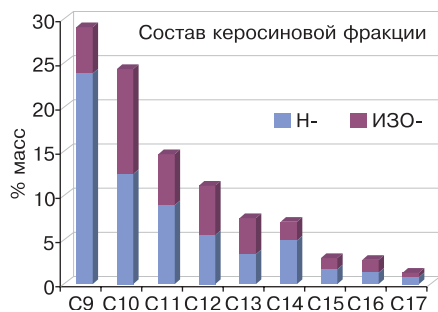
Сегодня около 95% этанола получают из растительного сырья. О гидратации этилена, такой модной в начале 50-х годов прошлого столетия, почти никто не вспоминает. В производстве топливного этанола лидируют Бразилия и США (по 12 млн. тонн в год). Доля этанола в общем объеме топлива в США достигает 14%, его производят 95 заводов и строятся еще 35. В Евросоюзе производство этанола также активно растет (18 заводов), поскольку там принят закон о доведении доли автомобильных биотоплив (то есть топлив из возобновляемого сырья) до 5,75% к 2010 году. Китай и Индия тоже приняли подобную программу, поэтому в Китае сейчас строят заводы для производства 800 тысяч тонн этанола в год.

Стоимость биоэтанола сильно зависит от сырья (см. таблицу). Самый дешевый вариант — производить спирт из сахарного тростника на Кубе и экспортировать его в другие страны. В России почему-то ориентируются на пшеницу, хотя еще в начале 30-х годов академик С.В.Лебедев говорил: «Дайте мне 1/10 посевных площадей, занятых картофелем, и я обеспечу всю страну синтетическим каучуком» (каучук получают из этанола).

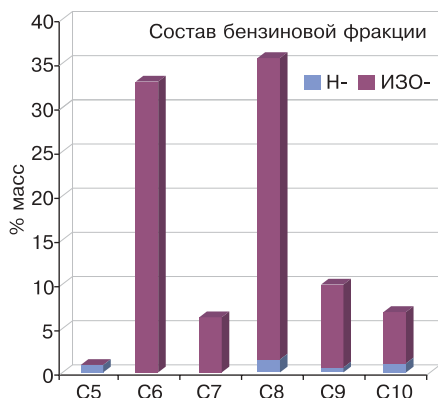
Когда мы говорим о производстве спирта из пшеницы, мы должны помнить об этических и экономических аспектах. Ведь чем дороже нефть, тем дороже пшеница — зависимость, очевидно, линейная. А что касается этики — на Земле голодает множество людей, и тратить пшеницу на производство спирта, который будут сжигать в двигателях внутреннего сгорания, не очень хорошо.

Наверное, самый хороший вариант — это все-таки не зерновые, а древесина. Уже созданы быстрорастущие сорта тополя и ивы с высокой урожайностью (до 15 тонн сухой массы с га). Считают, что, если ими засеять 30 млн. га необрабатываемой пашни, это может дать 300 млн. тонн жидкого топлива (этого хватит на все российские электростанции и автотранспорт). Самый простой путь использования древесины — это производство древесных гранул, которые в Канаде делают из коры и опилок. Именно так получают топливо в провинции Квебек (Канада) — отличный пример утилизации неиспользуемого сырья. Кстати, там уже производят примерно равное количество энергии из природного газа и биомассы.

Получить спирт из древесины не такая уж простая задача. Древесина состоит из целлюлозы, которая подвергается гидролизу и сбраживанию; а также гемицеллюлозы, которую наши дрожжи сбраживать не умеют. Есть еще лигнин, с которым пока не очень понятно, что



4
Керосиновая фракция.
ИНХС РАН, ИОНХ РАН



5
Бензиновая фракция. ИНХС РАН, ИОНХ РАН



ТЕХНОЛОГИИ

делать. Его можно сжечь, но это непродуктивно. Итак, в переработке древесины перед учеными стоят две задачи: найти применение лигнину и научиться ферментировать гемицеллюлозу.

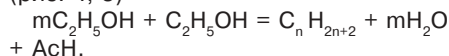
Над этим активно работают, и некоторые успехи уже есть. В частности, голландские биотехнологи научились гидролизовать целлюлозу и гемицеллюлозу не с помощью кислоты, а с помощью энзимов и ферментировать ее генетически модифицированными дрожжами. Новые заводы, использующие эту технологию, уже строятся в Китае, США, Испании и Франции.

Для того чтобы производство спирта приняло поистине массовые масштабы, нужно его сделать более рентабельным. Для этого содержание спирта в браге должно быть как можно более высоким, и спирт надо научиться непрерывно удалять из зоны реакции, поскольку он тормозит ферментацию. Большинство известных микроорганизмов перестают эффективно работать при концентрации этанола 5–7%, а традиционный способ удаления спирта — дистилляция, сильно удорожает процесс. Одно из возможных решений — использование полимерных мембран, с помощью которых можно с минимальными затратами непрерывно удалять спирт из зоны реакции (технология ИНХС РАН). Эта первапорация позволяет за один прием сконцентрировать этанол с 6 до 54%.

В нашей стране применение этанола в качестве добавки к топливу не имеет практически никаких перспектив — такая цистерна просто не выйдет за ворота завода... Вторая причина — существующие законы о спиртосодержащих продуктах. Но выход все-таки есть. Совсем недавно в ИНХС и ИОНХ РАН была найдена новая реакция: спирт довольно легко превращается в смесь углеводородов, которую пить не станут точно.

В этой реакции в зависимости от условий в одну стадию из этанола можно

получить бензин, керосин или дизель (рис. 4, 5)



Реакцию назвали реакцией восстановительной дегидратации. Она проходит только в присутствии катализатора при температуре 350–400°C. В реакции получают в основном алканы изостроения — как известно, это наиболее ценные компоненты моторного топлива. Именно они ответственны за высокое октановое число и экологическую чистоту. Извлечение соответствующих им изопарафинов из нефтяного сырья возможно только после многостадийной переработки, а следовательно, довольно энергозатратно. Поэтому получение топлива высочайшего качества в одну стадию из биоэтанола имеет хорошие перспективы.

Есть еще одно интересное направление: получение бутанола из биомассы. Это продукт совершенно безопасный социально, и его тоже можно добавлять к бензину и использовать в качестве горючего. К тому же его калорийность выше, чем у биоэтанола, а производство дешевле. Кроме того, с технической точки зрения получить бутанол куда проще, чем этанол.

Биобутанол можно делать из кукурузы, пшеницы, сахарной свеклы, сахарного тростника, сорго и ячменя. В будущем для производства биобутанола станут использовать и целлюлозосодержащие компоненты сельскохозяйственных культур, например сухие стебли кукурузы или солому. Ожидается, что в конце 2007 года биобутанол начнут производить и продавать в Великобритании.

Биоэнергетика — поляна для сотрудничества

Биоэнергетика — это, безусловно, именно та область, которую государство должно всячески поддерживать. Начиная с 1999 года в ЕС и США при-

нимают специальные законы, обеспечивающие режим беспрецедентного благоприятствования для тех, кто производит биотопливо. Национальная программа в США «Чистый воздух для мегаполиса» предполагает уменьшение акцизов для Е10 (10% этанола в бензине) на 29%. В зависимости от региона на литр произведенного этанола выделяют разные субсидии.

Примером для нас может быть Германия. В этой стране два гиганта, «Даймлер Крайслер» и «Фольксваген» вместе с министерством экономики взяли за спонсирование трех китов биоэнергетики, то есть за производство биоэтанола, выращивание рапса и использование древесины, мусора и сточных вод для получения энергии. В частности, производителям зерновых непищевого назначения доплачивают 45 евро за га. Сегодня заключены контракты с владельцами 120 тысяч га земли. Биодизель из рапса освобожден от топливного налога до 2009 года. И хотя некоторые производители идут пока по не совсем оптимальному пути (например, используют метод Фишера — Тропша), важно, что их поддерживают крупнейшие фирмы и министерство экономики. Создается полигон для будущих технологий.

Кто заинтересован в биоэнергетике? В первую очередь регионы, которые хотят обеспечить себя энергией и не зависеть от ее крупных поставщиков. Но в ней заинтересованы и большие города — им нужно чистое топливо, а его дадут только биоресурсы. Таким образом, в биоэнергетике должна быть заинтересована вся страна.

Автор благодарит Илью Иосифовича Моисеева за помощь при подготовке статьи и любезно предоставленные иллюстрации.



Сахалинская эпопея



Доктор технических наук
В.М.Пищальник,
доктор географических наук
Д.Я.Фашук

В 1970-е годы советские геологи начали исследовать Сахалинский шельф. После двадцати лет работы оказалось, что он входит в десятку богатейших нефтегазоносных бассейнов мира. Потенциальные запасы углеводородов составляют здесь пять млрд. т в пересчете на нефть. Сегодня морское дно вокруг острова разделено на девять районов-проектов. 22 июня 1994 года правительство России заключило соглашение о разделе продукции с международной компанией «Сахалин энерджи инвестмент компани лтд.» (проект «Сахалин-II»), а 30 июня 1995 года такой же договор был подписан с международным консорциумом «Эксон Нефтегаз лтд.» («Сахалин-I»). В 1996 году они начали выполняться.

Международные инвесторы приступили к работе и по другим проектам: на «Сахалине-III» и «Сахалине-IV» провели сейсморазведку, на «Сахалине-V» — разведочное бурение. Еще пять районов с углеводородным сырьем ждут своих инвесторов.

В проект «Сахалин-II» входят Пильтун-Астохское (590 млн. т нефти) и Лунс-

кое (638 млрд. м³ газа) месторождения. В 1998 году на севере острова, на глубине 30 м, была установлена первая ледостойкая добывающая платформа «Моликпак». Строительство и установка морских буровых платформ стали грандиозным зрелищем (фото 1). Сначала на берегу сооружают мощный «фундамент» будущей платформы — четыре огромных пустотелых цилиндра высотой около 30 м. С помощью нескольких буксиров его оттаскивают на барже в море на место будущей установки в 16 км от берега. Затем, притопив и убрав изпод сооружения баржу-поддон (естественно, при штилевой погоде), фундамент заполняют водой и песком до прочной посадки на дно.

Параллельно с фундаментом на берегу построили целый мини-город в виде огромной плавучей платформы — «крышу» будущего бурового комплекса. Ее таким же образом отбуксировали к месту установки. С помощью филигранных манипуляций эту машину вывели точно над затопленным фундаментом и посадили на него, заполнив водой специальные балластные цистерны. В результате получилась ледостойкая морская буровая плат-

форма-город, на которой сегодня работают вахтенным методом, меняясь через месяц, более ста нефтедобытчиков.

С 1999 по 2001 год с «Моликпака» пробурили 14 скважин, а сейчас работают 12. Добытую нефть перегружают на плавучее нефтехранилище «Оха», поскольку связи буровой с берегом через трубопровод пока нет. Акционеры проекта («Шелл», «Мицуи», «Мицубиши», «Роснефть») уже шесть лет извлекают по 12 тыс. т нефти в сутки (более 2 млн. т в год). С «Охи» продукцию танкерами отправляют в страны Тихоокеанского региона. Зимой (с ноября по март) добыча прекращается, так как с суровыми условиями не всегда могут справиться даже линейные ледоколы. «Оха», не приспособленная для борьбы со льдом, вынуждена уходить на юг.

Загрузка плавучего нефтехранилища заслуживает отдельного рассказа. Для большей безопасности нефть из скважин поступает в супертанкер не напрямую, а через специальный распределительный буй (желтый поплавок на фото 2). Несмотря на свой неказистый вид, он представляет со-



1
 Основания и верхние части морских буровых платформ строили на берегу, затем фундаменты затапливали в море, а на них водружали «крыши» — мини-города (фото слева). Ледостойкую буровую платформу «Моликпак» (фото справа) построили в Канаде в начале 1980-х годов и сегодня она качает нефть в Охотском море



ИЗ ДАЛЬНИХ ПОЕЗДОК

бой уникальное произведение инженерной мысли — небольшой завод, состоящий из редукторов, насосов и множества других приспособлений. Вся его сложная начинка обеспечивает стабильную перекачку нефти независимо от температуры, волнения и других обстоятельств.

Зимой эта игрушка стоимостью 2,5 млн. долларов превращается в обледенелого монстра. Поэтому до начала ледостава, в конце ноября,

драгоценный распределительный буй отсоединяют от базы и нефтехранилища и затапливают до следующего сезона, причем его положение в море нефтяники определяют с точностью до 15 см.

После этого начинается эпопея вывода «Охи» из ледового плена на зимовку в теплые края — в Сингапур. Обычно в ней участвуют два ледокола и вертолет. Руководит операцией эксперт-разведчик. В его распоряже-

2
 Добытая на «Моликпаке» нефть через чудо инженерной мысли — распределительный буй — поступает в плавучее нефтехранилище — супертанкер «Оха»

нии есть космическая информация о ледовой обстановке на шельфе Сахалина, прогноз погоды и данные оперативной вертолетной разведки по пути следования каравана, которую он сам и проводит по мере необходимости. С помощью этих сведений эксперт составляет карты проводки супертанкера через лед и рекомендует капитанам ледоколов безопасные маршруты. В разные годы они могут существенно отличаться (фото 3): не всегда кратчайший путь по расстоянию оказывается кратчайшим по времени.



Ширина нефтехранилища «Оха» 37 м, а ширина ледоколов обеспечения — всего 23 и 13 м. Для того чтобы прорубить во льду канал для этой громадины, они должны все время, как трактора с плугами, следовать точно параллельно друг другу, чтобы «просека» оказалась достаточно широкой. Вертолет страхует весь караван и сообщает оперативные данные о ледовой обстановке (фото 4).

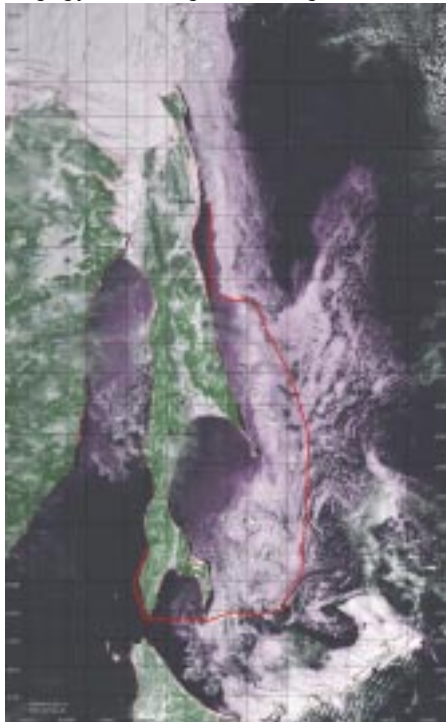
Не стоит и упоминать о том, что качественный ледовый прогноз снижает затраты на десятки тысяч долларов, поскольку ледоколы в более благоприятной ледовой обстановке экономят горючее и быстрее выйдут на чистую воду.

В июне 2002 года в рамках проекта «Сахалин-I» на северо-восточном побережье Сахалина была построена уникальная наземная установка «Ястреб», способная бурить скважины с большим (более 10 км) отходом забоя от вертикали. Сегодня с ее помощью пробурено 11 наклонных скважин для разработки морского месторождения Чайво, находящегося в 11 км от берега. В июле 2005 года над этим же месторождением в море была установлена стационарная буровая платформа «Орлан» (см. заставку статьи). В 2006 году здесь началась добыча нефти из четырех скважин, а еще шестнадцать скоро введут в строй.

С 29 августа 2006 года добываемая на суше и в море нефть месторождения Чайво стала поступать через территорию Сахалина и Татарск

3

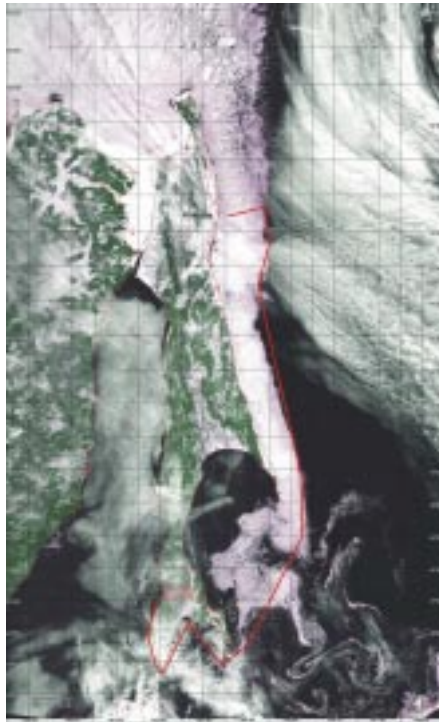
Маршруты танкера «Оха» в разные годы



кий пролив по трубопроводу длиной 225 км к нефтяному терминалу, построенному на материке в поселке Де-Кастри Хабаровского края. С конца 2006 года нефть танкерами ледового класса поставляется в Японию и Корею.

В 2004 году по проекту «Сахалин-II» строители начали и к осени 2006 года практически закончили тянуть береговые нефте- и газопроводы вдоль всего острова с севера на юг. За это же время неподалеку от города Корсаков на южном побережье острова, в поселке Пригородное, были построены заводы по сжижению природного газа и отгрузочные причалы нефтяного терминала. Отсюда углеводороды, добытые на северном шельфе, повезут в Японию и другие азиатские страны.

Стремительное движение «локомотива экономики России», как называют журналисты проекты освоения нефтегазовых ресурсов Сахалинского шельфа, вызывает невольное восхищение. Один из крупнейших в мире заводов по сжижению природного газа со всей его сложной инфраструктурой родился буквально на пустом месте (фото 5) всего за два года. В этой связи вспоминается строительство каскада Днепровских гидроэлектростанций в 1930-е годы. После спада волны трудового энтузиазма они почему-то оказались убыточными, но продолжают «успешно» существовать и сегодня со всем сопутствующим каскадом водохранилищ и их экологическими проблемами.



4

В.Пицальник на ледовой разведке

Осваивать месторождения углеводородов на шельфе Сахалина, перевозить нефть и газ по территории острова и морскими путями приходится в очень разнообразных, порой весьма суровых природных условиях. Вытянутая форма этого удивительного острова (длина с севера на юг — 948 км при минимальной ширине всего 27 км) и его физико-географическое положение определяют особенности климата. На севере он холодный, континентальный, а на юге — умеренный, слабо континентальный (ближе даже к морскому субтропическому). Южная часть острова располагается почти на широте Крыма, а широта самой южной точки Сахалинской области (остров Анучина из Малой Курильской гряды, 43°26 с. ш.) почти равна широте Сочи (43°32 с. ш.). Незря сахалинцы любят повторять гостям с материка: «Сахалин — ну тот же Сочи! Солнце греет, но не очень!»

Для дальневосточного побережья азиатского материка характерна муссонная циркуляция атмосферы (зимой ветры направлены с холодного континента на море, а летом — наоборот), и в северной части острова, расположенной ближе к матерiku, его влияние максимально. По мере продвижения к югу Сахалина холодный муссон, встречаясь с теплыми воздушными потоками юго-западных циклонов, прогревается, насыщается влагой и меняет направление. В результате там преобладают юго-западные ветры, небо часто затянуто облаками — вот почему на Сахалине все же не так тепло, как в Крыму.

Не менее интересны и морские «дирижеры погоды» на шельфе Сахалина: мощные приливы (максимум до 12 м в Пенжинской губе, заливе Шелихова), сложные вихревые морские течения на шельфе острова, волнение высотой более 10 м, водообмен с Тихим океаном через Курильские проливы и пролив Лаперуза. Кро-



ме того, остров находится в зоне стыка Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит. Из-за этого сейсмическая активность здесь высокая и, как следствие, сложный рельеф морского дна и поверхности водосбора.

Незнание этих особенностей климата острова и омывающих его морских вод часто приводит к курьезным ситуациям, заставляя опытных полярников, антарктических капитанов и умудренных математиков, моделирующих ледовую ситуацию, менять свои представления о природе, географии и динамике ледового покрова Охотского моря.

Канадские и американские капитаны, многие годы проработавшие в Антарктиде, и в Охотском море продолжают свято верить в мощь 15 тысяч лошадиных сил главных двигателей своего ледокола, способного расколоть любую ледяную глыбу в водах южного материка или прорубить канал в массиве, состоящем из льдин пятиметровой толщины. Каковы же бывают их удивление и растерянность, когда после нескольких попыток лобовой атаки на совершенно несерьезную, казалось бы, ледовую преграду, 15-тысячесильный ледовый богатырь намертво увязает в «резиновых» объятиях торосов, при том что турбины всех трех двигателей молотят в режиме «полный вперед».

Условия льдообразования (ветровой режим, волнение, скорость понижения температуры) в Охотском море и в антарктических водах существенно различаются. Ледовые массивы и отдельные айсберги здесь состоят не из плотного, твердого и хрупкого, как в Антарктиде, льда, а из пористой, тягучей и вязкой смеси множества ледовых кристаллов, мельчайших пузырьков воздуха и воды. Лед, дрейфуя продолжительное время с севера, где он начинает образовываться, на теплый юг, так и

не может окончательно замерзнуть и образовать твердые поля, подобные антарктическим.

Не меньше разочарования и удивления испытывают американские математики — авторы моделей ледовой обстановки в Охотском море, оказавшиеся на месте событий для проверки правильности своих расчетов. Прогнозы, разработанные за многие тысячи километров от Сахалина только на основании классических представлений о законах льдообразования, оказываются не просто ошибочными, а, по признанию самих авторов, опасными. Не имея представления о муссонной циркуляции над акваторией и материковым побережьем Охотского моря и ее последствиях, «модельеры», естественно, не учитывают эту и многие другие особенности региона. В результате модель прогнозирует лед в прибрежных районах Охотского моря, где его никогда не бывает и быть не может — зимой там под влиянием сгонных ветров с континента формируются прибрежные полыньи. И наоборот: модель предвещает благополучную ледовую обстановку, например, в северном устье Татарского





пролива, где в это время наблюдается лед метровой толщины.

Наконец, очень полезной для качественного прогноза подвижек ледовых полей и сроков очищения моря от льда оказывается информация о структуре и скорости течений в Охотском море. Некоторые прибрежные районы этого моря, плотно закрытые льдом в конце зимы, могут, например, в считанные часы полностью от него освободиться из-за очень высокой скорости течений — до 2 узлов (3,7 км/ч) в весенний период.

На Сахалине кроме моря и льдов есть еще и суша, которая является частью водосборного бассейна Охотского моря (другая его часть включает побережье континента и еще множество островов, в том числе и японский остров Хоккайдо). А на суше, сами понимаете, имеются горы (самая высокая — гора Лопатина, 1609 м) и холмистые равнины (33% территории). Но самая удивительная достопримечательность Сахалина — его реки (фото 6). Вместе с ручьями их здесь насчитывают 65 175, а их общая длина — более 100 тыс. км. В сумме они поставляют в море 50 км³ пресной воды в год, что равно ежегодному стоку Днепра в Черное море.

Остров Сахалин — рекордсмен по густоте речной сети. Ее средняя (1,2 км/км²) и максимальная (2,5 км/км²) величины в 10 и 20 раз превышают

6

Одна из рек, попавшихся строителям нефте- и газопроводов на пути через Сахалин

подобные показатели на остальной территории России. При этом 99,7% общего их количества — реки длиной менее 25 км. Рек же длиной более 100 км на Сахалине всего 13. Самые большие из них — Поронай (350 км) и Тымь (330 км). Трасса нефте- и газопроводов с севера Сахалина (месторождение Чайво) на юг пересекла по прорытым траншеям 1064 водных преграды.

7

Форель — обычный житель сахалинских рек





ИЗ ДАЛЬНИХ ПОЕЗДОК

тело по частям, заимствуя их от всех других поднимающихся по реке рыб; поэтому-то она, как то бывает и с ворами, встречается реже других, честных, людей. Так как голова ее похожа на голову горбуши, то, по мнению ительменов, она и заимствовала ее у последней, украв в то же время брюхо — у красной рыбы, спину — у мальмы, а хвост — у чавычи».

Это странное мнение появилось потому, что из-за огромного разнообразия природных условий, в которых лососям приходилось обитать, их внешние признаки стали крайне изменчивыми. Представители всех современных семейств лососеобразных появились в водоемах разных континентов в период от 24 до 5 млн. лет назад, хотя самые первые из них, как предполагают ученые, обитали в реках Северной Америки примерно 50 млн. лет назад.

Для лососевых рыб характерен проходной образ жизни. Появившись на свет в верховьях рек, они от года до пяти и больше лет — живут в реке, после чего скатываются в море, где нагуливаются и достигают половой зрелости. Созревшие рыбы отправляются в родную реку на нерест. При этом представители рода тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*): горбуша, кета, сима, кижуч, чавыча, нерка после выметывания икры погибают. Лососи же рода настоящих (*Salmo*), например атлантический лосось (семга — *Salmo salar*) или кумжа (*Salmo trutta*), нерестятся по несколько раз. Кроме того, известны полностью пресноводные виды лососей — таймени (*Hucho*). Таймень сахалинский (*Hucho*

perryi) — единственный проходной вид этого рода. Обитает он в Японском море, входит на нерест в реки Хоккайдо, Сахалина и Приморья.

У многих видов лососей наряду с проходными формами имеются пресноводные. Жилые — озерные или ручьевые — формы лососевых рыб принято называть форелями (*Trutta*). Таким образом, форель — это пресноводная фаза жизненного цикла лосося. У проходной кумжи жилая форма называется озерной форелью (*Salmo trutta morpha lacustris*), а радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) — это жилая форма микижа, или проходного стальноголового лосося (*Parasalmo mykiss*) — выходца из Северной Америки.

В.Пищальник:
«За природу Сахалина, мать нашу!»



сося (*Parasalmo mykiss*) — выходца из Северной Америки.

Освоение сахалинских богатств продолжается. В 2007 году начнется разработка других месторождений северо-восточного шельфа острова — Одопту и Аркутун-Даги. Эксперты полагают, что по проекту «Сахалин-1» удастся извлечь 307 млн.т. нефти и 485 млрд. м³ газа.

В конце 2006 года 50% акций проекта «Сахалин-II» приобрела российская государственная компания «Газпром». Есть надежда, что у природы Сахалина появился рачительный хозяин, который сумеет грамотно эксплуатировать творения рук человеческих, сохраняя при этом в целости и красоте творенья Божьи.

Разные разности

Выпуск подготовили

О.Баклицкая,
Е.Сутоцкая,
А.Тугунов

Источники:
EurekAlert!;
News@nature.com

Тысячи лет черная дыра тихо выжидает в глубине галактики. Когда же к ней приближается звезда, силы гравитации разрывают неосторожное светило. Часть его вещества какое-то время вертится вокруг хищницы, а затем падает в нее, излучая яркие ультрафиолетовые вспышки. Их-то и зафиксировал аппарат NASA «Galaxy Evolution Explorer». С.Гезари с коллегами из Калифорнийского технологического института в Пасадене шаг за шагом наблюдали за трапезой черной дыры.

В начале 1990-х годов три другие дремлющие черные дыры, вероятно, тоже съели свои звезды. Рентгеновские вспышки от них зарегистрировал телескоп, но только через десять лет это подтвердили рентгеновская космическая обсерватория «Чандра» и европейский рентгеновский телескоп «XMM-Newton».

Черные дыры — сгустки концентрированного вещества, и гравитация их настолько сильна, что не выпускает из своих объятий даже свет. Считается, что сверхмассивные черные дыры живут в центре каждой галактики, отличаясь степенью активности. Более работающие засасывают вещество, находящееся поблизости, нагревают его и заставляют светиться. Другие, как в нашем Млечном Пути, молчат, так что изучать их трудно.

Вот потому астрономы и взволновались, когда звезда неожиданно подобралась близко к черной дыре, которая в десятки миллионов раз массивнее нашего Солнца. В обычной галактике такое случается раз в десять тысяч лет. Наземные телескопы продолжают наблюдать за тускнеющими периодическими вспышками ультрафиолета: это черная дыра в галактике созвездия Волопаса, в четырех миллиардах световых лет от нас, заканчивает свой звездный завтрак.

Агрессия у самцов и самок плодовых мушек проявляется по-разному. Ученые из Гарвардской медицинской школы (США) и Института молекулярной патологии (Австрия) выяснили, что за ее форму отвечает так называемый ген бесплодия. Ранее было известно, что этот ген определяет поведение мушки при ухаживании. Длинный вариант гена отвечает за производство набора белков только в нервной системе мужских особей. Не имеющие этих белков самцы перестают интересоваться представительницами прекрасного пола, зато порой обращают внимание на себе подобных. Самки с «мужской» версией гена начинают обхаживать своих подруг.

Тот же ген отвечает и за другое поведение, связанное с принадлежностью к определенному полу, — агрессивное. Сражаясь за еду, самки предпочитают толкаться и наносить удары головой. У самцов тактика иная: они привстают на задние лапки, со всей силой опуская передние на противника.

Самец, наделенный женской версией гена бесплодия, начинает придерживаться несвойственной ему тактики сражения — кулачный бой уступает место боданию. И наоборот, самки с мужской версией гена склонны к рукопашной.

По мнению исследователей, результаты их работы — хорошее начало для дальнейших генетических изысканий в области агрессии. Конечно, у позвоночных животных, не говоря о людях, ее механизмы намного сложнее, но теперь можно будет проверить, не связаны ли они с такими же генами, что и у мух.

Хлопчатник мог бы не только одевать людей, но и кормить их. Его семена содержат около 22% высококачественных белков, не говоря о других питательных веществах. Однако они ядовиты и в пищу не годятся.

Несколько десятилетий назад селекционеры из Техаса и Калифорнии вывели разновидность хлопчатника с низким содержанием токсинов, но она не подошла для сельского хозяйства, так как была сильно подвержена болезням и насекомым. Сейчас специалисты получили новую линию хлопчатника, «выключив» в нем несколько генов. Особенно они гордятся тем, что смогли снизить уровень токсичных веществ только в семенах, где хранится основная запас питательных белков, но не в других частях растения, где токсины служат защитой от насекомых и болезней.

Полезные признаки, приобретенные хлопчатником, пока проявляются лишь в трех следующих поколениях. Исследователи намерены повысить его устойчивость на много поколений вперед, разработать технологии изготовления пищи из семян и вывести чистые линии для выращивания в теплицах. По оценкам специалистов, понадобится не менее десяти лет для создания коммерчески выгодных сортов, пригодных для массового производства продуктов.

У съедобного хлопчатника огромный потенциал. При существующих посевах им можно накормить около 500 миллионов жителей планеты в год.



Недостаток серы в почвах, на которых выращивают пшеницу, может привести к появлению в булочках канцерогенов и других вредных веществ.

В 2002 году исследователи обнаружили в выпечке, чипсах и жареной пище следы акриламида — химического соединения, которое напрямую связывают с развитием рака и иных недугов. С тех пор было потрачено немало времени на поиск путей борьбы с ним. Самое печальное для любителей вкусно поесть в том, что акриламид образуется в тех самых реакциях, которые приводят к появлению вкусной золотистой корочки на батонах и булочках.

Сотрудники Редингского университета в Великобритании заинтересовались образованием в растении предшественников акриламида, в частности аспарагина. Именно эта аминокислота вместе с сахарами образует в процессе готовки вредоносное соединение. Ученые выяснили, что в пшенице накапливается больше аспарагина, если в почве не хватает серы. В хлебе или булочках, испеченных из такой пшеницы, содержание акриламида увеличилось в 6,3 раза.

По мнению одного из участников исследования, при недостатке серы существенно снижается выработка белков, необходимых для нормального хранения семян. Накопленный растениями азот аккумулируется в виде аспарагина. Агрохимики считают, что подобное воздействие оказывают и другие стрессовые ситуации.

Ученые, специализирующиеся на питании, довольны, что проблема акриламида вышла за пределы кухни. Они полагают, что корни ее в прямом и переносном смысле следует искать на полях.



Биологи из Ливерпульского университета изучали поведение форели в лабораторных условиях. Их интересовали храбрые экземпляры, уверенно обследовавшие незнакомые предметы или готовые к схватке, и робкие, способные в любое мгновение отступить, весьма сдержанные в проявлении любопытства и агрессии.

Затем исследователи попытались определить, влияет ли жизненный опыт на поведение рыб. Они устраивали рыбки бои и смотрели, как поражения и победы меняли участников и наблюдателей сражений. Оказалось, что рыбий характер весьма переменчив.

Авторы работы сталкивали рыб с более крупными или, напротив, мелкими противниками, чтобы заранее обеспечить им победу либо поражение. Оказалось, что храбрые экземпляры, одержав верх, еще решительнее исследовали незнакомую еду, а неудача делала их более осторожными. Вероятно, смелость и робость связаны с физиологическими факторами, в частности с концентрацией гормонов стресса. Проигрывш может подстегнуть выработку кортизола, который заставляет форель стать осмотрительнее. Кроме того, рыбы многому учатся, наблюдая за сородичами. Храбрецы, посмотрев, как опасно относится к незнакомому объекту их сосед, ведут себя значительно спокойнее, когда сами вынуждены столкнуться с чем-то неизведанным.

Нетрудно было предположить, что робкие форели, победив в бою, станут увереннее в себе. Однако выяснилось, что и после поражения они проявляли чудеса храбрости, изучая странную, незнакомую пищу. Возможно, это шаг отчаяния?



Секрет музыкальных инструментов, изготовленных Антонио Страдивари (1643–1737), по сей день не дает покоя музыкантам, ученым и мастерам. Его приписывали и плотной древесине, которая формировалась в определенные годы, и специальной термической обработке, и неизвестным свойствам лака.

Сотрудники Техасского университета полагают, что древесину вываривали в растворе солей для защиты от грибка и личинок древоточца. Дьердь Надьяри и его коллеги проанализировали щепки от древесины, которая идет на изготовление современных скрипок, и стружку с пяти инструментов, созданных в первой половине XVIII века, в том числе скрипки и виолончели Страдивари, а также скрипки Гварнери.

Ядерный магнитный резонанс и инфракрасная спектроскопия помогли установить, что в старинных инструментах молекулы гемицеллюлозы (коротких углеводов клеточных стенок) разорваны. Обычно это происходит при окислении или гидролизе. В некоторых случаях деградация гемицеллюлоз может быть связана с естественным старением древесины. Однако исследователи полагают, что в этом случае дерево подвергали химической обработке. Окислительные агенты, например поваренная соль или ионы меди, хорошо защищали материал от вредных насекомых. После варки в кипящем растворе минеральных солей дерево становилось прочнее и легче, звук приобретал мягкость.

Авторы работы не могли экспериментировать с древесиной, которой пользовался Страдивари, или с самими скрипками. Они подвергли обработке секретным составом современную древесину, а скрипичные мастера изготовили из нее инструмент. Его звучание высоко оценили профессиональные музыканты.

Древние леса, в частности леса Амазонки, нередко по привычке называют «легкими нашей планеты». Тем не менее ученые считают, что они не способны очищать атмосферу Земли от углекислого газа так же эффективно, как это делают новые посадки. Измерения показывают, что органика в тропических лесах быстро разлагается и в атмосферу выделяется столько же углекислоты, сколько поглощается при фотосинтезе.

Сотрудники Китайской академии наук уверены, что подобные теории ошибочны. В течение почти пятнадцати лет, с 1979 года по 2003-й, они анализировали грунт, взятый в биосферном заповеднике провинции Гуандонг, где растут древние леса. По мнению ученых, за это время содержание соединений углерода в почве не осталось неизменным, а выросло почти на 68%.

Причина происходящего пока не ясна. Быть может, виноваты геохимические процессы, происходящие глубоко в почве, или деятельность микробов. Как бы то ни было, полученные данные в корне противоречат представлению о древних лесах как о неких хранилищах углерода.

Если содержание углерода в почве увеличивается из-за повышения содержания углекислого газа в атмосфере, значит, древние леса активно работают и их нельзя сбрасывать со счетов. А еще это означает, что в новых условиях молодые леса могут расти быстрее и раньше достигают зрелости.



Полоний: что нового?

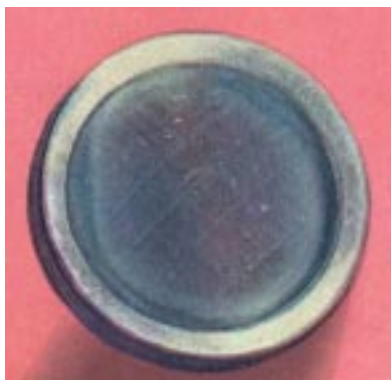
Кандидат химических наук
И.А.Леенсон

Недавняя вспышка интереса к одному из изотопов полония, ^{210}Po , заставляет еще раз вернуться к свойствам этого интересного и необычного элемента. Тем более что после статьи о нем под рубрикой «Элемент №...» прошло немало лет (см. «Химию и жизнь», 1973, № 7).

Открытие полония

Мало кто помнит, что этот элемент предсказал Д.И.Менделеев. Наряду с экабором (галлием), экаалюминием (скандием) и экасилицием (германием) он упомянул в 1870 году существование аналога теллура, а в 1889 году уточнил свойства элемента с порядковым номером 84. Менделеев назвал его двителлуrom (на санскрите — «второй теллур») и предположил, что атомная масса нового элемента будет близка к 212. Конечно, Менделеев не мог предвидеть, что этот элемент окажется неустойчивым.

Полоний — первый радиоактивный элемент, открытый в 1898 году супругами Кюри, которые искали источник радиоактивности в некоторых минералах, — они излучали сильнее, чем чистый уран. Мадам Кюри тестировала одно вещество за другим — все, которые только могла достать, одолжить в химических лабораториях, выпросить в минералогических музеях (впоследствии она не только аккуратно возвратила образцы владельцам, но и выразила им благодарность в своей публикации). Из всех веществ, не содержащих уран, активными были только соединения тория. Когда оказалось, что сильную активность проявляет урановая смоляная руда (в основном — оксид U_3O_8), Мария Кюри решила выделить из нее химическим путем новый радиоактивный элемент. До этого было известно только два слабо радиоактивных химических элемента — уран и торий. Опыты были начаты с традиционного качественного анализа минерала по схеме, которую предложил немецкий химик-аналитик К.Р.Фрезениус еще в 1841 году и по которой многие поколения студентов в течение



Такой диск из нержавеющей стали с нанесенным на него ничтожным количеством полония служит удобным источником α -частиц для научных исследований

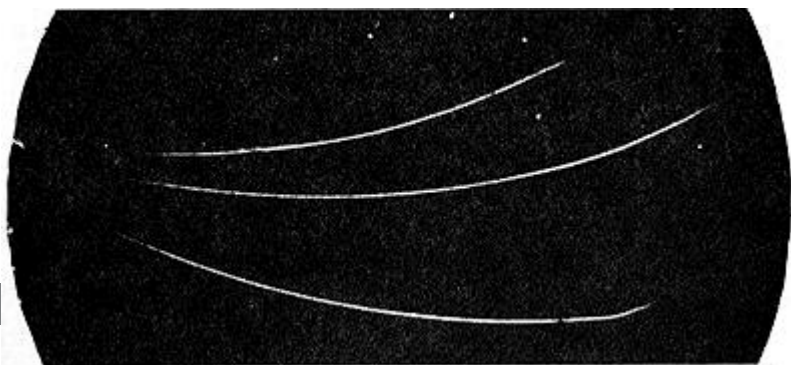
ние почти полутора веков определяли катионы так называемым сероводородным методом. Вначале у нее было около 100 г минерала; затем американские геологи подарили Пьеру Кюри еще 500 г. Проводя систематический анализ, Мария Кюри каждый раз проверяла отдельные фракции (осадки и растворы) на радиоактивность с помощью чувствительного электрометра, изобретенного ее мужем.

Незадолго до этого Пьер сконструировал электрометр, который точно измерял очень малые токи, в триллионные доли ампера — пикоамперы. В приборе использовался открытый им вместе с братом Жаком пьезоэлектрический эффект —

появление на гранях некоторых кристаллов при их сдавливании электрических зарядов (этот эффект сегодня применяют, например, в кварцевых часах, в пьезозажигалках). Дозируя давление на кристалл, можно было компенсировать и таким образом измерять очень малые токи. Конструкция состояла из двух расположенных горизонтально с небольшим зазором металлических дисков, на которые подавали напряжение около 100 В. Если между дисками находился только слой воздуха, тока не было. Но когда на нижний диск насыпали тонким слоем определенное количество какого-либо соединения урана, воздух, ионизованный «урановыми лучами», становился проводником. При этом между дисками протекал очень слабый ток, который можно было измерить и определить мощность излучения.

Марии Кюри помогал один из руководителей химического практикума в Школе физики и промышленной химии Густав Бемон. Прежде всего минерал был растворен в азотной кислоте. Затем жидкость выпарили досуха, остаток растворили в воде и пропустили через раствор ток сероводорода. При этом выпал черный осадок, который мог содержать нерастворимые сульфиды свинца, висмута, меди, мышьяка, сурьмы и некоторых других металлов. Хотя уран и торий остались в растворе, осадок был радиоактивным. Мария Кюри обработала его сульфидом аммония, чтобы отделить мышьяк и сурьму, — они в этих условиях образуют растворимые тиосоли, например $(\text{NH}_4)_3\text{AsS}_4$ и $(\text{NH}_4)_3\text{SbS}_3$. Раствор не обнаружил радиоактивности и был отброшен. В осадке остались сульфиды свинца, висмута и меди. Его снова растворили в азотной кислоте, добавили к раствору серную кислоту и выпарили на пламени горелки до появления густых белых паров SO_3 . При этом летучая азотная кислота полностью удаляется, а нитраты металлов превращаются в сульфаты. После охлаждения смеси и добавления холодной воды в осадке оказался нерастворимый сульфат свинца PbSO_4 — активности в нем





не было. К отфильтрованному раствору добавили крепкий раствор аммиака. Опять выпал осадок, на этот раз белого цвета; он содержал смесь основного сульфата висмута $(\text{BiO})_2\text{SO}_4$ и гидроксида висмута $\text{Bi}(\text{OH})_3$. В растворе же остался комплексный аммиакат меди $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ ярко-синего цвета. Белый осадок, в отличие от раствора, оказался сильно радиоактивным. Поскольку свинец и медь были уже отделены, в нем остались висмут и примесь нового элемента.

Мария Кюри снова перевела белый осадок в темно-коричневый сульфид Bi_2S_3 , высушила его и нагрела в вакуумированной ампуле. Сульфид висмута при этом не изменился (он устойчив к нагреву и лишь при 685°C плавится), однако из осадка выделились какие-то пары, которые осели в виде черной пленки на холодной части ампулы. Пленка была сильно радиоактивной и, очевидно, содержала новый химический элемент — сосед висмута в периодической таблице. Это и был полоний — следующий после урана и тория радиоактивный элемент, вписанный в Периодическую таблицу (в том же 1898 году были открыты радий, а также группа благородных газов — неон, криптон и ксенон). Как потом выяснилось, полоний при нагревании легко возгоняется — его летучесть примерно такая же, как у цинка.

Супруги Кюри не спешили назвать черный налет на стекле, который даже нельзя было взвесить, новым элементом. Одной радиоактивности было мало. Коллега и друг супругов Кюри французский химик Эжен Анатоль Демарсе (1852—1903), специалист в области спектрального анализа (в 1901 году он открыл европий), исследовал спектр испускания черного налета и не обнаружил в нем новых линий, которые могли бы свидетельствовать о присутствии нового элемента. Спектральный анализ — один из самых чувствительных методов, значит, в налете этого вещества было очень мало. Тем не менее в статье,

опубликованной 18 июля 1898 года, супруги Кюри написали: «Мы думаем, что вещество, выделенное нами из урановой смолки, содержит неизвестный пока металл, являющийся по аналитическим свойствам аналогом висмута. Если существование нового металла будет подтверждено, мы предлагаем назвать его полонием, по родине одного из нас» (*Polonia* на латыни — Польша). Это единственный случай, когда еще не идентифицированный новый химический элемент уже получил название! Одновременно мадам Кюри послала заметку «О новом радиоактивном веществе, содержащемся в урановой смолке» в Варшаву своему кузену Иосифу Богускому, и это сообщение было опубликовано на польском языке почти одновременно с публикацией на французском в Париже.

Однако выделить весомые количества полония первооткрыватели смогли не сразу — его в урановой руде было слишком мало. Лишь в 1910 году, переработав много урановой руды, удалось получить образец, содержащий 0,1 мг полония. Но прославило супругов Кюри открытие не этого элемента, а радия.

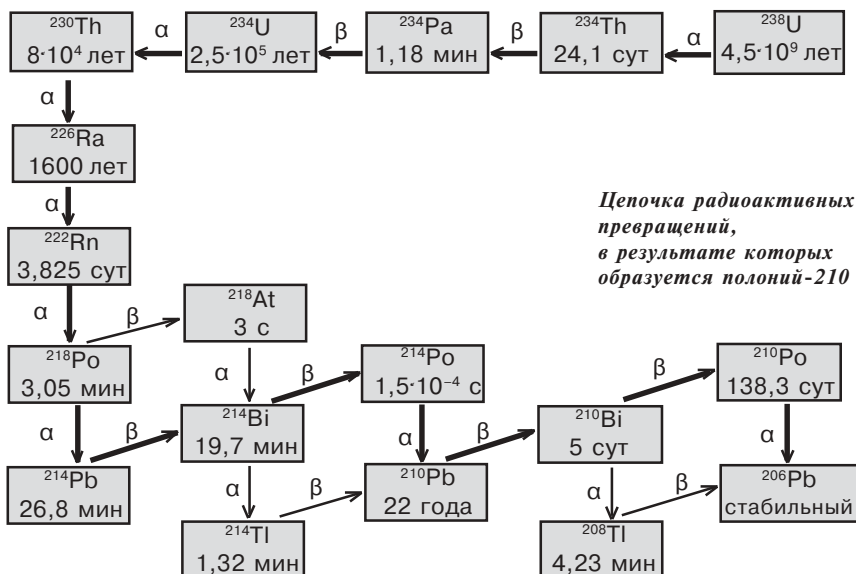
Пьер так увлекся результатами Марии, что бросил свои исследования по физической кристаллографии и начал помогать жене. «Ни один из нас не мог предвидеть, что, начиная эту работу, мы вступаем на путь новой отрасли знания, которым будем следовать до конца жизни», — писала Мария Кюри в автобиографии (ее опубликовали в Варшаве в 1935 году уже после смерти автора). В июле 1898 года появилась их совместная публикация «О новом радиоактивном веществе, содержащемся в урановой смолке», в которой впервые был введен термин «радиоактивность». Впоследствии Кюри писала по этому поводу: «Я назвала радиоактивностью способность испускать такие лучи и создала новый термин, принятый с тех пор в науке». На латыни *radius* — палочка, спица в колесе, а также радиус круга и луч; *radiare* — испускать

лучи, сиять; в английском слово *radiant* (излучающий) появилось еще в XV веке. Таким образом, придуманный Кюри термин должен был означать самопроизвольное («активное») излучение некоторых веществ.

Работы супругов Кюри представил на заседаниях Французской академии Анри Беккерель, который за два года до этого открыл явление радиоактивности. Супруги Кюри не были членами академии. Пьера избрали лишь в 1905 году — за год до его трагической гибели, а Мария как женщина не могла стать французским академиком, зато в 1907 году ее избрали иностранным членом-корреспондентом Петербургской академии наук, а в 1926 году — почетным членом Академии наук СССР.

Изотопы полония и их излучение

Для полония известно 35 изотопов (включая восемь ядерных изомеров) с массовыми числами от 192 до 218, и все они радиоактивны с периодами полураспада ($t_{1/2}$) от $3 \cdot 10^{-7}$ секунды для ^{212}Po до 102 лет для ^{209}Po . Из них семь (с массовыми числами от 210 до 218) встречаются в природе в очень малых количествах как члены радиоактивных рядов тория, урана — радия и урана — актиния. Они имеют свои исторические названия, принятые еще в начале XX века, когда эти радионуклиды получали в результате цепочки распадов из «родительского» элемента — радия, тория или актиния: RaA (^{218}Po), RaC' (^{214}Po), RaF (^{210}Po), ThA (^{216}Po), ThC' (^{212}Po), AcA (^{215}Po) и AcC' (^{211}Po). Эти названия до сих пор можно встретить в книгах. Все остальные изотопы полония получены только искусственно. Наиболее долгоживущие изотопы полония — ^{209}Po , ^{208}Po и ^{210}Po . Их периоды полураспада составляют соответственно 102 года, 2,9 года и 138,4 суток. Иначе говоря, от полония-210 через 4,5 месяца останется лишь половина, через 14 месяцев — около 10%, через 2 года — менее 3%, через 3 года — 0,4%, через 4 года — всего 0,1%.



Легкие изотопы полония — чистые альфа-излучатели. Это означает, что при их распаде из ядра вылетают с огромной скоростью α -частицы (ядра гелия) с энергией от 6 до 7 МэВ (для сравнения: энергия самой прочной химической связи в миллион раз меньше). При α -распаде масса ядра уменьшается на четыре единицы, а заряд ядра — на две (смещение на две клетки Периодической таблицы влево). Начиная с ^{198}Po к α -распаду добавляется электронный захват (иначе — К-захват), при котором электрон с самой внутренней электронной оболочки атома (К-оболочки) попадает в ядро. При этом один протон превращается в нейтрон, масса ядра не меняется, а заряд уменьшается на единицу (смещение на одну клетку влево). Например, ^{198}Po на 70% распадается с испусканием α -частиц: $^{198}\text{Po} \rightarrow ^{194}\text{Pb} + ^4\text{He}$, а на 30% — путем К-захвата: $^{198}\text{Po} \rightarrow ^{198}\text{Bi}$. И ^{194}Pb , и ^{198}Bi неустойчивы и быстро распадаются.

Начиная с нуклида ^{199}Po , распад сопровождается γ -излучением, энергия которого может составлять от 0,17 до 2,6 МэВ, причем данный нуклид способен испускать γ -лучи разной энергии. Два тяжелых изотопа полония, ^{215}Po и ^{218}Po , в небольшой степени обладают также β -активностью. При β -распаде нейтрон в ядре превращается в протон и электрон, который и вылетает из ядра. При этом массовое число атома остается неизменным, а заряд увеличивается на единицу (смещение на одну клетку вправо). Более 99% самого тяжелого изотопа идут по пути α -распада и только 0,018% — по пути β -распада: $^{218}\text{Po} \rightarrow ^{218}\text{At} + e^-$.

Действие проникающей радиации на биообъекты сильно зависит от ее интенсивности и типа (так, α -частицы намного опаснее β -частиц при той же дозе). Для нуклида ^{210}Po почти 100% излучения приходится на α -частицы с энергией 5,3 МэВ. Такие частицы проходят в воздухе 3,8 см, но их полностью задерживает алюминиевая фольга толщиной 0,03 мм и даже листок бумаги; а в биологических тканях они проходят менее 0,05 мм, разрушая при этом соседние клетки. При распаде ^{210}Po возникает и γ -излучение с энергией 0,8 МэВ и большой проникающей способностью. Чтобы ослабить его в десять раз, требуется уже трехсантиметровый слой свинца, а для стократного ослабления понадобится свинцовая плита толщиной 5,5 см или полуметровый слой бетона. Однако γ -излучение ^{210}Po очень слабое: его интенсивность составляет всего лишь 0,0011% от общей радиации.

Малый пробег α -частиц в веществе делает обнаружение микроколичеств полония-210 трудной задачей. Даже если этот нуклид находится на поверхности какого-либо предмета, его сможет обнаружить не всякий счетчик Гейгера, потому что α -частицы задерживаются даже очень тонкой фольгой. Для обнаружения ^{210}Po можно провести анализ с помощью сцинтилляционного счетчика. Сцинтилляция (от лат. *scintillatio* — сверкание) — слабая вспышка света, возникающая в некоторых веществах под действием частиц высокой энергии. Другой чувствительный метод обнаружения — масс-спектрометрия. Он находит в пробах фемтограммы искомого изотопа.

Радиация есть везде, однако важен ее уровень. Вот пример. Природный калий состоит из трех изотопов — двух стабильных (^{39}K — его содержание в природном калии 93,26% и ^{41}K — 6,73%), а также одного радиоактивного, ^{40}K (0,012%, период его полураспада 1,3 млрд. лет). Человек, весящий 70 кг, содержит 140 г калия, из которых около 17 мг приходится на калий-40. Каждую секунду в теле этого человека происходит 4000 актов распада ^{40}K (и еще столько же — из-за распада содержащегося в теле «радиоуглерода», ^{14}C) с выделением частиц высокой энергии. Жизнь на Земле всегда сопровождалась такой «внутренней» радиацией (а также внешней, в том числе от космических лучей), и нельзя исключить, что она играла важную роль в эволюции, вызывая мутации. Но если бы период полураспада ^{40}K был не 1,3 млрд. лет, а 1,3 года, то те же 17 мг в теле человека убили бы его в считанные часы.

Полоний в природе

Кларк полония (содержание в земной коре) составляет $2 \cdot 10^{-14} \%$; в изверженных породах его больше. Образуется полоний в результате радиоактивного распада долгоживущих радиоактивных элементов — тория и урана. Его изотопы служат промежуточными членами длинных цепочек распада (так называемых серий или рядов). Сами уран и торий, а также их соединения в чистом виде практически не представляют опасности, поскольку распадаются очень медленно — их радиоактивность мала. Однако при их распаде образуется множество радионуклидов, которые в сумме дают более интенсивную и более опасную радиацию.

В ряду, который начинается с ^{232}Th ($t_{1/2} = 14$ млрд. лет) и заканчивается стабильным изотопом свинца ^{208}Pb , появляются в качестве шестого и девятого звеньев изотопы полония ^{216}Po ($t_{1/2} = 0,15$ с) и ^{212}Po ($t_{1/2} = 3 \cdot 10^{-7}$ с). Очень малое время жизни этих изотопов означает, что в природе они практически отсутствуют.

Родоначальник ряда урана — актиния — ^{235}U ($t_{1/2} = 700$ млн. лет), а конечный стабильный продукт — ^{207}Pb . В этом ряду изотопов полония тоже два, и они оба тоже короткоживущие: ^{215}Po ($t_{1/2} = 1,8 \cdot 10^{-3}$ с) и ^{211}Po ($t_{1/2} = 0,5$ с). Урана-235 в природном уране всего 0,72%, время жизни ^{211}Po и ^{215}Po мало, так что этих изотопов в природе тоже практически нет.

Ощутимые количества полония способны накопиться только в ряду

урана—радия, родоначальник которого — ^{238}U , а конечный продукт — ^{206}Pb . Поэтому природный полоний представлен практически одним нуклидом ^{210}Po . Среди членов этого ряда есть не только ^{210}Po (и еще два его изотопа), но также очень важные радионуклиды ^{226}Ra и ^{222}Rn . Один и тот же радионуклид может распадаться по двум направлениям, которые потом «сходятся», приводя к одному продукту. Чаще всего одно из направлений распада значительно преобладает. Например, ^{218}Po на 99,92% претерпевает α -распад и лишь на 0,02% — β -распад с образованием изотопа астата ^{218}At ; ^{210}Bi , помимо показанного на схеме β -распада, претерпевает также α -распад с образованием изотопа таллия ^{206}Tl — но лишь на $1,3 \cdot 10^{-4}$ %. Над каждой стрелкой приведены время полупревращения нуклида и тип распада.

Прежде чем перейти к герою повествования — полонию-210, несколько слов о его предшественнике — радоне. Это благородный газ, поэтому он постепенно, не вступая в химические реакции, просачивается из глубин земного шара к поверхности (в разных географических районах — в разных количествах) и попадает в воздух. На него приходится значительная часть дозы облучения, которую получает «средний» человек (в некоторых регионах — до 50%). Основная часть радона, попавшая при вдохе в трахею, бронхи и легкие, при выдохе выделяется обратно. Однако успевший образоваться из радона полоний-210 оседает в носоглотке, трахеобронхиальной и легочной областях, откуда через лимфу либо кровеносную систему разносится по всему организму. Радон хорошо растворяется в воде (в 22 раза лучше, чем азот), поэтому часть радона, попавшая в легкие при вдохе, может проникнуть через стенки легочных альвеол, раствориться в крови и затем распадаться с образованием полония. Принято говорить, что полоний-210 может попасть в легкие и с твердыми частицами табачного дыма, на которых он оседает при распаде радона. Однако вряд ли попавшие таким образом в организм единичные атомы полония представляют для него опасность, хотя бы по сравнению с радонами, которого вокруг нас неизмеримо больше.

Вернемся к ряду радиоактивных превращений урана-238. Этот изотоп распадается очень медленно — в течение многих миллиардов лет, что сопоставимо с возрастом Земли. Конечным продуктом распада служит нерадиоактивный свинец-206. Если атомы ура-

на будут находиться в земной коре в составе того или иного минерала достаточно долго, нескольких миллионов лет (лимитирующая стадия, как видно из схемы, — распад долгоживущего ^{234}U), и газообразный радон не будет из минерала улетучиваться, то наступит стационарное состояние. Это означает, что каждый член ряда образуется из своих предшественников точно с такой же скоростью, с которой распадается сам. При этом его количество в минерале в течение обозримого времени не меняется. Радиоактивность же всех членов ряда (общее число распадов атомов данного члена ряда в единицу времени) будет одинакова: она диктуется количеством имеющегося в минерале урана и, следовательно, скоростью его распада. Например, короткоживущий ^{218}Po в больших количествах проявлял бы исключительно высокую активность ($t_{1/2} = 3$ мин), но этого радионуклида в минерале исключительно мало. Поэтому его радиоактивность будет такой же, как и у долгоживущего ^{234}U : хотя уран-234 распадается медленно ($t_{1/2} = 245$ тысяч лет), зато его в минерале сравнительно много. Такое состояние для цепочки превращений радиохимии называют «радиоактивным равновесием».

Очевидно, что чем меньше период полураспада члена ряда, тем меньше его будет в смеси. Нетрудно показать, что отношение числа атомов N материнского элемента (урана-238) и его дочерних атомов равно отношению их периодов полураспада, то есть, например, $N(^{238}\text{U}) : N(^{226}\text{Ra}) : N(^{210}\text{Po}) = t_{1/2}(\text{U}) : t_{1/2}(\text{Ra}) : t_{1/2}(\text{Po}) = 4,5 \cdot 10^9 : 1,6 \cdot 10^3 : 0,38$. Сделав небольшую поправку на различие атомных масс этих нуклидов (238, 226 и 210), легко подсчитать, что при равновесии на 1 тонну чистого урана в его рудах приходится примерно 0,34 г радия и около 0,01 мг ^{210}Po — если весь полоний из тонны урана выделить, получится шарик диаметром 100 мкм. Но эта порошок ежесекундно излучает 1,7 млрд. α -частиц. Не удивительно, что хотя Мария Кюри не смогла получить ощутимые

количества полония, ей удалось идентифицировать этот элемент по его радиоактивности.

Приведенный ряд урана—радия позволяет оценить вероятность попадания природного полония в организм человека. Причем речь идет о людях, не занятых на урановых рудниках и не работающих с радионуклидами уранового ряда. Среднее содержание урана в земной коре — $3 \cdot 10^{-4}$ % по массе. В некоторых минералах уран встречается вместе с кальцием, а иногда частично замещает его в кристаллической решетке, так как их ионные радиусы близки. Таким образом, и в известняке, и в доломите, и в апатите могут содержаться весьма незначительные примеси урана. Все упомянутые минералы прямо или опосредованно применяются в сельском хозяйстве. Известняк и доломит — для раскисления почв, апатит — для получения минеральных удобрений (суперфосфатов). Таким образом, какие-то количества урана могут попасть на поля, а оттуда — в сельскохозяйственные растения. Однако по химическим свойствам элементы этого радиоактивного ряда отличаются друг от друга очень сильно (вспомним хотя бы, что радон — благородный газ). Значит, по пути от минерала к пищевому продукту или табаку уран практически полностью освободится от своих дочерних элементов, и уж подавно — от радона. И чтобы из него снова получился полоний-210 нужно ждать очень долго. Поэтому для того, чтобы этот радионуклид проник в растения, нужно, чтобы он попал в удобрения независимо от урана, что крайне маловероятно. Кроме того, период полупревращения ^{210}Po — всего 4,5 месяца, что также снижает вероятность его попадания с продуктами сельского хозяйства в организм человека; во всяком случае, радия таким способом в него должно попасть намного больше.

Окончание статьи в следующем номере



ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА



«Фундаментальные» мифы,

или

Алхимия XXI века

Доктор биологических наук
С.П.Ярмоненко,
Российский онкологический
научный центр РАНН

Бич людской – это воображаемое знание.

Мишель Монтень

Окислительный стресс

Технический прогресс и бурные социальные потрясения второй половины прошлого века породили новый вид патологии — окислительный стресс. Так специалисты называют совокупность окислительных повреждений в клетках, тканях и органах, вызываемых свободными радикалами и перекисями. Окислительный стресс у человека ассоциируется с самыми разными заболеваниями, включая рак, атеросклероз, рассеянный и амиотрофический склероз, болезни Альцгеймера и Паркинсона, катаракту, дегенерацию сетчатки, мышечную дистрофию, ревматоидные артриты, воспалительные заболевания различного происхождения. Сюда же относятся и патологии, которые развиваются под воздействием курения, ионизирующих излучений и других физических и химических факторов внешней среды.

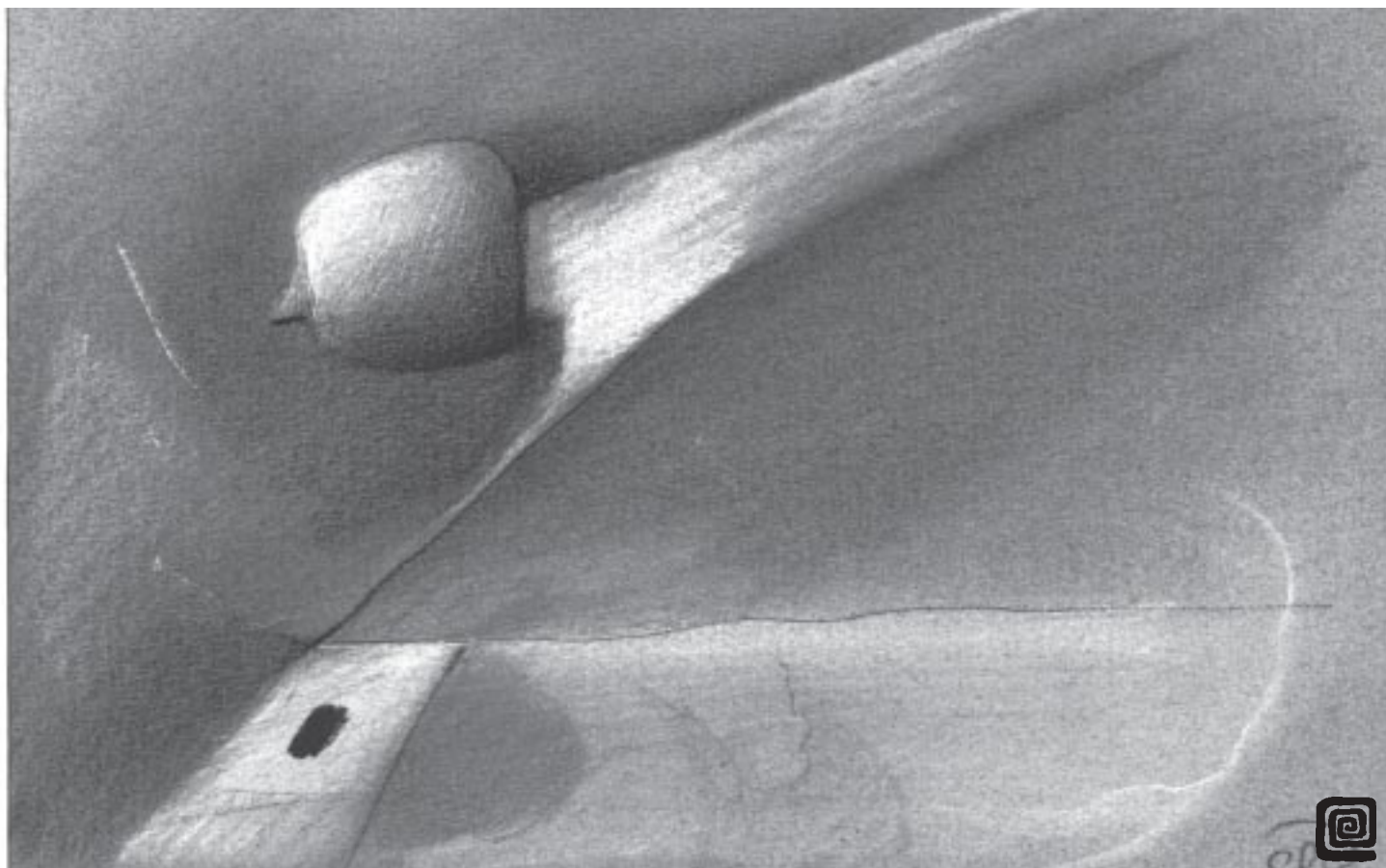
Сегодня про окислительный стресс известно очень многое, однако в этой статье мы остановимся только на самых важных фактах. В нормальных

условиях более 95% молекулярного кислорода в клетке потребляет фермент цитохромоксидаза. Этот фермент, присоединяя к O_2 четыре электрона, катализирует образование двух молекул воды. Однако молекула кислорода при восстановлении может образовать радикал, содержащий неспаренный электрон — супероксид-анион кислорода. Этот радикал обладает сравнительно небольшой реакционной способностью, и, кроме того, его инактивирует фермент супероксиддисмутаза. В норме свободные радикалы кислорода не накапливаются в клетках, однако при патологических состояниях их концентрация может расти — либо из-за повышенной скорости их образования, либо потому, что клетка теряет способность обезвреживать их. В этих условиях супероксид-анион претерпевает превращения, приводящие к образованию других, высокоактивных свободных радикалов, которые причиняют прямой вред клетке, — иными словами, развивается окислительный стресс.

Среди особо опасных свободных радикалов следует в первую очередь назвать гидроксил-радикал, вызывающий повреждения ДНК и липидов мембран, а также оксид азота, кото-

рый образует NO-синтаза в фагоцитах, нейронах и гладкомышечных клетках кровеносных сосудов. Следует иметь в виду, что свободные радикалы приносят не только вред. Так, соотношение концентраций оксида азота и супероксид-аниона кислорода управляет тонусом сосудов. Они играют важную роль и в неспецифическом иммунном ответе: макрофаги, мигрирующие в очаг воспаления, генерируют супероксид-анион, гидропероксид и гипохлорид, чтобы расправиться с инфекцией. Но и это не все: как установил доктор биологических наук А.А.Болдырев (кафедра биохимии биофака МГУ), свободные радикалы участвуют в регуляции синтеза простагландинов, тромбоксанов и лейкотриенов, осуществляемой головным мозгом.

В тех случаях, когда свободные радикалы опасны, клетку защищают от них супероксиддисмутаза и другие ферменты, а также специальная эндогенная (то есть создаваемая самим организмом) антиоксидантная система. Врачи проводят профилактику и терапию окислительного стресса по двум основным направлениям: активируют эндогенные антиоксидантные системы и (или) вводят пациенту экзогенные антиокси-



РАССЛЕДОВАНИЕ

данты, прежде всего естественного происхождения, например микроэлементы и витамины. Применение пищевых добавок, содержащих подобные вещества (селен, витамины С и Е), как само по себе, так и в комбинации с традиционными методами лечения часто приводит к хорошим результатам при лечении и реабилитации. Положительный эффект связывают с ослаблением окислительного стресса — именно он может быть общим звеном в развитии большинства патологических состояний, как показал, в частности, автор этих строк.

Понятно, почему антиоксиданты и их целебные свойства так интересуют научно-популярные издания: «биодобавки» сегодня одно из самых модных словечек. Статью под броским названием «Блеск и нищета антиоксидантов» недавно опубликовала «Наука и жизнь» (2006, №2). Помимо антиоксидантов, в статье рассматриваются еще три важных вопроса, отчасти связанных с ними, — фармакохимическая противолучевая защита, лечение рака, действие малых доз и концентраций физических и химических агентов. Имея полувековой собственный опыт работы в этой области, позволю себе выска-

зать некоторые критические соображения по поводу этой публикации.

Историческая справка

К инициативе применения пищевых антиоксидантов, ингибирующих цепные окислительные реакции, для противолучевой защиты и лечения острой лучевой болезни (а позднее и рака), я оказался приобщенным еще на самых первых этапах, в 1956 году. Перескажу здесь вкратце поучительную историю этих несостоявшихся открытий. (Подробнее об этом рассказано в статье С.П.Ярмоненко в журнале «Медицинская радиология и радиационная безопасность», 2005, №1. — *Примеч.ред.*)

В те времена впервые была высказана идея применить ингибиторы окисления жиров для защиты от лучевых поражений. Предполагалось, что лучевая болезнь — это следствие отравления продуктами окислительных цепных реакций, а именно окисления жиров клеточных мембран. Эти представления, в свою очередь, возникли на основе чисто внешней аналогии между развитием лучевой болезни и рака, с одной стороны, и свободнорадикальными разветвляющимися цепными реакциями, которые идут при ра-

диационном окислении жира, — с другой: и эти болезни, и цепные реакции имеют скрытый период. Отсюда был сделан ошибочный вывод, что рак и лучевую болезнь могут остановить вещества, которые обрывают подобные реакции. На эту роль были предложены нетоксичные пищевые антиоксиданты, в частности ионол (2, 6-ди-трет-бутил-4-метилфенол) и пропилгаллат (нормальный пропиловый эфир галловой кислоты).

Оба эти вещества нетоксичны, а кроме того, их можно было бы применять с пользой (если бы первоначальная гипотеза была верна) не только до, но и после облучения. Между тем применение всех известных химических протекторов и по сей день ограничено тем, что их эффективные дозы находятся на грани переносимости, интервал перед облучением не должен превышать 20—30 минут, а принимать их после облучения не имеет смысла. Отсюда ясно, что новая идея казалась заманчивой.

В лабораторных и полигонных испытаниях ионола и пропилгаллата на крысах и собаках, проводившихся в условиях строжайшей секретности, были получены ошеломляющие положительные результаты. Для детального изучения противолучевой активности этих

препаратов была создана объединенная лаборатория Министерства обороны и Академии наук СССР. Однако повторные эксперименты, выполненные радиобиологами Москвы и Ленинграда, не подтвердили первоначальных данных. Оказалось, что в опытах были допущены грубые методологические погрешности и на самом деле как ионол, так и пропилгаллат при любом способе и времени введения совершенно неэффективны. Ничего удивительного, ведь на самом деле в живых системах (в отличие от жира в пробирке) просто-напросто нет условий для протекания цепных разветвленных реакций: они должны обрываться на структурных компонентах клетки. Как остроумно заметил Н.В.Тимофеев-Ресовский, если бы такие реакции шли в организме, то человек взрывался бы на ходу.

Тем не менее спустя шесть лет вышла монография украинских авторов о противолучевой активности пропилгаллата, которая вдобавок проявлялась не только до, но и после облучения мышей. В 1961 году комиссия Научного совета АН СССР по проблемам радиобиологии (в которую, кстати, входила и автор статьи «Блеск и нищета антиоксидантов» Е.Б.Бурлакова) опровергла заключение о радиозащитном действии пропилгаллата: данные киевских авторов опять-таки оказались следствием элементарных методических погрешностей.

Казалось бы, вопрос исчерпан — но сенсационные сообщения о чудодейственной радиозащитной активности этих соединений появляются снова и снова, теперь уже в научно-популярных изданиях и СМИ. В том же журнале «Наука и жизнь» (2003, № 8) опубликована статья «Молекулярная фитотерапия», язык и стиль которой демонстрирует профессиональную безграмотность авторов. По их мнению, фенолы, введенные в организм до или после облучения в смертельной дозе, прерывая цепную реакцию, сохраняют жизнь до 50% животных!

Можно было бы простить эту «мелкую неточность», тем более что ни один из трех авторов никакого отношения к радиобиологии не имеет и, следовательно, авторитетом не является. Однако в уже упомянутой статье «Блеск и нищета антиоксидантов» вполне авторитетный автор (Е.Б.Бурлакова) снова сообщает об открытии цепных реакций в организме и о том, что введение животным антиоксидантов должно защитить их от облучения. Правда, в статье не указано, насколько хорошо антиоксиданты

справились с этой задачей. К тому же говорится, что такие опыты проводились «впервые в мире».

Уточним, что за рубежом природные и синтетические антиоксиданты использовали в качестве радиопротекторов за несколько лет до того, как российские ученые начали исследовать фенольные ингибиторы окисления жира. Но зарубежные специалисты исходили из активности антиоксидантов, связанной не с цепными реакциями, а с короткоживущими первичными радикалами. Фенольные же соединения ни в одном из многочисленных квалифицированных исследований не проявили радиозащитных свойств.

Пищевые антиоксиданты и лечение рака

Еще один миф, связанный с ингибиторами цепных реакций, — их успешное применение в онкологии. Упомянется об этом и в статье Е.Б.Бурлаковой. Между тем этот чудодейственный эффект также имеет свою неприглядную историю. После провала сенсации о противолучевом действии пищевых антиокислителей эти же авторы предложили те же самые препараты для лечения лейкоза, руководствуясь все тем же принципом аналогий (этот принцип — «если две вещи подобны, они суть одно» — по правде говоря, больше подходит магам или алхимикам, нежели ученым). Статья Н.М.Эмануэля и Л.П.Липчиной «Лейкоз у мышей и особенности его развития при воздействии ингибиторов цепных окислительных процессов» («Доклады Академии наук», 1958, т.121, № 1) так и начинается: «Развитие злокачественного опухолевого процесса находит много аналогий в протекании нестационарных химических процессов, например цепных разветвленных реакций». Далее авторы сообщают о следующих наблюдениях.

1. Мышам с перевивным лейкозом вводили подкожно от трех до десяти раз ионол, пропилгаллат или бутилоксинизол. Результат — нормализация крови, выздоровление 25% животных и в половине случаев продление жизни в 1,5—3 раза.

2. Все вылеченные мыши оказались резистентными к повторным прививкам лейкоза. Эта устойчивость сохранялась не менее полугода.

3. Поколение животных, полученное от скрещивания этих мышей, также оказалось устойчивым к перевиваемому лейкозу.

Конечно, такие блестящие экспе-

рименты необходимо было повторить. Но ни в одном из повторных исследований сенсационные эффекты воспроизвести не удалось даже самим авторам. Разгадка оказалась простой: первые результаты были получены на мышах «разводки Шлегер». В 50-е годы, наряду с еще малоприводимыми государственными питомниками, мышей разводили надомники, в том числе дама по фамилии Шлегер. Теперь мы уже не узнаем, что это были за чудесные животные, которых пищевые антиоксиданты исцелили от лейкоза. (Коль скоро устойчивость передалась потомкам, можно предположить, что мыши были носителями мутации, снижающей заболеваемость. — *Примеч. ред.*) Так или иначе, результаты остались не воспроизведенными и по-своему уникальными.

В заключение добавим, что в 2005-м и в 2006 году из той же школы Эмануэля — Бурлаковой снова появились сообщения об открытии противолучевых и противоопухолевых свойств у созданного в Институте биохимической физики РАН антиоксиданта феназана. Воздержусь от оценок полученных результатов, однако в методическом отношении они не выдерживают критики.

Феномен «сверхмалости»

Третье направление, рассматриваемое в статье, — чрезвычайная активность различных агентов, в том числе антиоксидантов, в малых и сверхмалых дозах (именно величиной дозы, по мысли автора, определяется их «блеск или нищета»). Здесь мы узнаем, что снижение концентрации препарата на четыре порядка (!) не только уменьшает его токсичность, но и повышает эффективность, максимум которой наблюдается при еще большем разведении. Подобное действие, утверждает автор статьи, оказывают самые разнообразные агенты химической и физической природы: «антиоксиданты различного строения, противоопухолевые агенты, радиозащитные препараты, ингибиторы и стимуляторы роста растений, нейротропные средства, гормоны, адаптогены, иммуномодуляторы, детоксиканты, а также физические факторы, в частности радиация. Уровень биологической организации, на котором проявляется этот феномен, распространяется от макромолекул, клеток, органов и тканей до животных, растительных организмов и даже до популяций. Природа феномена пока не совсем ясна. Возмож-

но, следует искать аналогии с воздействием пахучих веществ и феромонов, которые животные способны чувствовать в ничтожно малых концентрациях».

Итак, опять аналогии, хотя очевидная неуместность их в последнем случае вряд ли требует комментариев. Высокая чувствительность обонятельных рецепторов связана с их специфической функцией, но у других клеточных и тканевых структур функции совсем иные.

Продemonстрируем несостоятельность этого тезиса на трех хорошо известных автору примерах: противоопухолевых и защитных препаратах, с одной стороны, и малых дозах радиации — с другой. Начнем с противоопухолевых агентов.

Препараты, используемые в онкологии, главным образом рассчитаны на гибель опухолевой клетки: они повреждают ее ДНК, или ингибируют репарацию, или блокируют жизненно важные пути метаболизма. Поэтому эффективность противоопухолевого действия препарата прямо связана с его концентрацией. Фармакологам до сих пор не удалось избавиться от двух взаимосвязанных недостатков таких препаратов: низкой избирательности и высокой токсичности. В последние годы предпринимались попытки обойти эти препятствия — например, затормозить рост опухоли, остановив в ней рост сосудов. Но и такие препараты оказались недостаточно избирательными: повреждаются не только опухолевые сосуды, но и нарушается кровоснабжение нормальных органов и тканей.

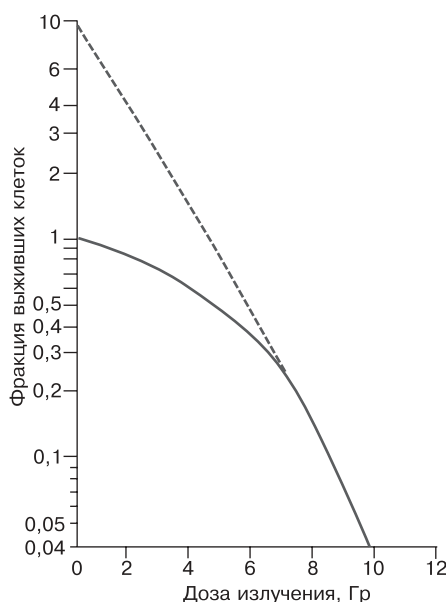
На этом фоне рассуждения о противоопухолевой эффективности препаратов в исчезающе малых концентрациях звучат очень соблазнительно, их охотно цитируют журналисты — и тем больше опасность для людей, введенных в заблуждение этими публикациями.

Так же обстоит дело и с реально существующими радиопротекторами. Их главный недостаток — малая широта терапевтического действия. Говоря проще, слишком невелика разница между безопасным для организмом количеством препарата и дозой, обеспечивающей радиозащитное действие. Все без исключения существующие радиопротекторы требуют их введения в достаточном количестве. Например, пик эффективности средств, снижающих радиочувствительность костного мозга и кишечника, достигается только при дозах, которые вызыва-

ют общую гипоксию организма на грани переносимости. Радиозащитные свойства протекторов с клеточно-концентрационным механизмом действия, как следует из самого названия, проявляются только при достижении определенной концентрации их в клетках. Предположение, что они могут подействовать в исчезающе малом количестве, явно не имеет смысла.

Малое облучение опасней большого?

Среди многих аспектов классической радиобиологии важное место занимает количественный принцип, связывающий вероятность и степень проявления эффектов облучения с величиной и мощностью дозы. При снижении обоих дозовых показателей все радиобиологические эффекты ослабевают — вследствие уменьшения вероятности повреждений, а также в результате частичного восстановления. На основе этого прин-



1
Кривая выживаемости облученных клеток китайского хомячка линии V79 (по: С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон «Радиобиология человека и животных», М.: Высшая школа, 2004)

ципа строятся международные и национальные нормативы радиационного воздействия. При этом к малым дозам, точнее, к низким уровням облучения, или НУО (говоря о воздействии излучения на биообъекты, следует говорить не только о малой или большой величине дозы, но также о низкой или высокой интенсивности), относят дозы до 0,2 Гр, безопасные для здоровья человека.

Чтобы получить количественную характеристику лучевого поражения биообъектов, будь это клетки или организмы, строят так называемые кривые выживаемости, отражающие зависимость гибели изучаемых объектов (или показателей, определяющих гибель, например, летальных повреждений хромосом) от дозы излучения. На рис. 1 приведена такая кривая для клеток китайского хомячка, подвергшихся γ -облучению.

В последние годы благодаря возросшему техногенному облучению, а также в связи с радиационными авариями, прежде всего чернобыльской, международное научное сообщество уделило повышенное внимание НУО. Было получено много данных, дополняющих классические радиобиологические представления, в основном на молекулярном и клеточном уровнях. Приведем лишь два примера.

Первый — открытие так называемого коммунального эффекта, или эффекта свидетеля (англ. bystander effect). Не останавливаясь на деталях, отметим, что суть феномена заключаются в поражении клеток, находящихся вне зоны воздействия радиации, но тем или иным способом контактирующих с облученными клетками. Пока не получено данных об увеличении коммунального эффекта с дозой облучения, и это отличает его от других радиобиологических эффектов. Механизм этого удивительного явления остается малоизученным.

Второй пример — повышенная радиочувствительность у клеток в диапазоне доз 0,2—0,5 Гр (рис. 2). Этот феномен выявлен у 38 клеточных линий, полученных из различных опу-



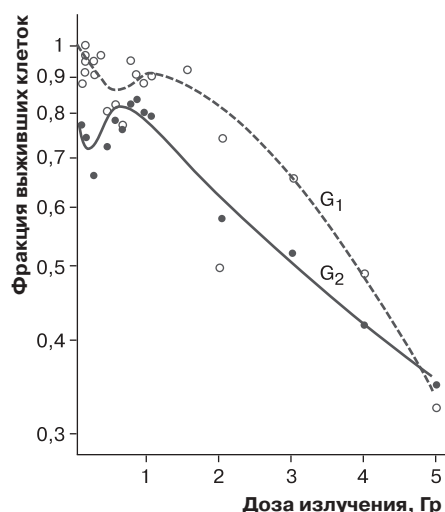


РАССЛЕДОВАНИЕ

холей, а также фибробластов и эпителиальных клеток человека. Положительно эта гиперчувствительность связана с «молчанием» системы репарации в клетках, которая включается только после того, как достигнут некий пороговый уровень повреждения ДНК. Важно, что при этом остаются неизменными общие количественные основы радиобиологии — прямая зависимость эффектов от величины и мощности дозы. Никому не приходит в голову экстраполировать любые результаты наблюдений на молекулярном и клеточном уровнях к уровню организма.

Впрочем, приверженцы представлений об особой эффективности малых доз полагают, что этого достаточно для ниспровержения основ радиобиологии и настало время «использовать... нелинейную, немонотонную полимодальную зависимость эффекта от дозы». Эта предполагаемая зависимость (непонятно кем и как проверенная) изображена на рис. 3. Что именно наблюдалось, не обозначено, но, судя по контексту, речь идет о повреждающем эффекте — который, однако, при неких промежуточных значениях дозы переходит в положительный (фрагмент кривой под горизонтальной линией). Таким образом, малым дозам приписывают одновременно и позитивные эффекты (хорошо известные специалистам под названием гормезиса — но это отдельная история), и негативные, отстаиваемые авторами. Более того, вред от самых малых доз постулирован таким огромным, что в пору больше не считать их безопасными, вопреки всем нормативным документам.

Международное научное сообщество на эту революционную идею реагировало скорее иронически. Помню, как на международном конгрессе 1995 года, посвященном открытию рентгеновского излучения, мой сопредседательствующий коллега из Германии спросил докладчика, представляющего эту новую парадигму: «Не следует ли, исходя из развиваемых вами представлений, нивелиро-



2
Кривые «доза — эффект» для клеток глиомы, облученных в фазах G_1 (рост клеток) и G_2 (подготовка к делению): на начальном участке кривой виден спад выживаемости клеток с последующим восстановлением типичных темпов их убыли (по М. Джейнеру, 2001)

вать повреждающее действие малых доз дополнительным облучением?» Ответа он не получил — вопрос был воспринят с обидой, которая распространилась и на меня как на возможного провокатора...

От теории к практике

Огромный вред «новой парадигмы» проявился в толковании медицинских последствий Чернобыльской аварии. Средства массовой информации переосмыслили ее в том духе, что «маленькие дозы опаснее больших», чем и породили один из самых вредоносных «фундаментальных мифов». Между тем профессионалы-радиологи сразу после аварии дали объективный прогноз радиологических последствий аварии (лучевой болезни, индуцированного радиацией рака и наследственных заболеваний), отделив их от многих других медицинских последствий, имеющих в основном стрессорную и социальную природу. Эти оценки получили подтверждение ведущих научных международных организаций (отчет НКДАР-2000, «Решения Чернобыльского форума», 2005) и были положены в основу международных и национальных рекомендаций по радиационной безопасности. Приведем лишь общее заключение о медицинских последствиях аварии, сделанное крупнейшими международными экспертами.

«Подавляющее большинство затронутого аварией населения не должно жить в страхе, опасаясь серьез-

3

Общая зависимость «доза — эффект» по Е.Б.Бурлаковой («Медико-биологические проблемы противолучевой и противохимической защиты», СПб.: Фолиант, 2004, с. 446)

ных последствий для здоровья. По большей части эти люди подверглись облучению в дозах, близких к природному фону. При этом уровни облучения постоянно снижаются по мере распада радионуклидов. Авария резко нарушила обычный порядок жизни людей, а для многих из них имела трагические последствия. Однако с позиций радиологической науки можно сказать, что в отношении здоровья большинства людей должны преобладать благоприятные перспективы».

Таким образом, пессимистический прогноз грядущих массовых онкологических заболеваний населения, подвергшегося воздействию НУО, и тем более наследственных болезней у их потомков, лишен оснований.

Необходимость покончить с радиационными мифами отнюдь не значит предать забвению трагедию. Не может быть и речи о каком-либо пересмотре уже установленных льгот. Однако зачислять в жертвы радиации всех, кого хоть как-то коснулся «чернобыльский след», и их детей заодно, — ошибочно и попросту жестоко. Развенчание этого мифа крайне важно не только для людей, вовлеченных в чернобыльскую эпопею, но и для всего населения — если мы вспомним о неизбежном в будущем расширении контактов человека с ионизирующей радиацией. Было бы замечательно, если бы СМИ и научно-популярные издания уделили больше внимания этой проблеме.



Легендарная работа А.Н.Колмогорова



РАССЛЕДОВАНИЕ



В свое время выдающийся советский математик А.Н.Колмогоров выступил арбитром в споре между биологами. Речь шла о работе одной аспирантки Т.Д.Лысенко, которая перепроверяла опыты Менделя. Она исследовала большое число семей гибридных растений и подсчитала, что во всех этих семьях менделевское соотношение «три к одному» не выполняется.

Недоразумение было следствием непонимания вероятностного характера законов Менделя. В каждой из семей было мало растений, а вероятностные законы применимы лишь для массовых явлений. В одних семьях результат опыта отклонялся от отношения 3:1 в одну сторону, в других – в другую. Когда результаты по разным семьям сложили, то отклонения скомпенсировали друг друга, и результат уже был близок к теоретическому. Тем не менее биологи обратились к А.Н.Колмогорову с просьбой проанализировать эти эксперименты.

А.Н.Колмогоров провел более тонкий анализ этих отклонений. В ре-

зультате произошло нечто неожиданное. Вот что об этом пишет известный лысенковед В.Н.Сойфер в книге «Власть и наука» (М., 1993, с. 376): «Колмогоров вычертил две кривые: идеальную (теоретически ожидаемую) и реальную (ту, что получилась на основе анализа данных лысенковской аспирантки). Совпадение кривых было настолько разительным, что можно было даже предположить подтасовку данных с целью найти лучшее соответствие закону расщепления Менделя. Сообразно с этим, Колмогоров назвал свою статью «Об одном новом подтверждении законов Менделя». Случай этот был не комичным, а анекдотичным».

Обратимся однако, как нас учили на занятиях по истории КПСС и марксистско-ленинской философии, к первоисточникам. В сборнике статей «Колмогоров в воспоминаниях» (М., 1993, с. 473) эта история излагается уже по-другому. При непосредственном знакомстве со статьей А.Н.Колмогорова «Об одном новом подтверждении законов Менделя» (Доклады АН СССР. 1940. Т. 27, № 1) выясняется, что в действительности все было более интересно, чем в той легенде, которая дошла до В.Н.Сойфера. На самом деле А.Н.Колмогоров проанализировал две работы биологов. Одна из них — работа лысенковской аспирантки, о которой шла речь выше. Тонкий анализ ее данных показал, что они вполне соответствуют теории Менделя.

Но А.Н.Колмогоров проанализировал также работу другого биолога, который хотел подтвердить закон Менделя. В его работе при небольшом числе опытов отклонения от теоретического отношения были уж слишком малы, и деликатнейший А.Н.Колмогоров счел нужным отметить, что все это очень похоже на подтасовку результатов.

Эта история поучительная во многих отношениях. Главное в ней, на наш взгляд, — отношение Колмогорова к черновой работе. Ученый мирового класса не пренебрег примитивной работой, которая свелась к

применению стандартной методики, без каких бы то ни было оригинальных идей. В более спокойной обстановке эту деятельность можно было бы поручить студенту-дипломнику. Однако Колмогоров использовал не только свои знания, но и свой авторитет, чтобы в научном споре возторжествовала истина.

Поучительно также обратить внимание на антилысенковца, который, возможно, для вящей убедительности подкорректировал результаты эксперимента. Известно, что официальная история советской науки о многом умалчивала. Но эти пробелы заполняли устные предания. Одну из таких легенд нам рассказал В.Н.Сойфер. Но, как мы убедились, к ним надо относиться с осторожностью. Тем более что иногда, как в данном случае, действительность бывает интереснее.

На этом примере мы видим также необходимость для ученого любой специальности обладать общенаучной культурой. Биологи, отправившись к А.Н.Колмогорову за консультацией, возможно, и не могли сами произвести соответствующие вычисления, кстати, не очень сложные. Но они понимали, чем занимаются математики, обратились по адресу и получили исчерпывающий ответ на свой вопрос.

И наконец, здесь мы видим неожиданный эффект фундаментальных исследований. Дело в том, что ученый, получив результат, имеющий общенаучное значение, становится известным широкой научной общественности. В основном потому, что его результаты представляют интерес не только для узкого круга специалистов, а кроме того, соображения секретности и сохранения коммерческой тайны реже мешают при публикации результатов общенаучного характера. В результате такой ученый приобретает авторитет, и к его мнению начинают прислушиваться не только коллеги.

И.И.Гольдфаин

БИОХИМИЯ

Препарат против старости возвращает зрение

Успешное взаимодействие науки и бизнеса приносит плоды. В рамках инвестиционного проекта академика В.П.Скулачева, который финансирует компания Олега Дерипаски РАИНКо, получено вещество, продлившее жизнь лабораторных мышей и возвратившее зрение ослепшим животным (viktoriavd@rainco.ru).

По мнению академика РАН В.П.Скулачева, директора Научно-исследовательского института физико-химической биологии им. А.Н.Белозерского, старение живых организмов — вовсе не неизбежность. Подавляющее большинство видов животных и растений действительно стареет: организм начинает хуже функционировать, перестает размножаться, легко поддается болезням и в конце концов умирает. Старение необходимо с точки зрения эволюции: стареющие живые существа становятся неконкурентоспособными и уступают место молодым. По наиболее четкому определению, «старение организма есть ослабление с течением времени его жизненных функций, повышающее вероятность смерти».

Но в мире есть и нестареющие живые существа, подчеркивает В.П.Скулачев. Например, гигантские черепахи могут жить лет двести, причем сохраняют способность к размножению и продолжают расти, а умирают оттого, что их панцирь становится слишком тяжелым, чтобы двигаться и добывать пищу. Альбатросы живут около 50 лет, не старея, и умирают внезапно. Гренландский кит живет около 200 лет и тоже сохраняет способность к размножению. Все эти животные эволюционируют очень медленно, но им и не нужно эволюционировать: они хорошо приспособлены к условиям, в которых обитают. Другие примеры демонстрируют, что старение вызывается какой-то внешней необходимостью. Тихоокеанский лосось начинает ускоренно стареть сразу после того, как отнерестился. Рыбы погибают, привлекая тем

самым многочисленных рачков, которые служат пищей малькам. А атлантический лосось может продлевать свою жизнь благодаря поселившемуся в нем паразиту — личинке жемчужницы.

Из этого следует, считает В.П.Скулачев, что старение — это программа, которую возможно замедлить или вовсе отменить. На эту глобальную цель направлена исследовательская работа по проекту, который поддерживается «Русско-Азиатской Инвестиционной Компанией» (РАИНКо). В этом международном проекте принимают участие 32 исследовательские группы, всего более 210 человек, в том числе несколько молодых ученых, которые вернулись в Россию из зарубежных лабораторий.

Казалось бы, если мы хотим отменить программу старения, то надо действовать на уровне генома. И такие опыты уже ведутся: ученые нашли ген, выключение которого продлевает жизнь червя нематоды и лабораторной мыши. «Но мы не хотим вмешиваться в геном человека, потому что это может привести к непредсказуемым последствиям», — говорит В.П.Скулачев. Исследователи решили вмешаться не в саму программу, а в ее выполнение на очень ранней ступени. На этой ступени старение связано с накоплением в организме свободных радикалов, причем первоначально это происходит в митохондриях — энергетической подстанции клетки. Вещество SkQ, синтезированное в процессе работы, действует как очень эффективный антиоксидант, причем борется со свободнорадикальным кислородом именно в митохондриях.

В мире применяются уже сотни антиоксидантов, но не все из них эффективны, так как быстро разрушаются. Особенность нового вещества в том, что в его состав входит «ион Скулачева» (название дали зарубежные коллеги). Он проникает через мембрану клетки и накапливается в митохондриях благодаря своему положительному заряду: внутри митохондрии заряд отрицательный. Этот ион «протаскивает» за собой собственную антиоксидантную часть. И вещество спасает липиды митохондрий от окисления.

Действие SkQ на продолжительность жизни изучали в опытах на мышах. Лабораторных мышей поили «живой водой» с SkQ, причем вещества в этой воде было



ничтожно мало — 5 наномолей. Время жизни таких мышей увеличивалось по сравнению с контрольными мышами в среднем на треть. Еще более показательны опыты с мутантными крысами, у которых наблюдалось ускоренное старение — прогерия. Продолжительность их жизни SkQ увеличивал в три раза, а кроме того, излечивал от множества старческих болезней. К ним относятся инфаркты, инсульты, остеопороз, заболевания крови, бесплодие, изменения поведения, нарушения зрения.

На последнем интересно остановиться подробнее, поскольку препарат SkQ успешно борется с катарактой и дистрофией сетчатки, правда, пока лишь у животных. Причем не только предотвращает, но и лечит, чего не могут объяснить офтальмологи. В списке животных, прозревших после закапывания в глаза SkQ, — собаки, кошки, кролики и одна лошадь. Правда, этих животных не так много — всего 19. В фильме, который сняли исследователи, хозяева собак и кошек рассказывают, как их питомцы ослепли и курса в две-три недели оказалось достаточно, чтобы зрение вернулось. «Еще рано говорить о том, как будет действовать этот препарат на глаз человека», — говорит В.П.Скулачев. — Однако на 2007 год мы запланировали клинические испытания». Он подчеркивает, что на стадии полной потери зрения, когда офтальмологи не дают никакой надежды, терять уже нечего и можно не опасаться вероятных побочных эффектов.

РОБОТОТЕХНИКА

Рука менеджера и робот-уборщица

Придумать таких роботов для кино гораздо проще, чем сделать. Это на экране пол в домах будущего с легкостью подметает робот-домработница, а какой-нибудь робот-секретарь может сделать вообще все, что угодно, — разве что по спине не стукнет, если хозяин подавится вишневой косточкой. Но в реальной



жизни сделать таких механических помощников непросто. Приблизиться к фантастическому эталону удалось сотрудникам компании «Робопром» из Екатеринбурга.

Среди разработанных ими роботов есть пара очень интересных. Один называется «рука менеджера». Этот манипулятор с двумя пальцами действительно похож на руку, которая умеет неустанно раздавать визитки с информацией о компании или фирме. Эту сложносочлененную руку, имеющую пять степеней свободы, конструкторы снабдили видеокамерой и компьютером со специализированным программным обеспечением.

Когда лицо человека, который подошел к менеджеру-автомату, попадает в поле зрения камеры, «рука» дотягивается до стопки визиток, берет верхнюю и протягивает человеку. В принципе можно настроить автомат и на раздачу чего-то покрупнее, но эти предметы должны быть все-таки небольшими и сравнительно легкими — не более 100 г.

Правда, пока у системы есть недостаток. Если долго стоять перед роботом, он так и будет давать подошедшему визитки, пока они не закончатся. Сейчас авторы учат робота не только распознавать человека, но и запоминать мелькающие перед ним лица, чтобы соблюдать строгий порядок: получил визитку — отойди, хватит тебе одной.

На тот случай, если визитка упадет на пол и станет мусором, у разработчиков есть еще одна конструкция — специальный мусороуборщик, или трэшфайндер. Это тоже рука-манипулятор с «видеоглазом», вернее — с двумя, но приделанная к ведру на колесиках. Такое не менее полезное устройство предназначено, чтобы искать и собирать разбросанный по полу мусор.

Между прочим, эта задача, простейшая для любого человека, довольно сложна для робота. Это нам не составит

труда оглядеться по сторонам и, увидев валяющуюся бумажку, банку из-под газировки или огрызок, понять, что это — мусор, а значит, его следует выкинуть в мусорное ведро. Однако на самом деле все это — результат обучения, поэтому робота, как ребенка, тоже сначала нужно научить не только увидеть предмет, но и распознать его как мусор, который следует поместить в контейнер.

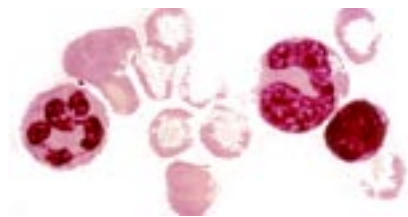
Все это уже неплохо умеет робот-уборщик, сделанный в Екатеринбурге. Две видеокамеры обеспечивают систему технического зрения, а полученное с их помощью изображение обрабатывает бортовой компьютер. Необходимые программы авторы тоже разработали. Если система распознает объект как мусор, в действие приходит рука-манипулятор. Она поднимет предмет с пола и положит его в ведро. Хотя тяжелый предмет ей не поднять, но с пустой бутылкой она справится. Такой «поисковик» найдет и соберет мелкий мусор, и после этого мыть или пылесосить пол будет проще.

МЕДИЦИНА

Стволовые клетки лечат инфаркт

Для восстановления искаленного инфарктом сердца российские медики предлагают стимулировать продукцию стволовых клеток костного мозга. Попадая в кровь, стволовые клетки устремляются к поврежденному месту и начинают «ремонт», превращаясь в клетки сердечной мышцы — в кардиомиоциты. Для мобилизации стволовых клеток пациенту делают инъекции фактора роста. Специалисты Санкт-Петербурга и Новосибирска под руководством академика РАН, профессора В.А.Козлова получили приоритет на изобретение новой методики.

Сердце, пережившее инфаркт, полностью не восстанавливается. Вместо отмершего участка мышечной ткани на нем появляется грубый, неэластичный рубец. Его метаболизм и кровоснабжение нарушены, насосные функции — тоже. Из-за этого сердце уже не может сокращаться должным образом и перекачивает меньше крови, чем здоровое. Восстанавливать миокард позволяет новая технология пересадки стволовых клеток. Источником стволовых клеток служит костный мозг. Попадая в пораженный орган, стволовые клетки костного мозга специализируются — в постинфарктном сердце



они становятся кардиомиоцитами. Но процедура взятия клеток костного мозга довольно болезненна, а трансплантация — дело дорогое и хлопотное. Вместо того чтобы пересаживать пациенту донорские клетки, можно стимулировать у него дополнительную выработку собственных стволовых клеток. В качестве сигнала к мобилизации авторы метода использовали ростовой фактор Г-КСФ, который французская фирма «Aventis Pharma» выпускает под названием «граноцит».

В клинических испытаниях приняли участие 48 пациентов-добровольцев, чей возраст не превышал 75 лет. Все они несколько лет страдали сердечной недостаточностью, завершившейся инфарктом. Основной группе больных, в которую вошли 11 человек, помимо стандартной терапии назначили инъекции граноцита. Остальным тридцати семи пациентам вместо ростового фактора вводили физиологический раствор.

Анализы показали, что под влиянием инъекций граноцита содержание стволовых клеток в периферической крови пациентов возросло в десять раз. Пациентов опытной группы выписали из больницы на пять дней раньше, чем остальных больных. Через полтора месяца после начала лечения у них уменьшилась пораженная инфарктом зона, стал лучше сокращаться левый желудочек, значительно улучшилась гемодинамика. Кровоснабжение и метаболизм миокарда восстановились. В ходе лечения умер только один человек из одиннадцати, а в контрольной группе — восемь пациентов из тридцати семи. У тех, кто остался жить, заметных улучшений не было.

Исследователи отмечают, что инъекции граноцита не сопровождались побочными эффектами, а стволовые клетки собственного костного мозга не отторгаются иммунной системой, способствуют восстановлению миокарда в зоне инфаркта и предотвращают образование рубца. Так что мобилизация стволовых клеток костного мозга пациента может стать новой стратегией лечения инфаркта миокарда.



Наш КОСМОС

В издательстве «Алгоритм»,
в серии «Сверхдержава»,
вышли первые две книжки
известного научного журналиста
В.С.Губарева: «Русский космос»
и «Ракетный щит империи»



КНИГИ

«Перед вами не биографии двух людей, восславивших нашу Отчизну. Из многих событий, из которых складывается человеческая судьба, я выбрал лишь некоторые: два человека — Королев и Гагарин — идут навстречу друг другу... Сейчас над планетой работают орбитальные комплексы. К ним стартуют новые экипажи. Космонавты открывают люк и всплывают в станцию. Щелчок выключателя, вспыхивают светильники. На одной из стен они видят фотографию Главного конструктора и Первого космонавта Земли — такими словами начинается документальная повесть «Королев и Гагарин». Пути этих двух людей пересеклись в мае 1960 года, когда шестерых офицеров, отобранных в первый отряд космонавтов, представили Генеральному конструктору и тот показал им первый на Земле космический корабль. А спустя год, в апреле 1961-го, эти имена стали символами покорения человеком третьего океана — космического.

Академик В.П.Глушко, генеральный конструктор двигателя, академик Н.А.Пилюгин, в КБ которого создали систему ориентации ракет и космических кораблей, академик В.П.Бармин, разработчик пусковых установок «катюш» и космических ракет, академик Г.И.Северин, чьи детища — противоперегрузочное кресло и скафандр — надежно защищают жизни космонавтов и летчиков, Г.М.Шубников, сумевший за считанные месяцы построить небывалый объект — космодром Байконур, — все эти яркие люди и другие не менее яркие творцы космического века стали героями книги о нашем космосе.

«Наша техника рождалась в годы послевоенной разрухи. Каждый гвоздь, кирпич, кусок шифера были

на счету. Но для нас выделяли все необходимое — ведь речь шла об обороне. Стране угрожали новой войной, капиталисты не предполагали, что советские ученые и специалисты смогут в очень короткое время создать ракетно-ядерное оружие» — так рассказывает о начале космической эры генерал-лейтенант В.И.Вознюк, начальник испытательного полигона ракет. Разговор об оружии не случаен, он отражает две стороны космических исследований. Не все знают, что полету первого спутника Земли предшествовал успешный запуск межконтинентальной баллистической ракеты.

Созданию ядерного оружия и средств его доставки посвящена вторая книга серии — «Ракетный щит империи».

«К нашей радости, Янгель изготовил ракету, которую можно было запустить очень быстро. Это сразу превратило нас в ракетно-ядерную державу. Мы почувствовали, что готовы к ответному удару по любому агрессору... У американцев к той поре главным оружием считался дальний бомбардировщик как носитель ядерной бомбы. И они прежде опасались только за базы, где располагались их самолеты — вокруг СССР. Территория же США оставалась неуязвимой. Создав ракетно-ядерное оружие, мы уравнились в возможностях» — так пишет Н.С.Хрущев в своих воспоминаниях. Как и в случае с космосом, история этого оружия полна ярких имен. Создатель боевой ракеты академик М.К.Янгель, директор ЦНИИМАША, создатель ракетоносителя «Зенит» академик В.Ф.Уткин, герои ядерной эпопеи академики Ю.Б.Харитон и Е.И.Забабихин, главный конструктор ядерного центра в Снежинске академик

Б.В.Литвинов и его нынешний директор Г.Н.Рыкованов — о них и их коллегах говорится в книге. Рассказано там и о борьбе разных направлений в разработке ракет, ядерного и термоядерного оружия, и о нелегком периоде перестройки, начале демократических реформ, и о безоглядном разоружении в этот период. Рассказано и о мирных профессиях ядерных взрывов.

«Мне абсолютно ясно, что запретить и уничтожить ядерное оружие во всем мире невозможно. Это аксиома. Оно уже изобретено, и его, как и Америку, «закрыть» уже нельзя. Мир очень сложен, на планете бушуют войны. Допустим, мы лишимся ядерного оружия, но оно появится где-нибудь в Пакистане, Афганистане, любой другой стране. Пусть оно будет примитивное, не столь совершенное, как у нас, но оно может быть применено. Каким бы иллюзиям не предавались те или иные политики, но такова реальность нашего не очень совершенного мира. В общем, сдержать агрессора способно лишь осознание, что мы сильнее. И тогда применить свое оружие они не смогут. Так что для меня ясно: наше оружие в таком случае становится гарантом мира», — эти слова директора снежинского центра В.З.Нечая, трагически ушедшего из жизни в 1996 году, ныне, когда ядерное оружие появилось в Пакистане, Индии, Корее и скоро может появиться у Ирана, звучат серьезным предостережением, которое придает дополнительную актуальность книгам В.С.Губарева.

С.Алексеев

ФОРУМ ОРГАНИЗУЕТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



Правительства
Российской Федерации



Правительства
Москвы

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
МЕНЯЮТ МИР

BT XXI
2007

23-26 апреля 2007 г.

Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.VT21.ru



VIII Международный форум
**ВЫСОКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**
HIGH
TECHNOLOGY OF **XXI**
ВЕКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «ВТ XXI-2007»

Специализированные салоны:

- «Нанотехнологии»
- «Технопарк»
- «Hi-Tech-Наука»
- «Криогенные технологии»
- «Hi-Tech-Медицина»
- «Высокотехнологичные
товары народного потребления»
- «IT-технологии»
- «Композиционные материалы и сплавы»
- «Наукоград»

Специализированные выставки:

- 2-я Международная выставка «Океан-2007»
- 1-я Международная выставка
«Сертификация и технические регламенты-2007»
- 1-я Международная выставка «Энергия-2007»

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- Международная конференция
- Конкурсная программа
- Бизнес-клуб
- Презентации

Организаторы:

Министерство промышленности и энергетики РФ
Департамент науки и промышленной политики города Москвы
ЗАО «Экспоцентр»

По вопросу участия в мероприятиях Форума обращайтесь:
ООО «ЭКСПО-ЭКОС»

117209, Москва, ул. Зюбинская, д. 6, корп. 2

Тел.: (495) 332-3595, 331-0501, 331-2333. Факс: (495) 331-0511, 331-0900

E-mail: vt21@vt21.ru; arena@vt21.ru. <http://www.vt21.ru>; www.expococos.com

Рождественские игры течений и ветров

Глобальные последствия

Испанское слово El-Nino (Эль-Ниньо) означает «младенец». Такое красивое название получило одно из природных явлений на Земле, которое проявляет себя во всей мощи именно на католическое Рождество, почему, собственно, его так и назвали. Эль-Ниньо представляет собой резкое, на несколько градусов, повышение температуры поверхностных вод экваториальной и тропической зоны Тихого океана восточнее 180-го меридиана. Если быть более точным, то явление состоит из двух фаз: теплой — собственно Эль-Ниньо и холодной — Ла-Нинья (тоже младенец, но женского пола). Ла-Нинья наступает после теплой фазы. Эль-Ниньо охватывает площади в миллионы квадратных километров и длится несколько зимних месяцев. Наиболее мощные Эль-Ниньо прошлого столетия случались зимой 1972—1973, 1982—1983 и 1997—1998 годов.

Повышение температуры поверхности океана на таких гигантских площадях приводит к перестройке динамики всей атмосферы Земли. А это чревато непрогнозируемыми погодными катаклизмами в различных регионах мира. Многие помнят сухое и жаркое лето 1972 года, когда Москва задыхалась в дыму горящих торфяников, а подмосковные речки пересыхали. В октябре 1982 года вдоль берегов Колумбии и Эквадора начались сильные и устойчивые дожди, которые продолжались до июля 1983 года. В Эквадоре количество осадков превысило норму в 30 раз, а в Перу почти в 340 раз! Десятки тысяч семей лишились крова. В водах этих стран практически полностью исчез анчоус, добыча которого составляла около 80% всего мирового улова этой рыбы. Общий ущерб в Эквадоре достиг 640 млн., в Боливии — 800 млн., а в Перу — 2 млрд. долларов США. Жесточая засуха поразила Эфиопию и стала распространяться вдоль всей восточной части Африки. Только в одной Тан-



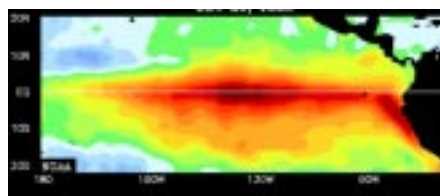
зании на пике засухи от голода ежедневно умирало около 150 детей. О том лете в Новой Зеландии говорили как «о холодном лете, которого никогда не было». Таковы лишь некоторые из многочисленных страшных последствий Эль-Ниньо 1982—1983 годов.

Спустя четырнадцать лет, в ноябре 1997 года, новое Эль-Ниньо вызвало небывалые снегопады в Канаде. В Кении были размыты дороги и прервано автомобильное движение между главным портом страны Момбасой и ее столицей Найроби. Засуха и гигантские лесные пожары обрушились на Австралию. Погиб урожай кофе в Индонезии. Дефицит снега зимой 1997—1998 года и закрытые горнолыжные трассы в пик сезона на Кавказе, в Словакии и Словении — все это и многое другое было результатом очередного проявления Эль-Ниньо. Прямые экономические потери в тот год, по данным Всемирной метеорологической организации, составили 34 млрд. долларов США. Согласно недавним оценкам российских

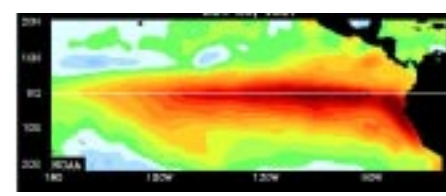
ученых, опубликованным в апрельском номере журнала «Исследования Земли из космоса» за 2005 год, за время Эль-Ниньо 1997—1998 годов суммарные объемы осадков изменились на четверти поверхности Земли. Причем на 18% площади нашей планеты объем осадков за это время увеличился по сравнению с обычными годами в два раза! В полной мере на себе это ощутили жители Ленска, когда после обильных снегопадов и сильных морозов толщина льда достигла таких значений, что весной ледоход нужно было поддерживать с помощью взрывов аммонала. Мощный лед никак не хотел уходить. Город был затоплен.

Игры течений

Как и на суше, в Мировом океане существуют своеобразные реки — течения. Самые известные из них — теплые течения Гольфстрим в Атлантике и Куросио в Тихом океане. Менее известны теплые Пассатные течения. И уж совсем



1
Аномалии температуры (в градусах Цельсия по нижней шкале) поверхности Тихого океана во время Эль-Ниньо 1982—1983 годов



2
Эль-Ниньо 1997—1998 годов



мало известны неспециалистам Межпассатное противотечение и подповерхностное течение Кромвела на экваторе. Последние два течения несут свои теплые воды в Тихом океане с запада на восток. Однако именно с этими течениями связано появление главного героя нашего повествования (рис. 1, 2).

В обычные годы, если вы вдруг захотите искупаться на островах Пласа или Санта-Крус, расположенного на экваторе Галапагосского архипелага, то будете приятно удивлены прохладой воды: температура в 22°C неплохо бодрит, конечно, если купание происходит не в мелких мангровых заливчиках. В это же время, например, у берегов острова Науру, находящегося тоже на экваторе, только в западной части Тихого океана, температура воды достигает 29°–30°C. Холодная вода ожидает пловца также в приморских городах Антофагаста (Чили), Кальяо или Талар (Перу). Чем вызвана такая низкая температура воды в этой тропической части Тихого океана?

Разгадка холодных вод на экваторе кроется в том, что на востоке Тихого океана Межпассатное течение, рожденное теплым северным Пассатным течением, а так же проходящая вдоль экватора ветвь холодного Чилийско-Перуанского течения создают так называемую дивергенцию вод на протяжении нескольких тысяч километров. Дивергенция значит «расхождение». В данном случае — поверхностные воды уходят от экватора на север в Северном полушарии и на юг в Южном. Поэтому на экваторе возникает компенсационный приток глубинных холодных вод. Это явление называют апвеллингом (от английского — *upwelling*). Чем сильнее северное Пассатное (и Межпассатное) или Чилийско-Перуанское течения, тем больше холодных вод поднимается из глубин вдоль экватора, тем ниже температура экваториальных вод.

Две особенности Тихого океана определяют, почему именно в нем каждые 3—4 года формируются Эль-Ниньо. Правда, катастрофические Эль-Ниньо случаются реже — один раз за 10—15 лет.

Первая особенность — его гигантские масштабы. Пассатные течения в Тихом

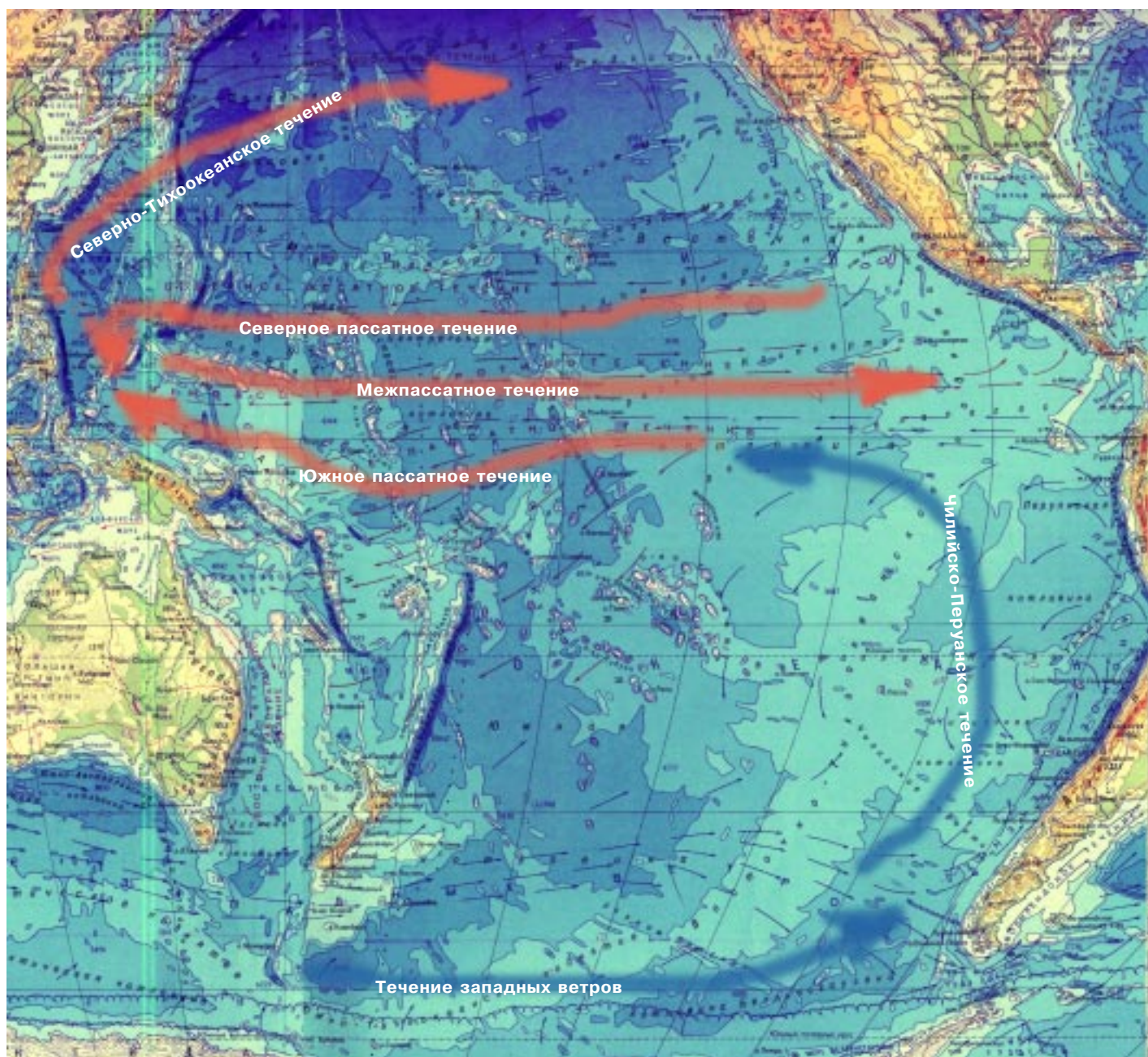
океане — самые крупные теплые течения Мирового океана. Протяженность, например, северного Пассатного течения составляет более 12 000 км. Пассатные течения — это порождения ветров, называемых пассатами. Те, в свою очередь, вызваны разностью между низким давлением во влажной и теплой атмосфере тропиков и высоким давлением в более холодном и сухом воздухе северных широт. Пассатные течения несут свои воды с востока на запад как раз в тех широтах, куда в летнее время благодаря наклону земной оси поступает максимальное количество солнечного тепла. Океанические воды слабо отражают солнечное излучение. На своем длинном пути они поглощают гигантское количество тепла, которое поступает в акваторию Филиппинского моря. Таким образом, Филиппинское море, расположенное на западе Тихого океана, оказывается мощным аккумулятором тепла. Температура поверхности океана здесь часто превышает 30°C, а глубина верхнего перемешанного слоя воды с температурой 28—30°C порой достигает 150—160 метров!

Вторая особенность Тихого океана — «ревущие» сороковые широты. Там, на безбрежных просторах Южного океана, с запада на восток постоянно дует сильный ветер. Многие яхтсмены, в том числе наш соотечественник Федор Конюхов, используют его в своих кругосветных путешествиях. И вдруг этот ветер встречает на своем пути преграду в виде горного массива Анд вдоль западного побережья Южной Америки. В этом месте ветер сворачивает на север, поскольку там атмосферное давление ниже, чем в Антарктиде. Под его воздействием вдоль побережья Южной Америки и формируется идущее с юга на север Чилийско-Перуанское течение. Из-за вращения Земли поверхностные воды в Южном полушарии отклоняются в западном направлении. В частности, воды течения отклоняются от континента Латинской Америки в сторону океана. На смену им вдоль береговой линии поступают холодные глубинные воды (вновь апвеллинг). Попутно заметим, что глубинные воды очень богаты минеральными солями, поэто-

му в них под жгучим тропическим солнцем начинается бурный фотосинтез. Зарождается самая богатая в Мировом океане пищевая цепочка — от фито- и зоопланктона до огромных кальмаров, каракатиц и изобилия рыб. По данным некоторых морских биологов, в акватории Чилийско-Перуанского апвеллинга сосредоточено более половины всей массы морских обитателей планеты.

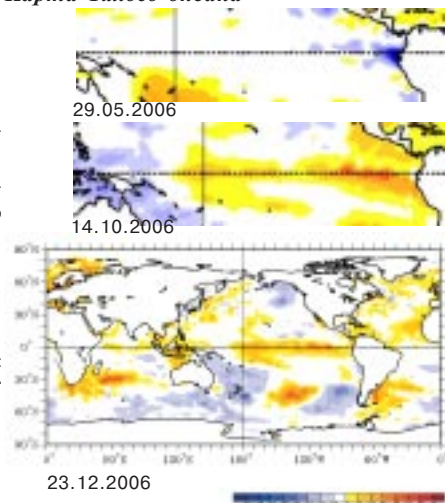
Игры циклонов

Вспомним о Филиппинском море, об аномально большой тепловой энергии, которая в нем накапливается. Именно здесь зарождаются многочисленные тропические циклоны. Некоторые из них быстро, порой за двое-трое суток, превращаются в сильные штормы и тайфуны. Не случайно эту акваторию северо-западной части Тихого океана называли «гнездом тайфунов» (тай фэн по-китайски — «великий ветер»). Природа не терпит неравновесия. С помощью штормов и тайфунов она стремится перекачать избыток тепла из океана в атмосферу. Действительно, в тайфунах такие потоки тепла могут достигать 4—5 кВт с квадратного метра поверхности воды. Тем не менее, как показали наши исследования, тайфуны транспортируют из океана только малую часть накопленной энергии. Океан устроен так, что ниже верхнего перемешанного слоя температура воды резко падает. На поверхности океана температура достигает 30°C, а на глубине 250 м она может быть ниже 17°C. Тайфуны поднимают к поверхности океана эти холодные глубинные воды и оставляют за собой шлейф холодных вод — след шириной в несколько сотен километров. При этом по периферии следа теплые поверхностные воды уходят на глубину. Из-за понижения температуры воды там, где прошел тайфун, новые атмосферные неприятности зародиться не могут. Однако термическая энергия верхнего слоя океана остается нереализованной и с годами накапливается. Загнанное в нижние слои тепло увеличивает среднюю по глубине температуру воды. За счет ее термического расширения поднимается уровень поверхности Филиппинского моря. Усиливается течение Курисио, которое пе-



3
Карта Тихого океана

<http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.html>



4
Развитие Эль-Ниньо 2006 года

реходит в Северо-Тихоокеанское течение, идущее вдоль 35° — 40° с. ш. Эти течения уносят тепло из Филиппинского моря в более высокие широты. Разность температур между высокими и низкими широтами уменьшается. В результате уменьшаются скорость пассатных ветров и, как следствие, скорость северного Пассатного течения. Зато усиливается подповерхностное течение Кромвеля, которое переносит тепло из Филиппинского моря на восток Тихого океана. Вследствие этих причин экваториальный апвеллинг становится меньше либо полностью исчезает. Поверхность океана быстро прогревается под тропическим солнцем. Это и есть начало Эль-Ниньо. Перенос воды Межпассатным течением и течением Кромвеля на восток океана и повышение там температуры воды влечет за собой подъем

уровня океана. В результате прибрежный апвеллинг у северных берегов Южной Америки блокируется — Эль-Ниньо достигает своего апогея.

Температуру океана, а также изменение уровня его поверхности легко измерять из космоса. В архивах накоплено уже довольно много изображений Эль-Ниньо, благодаря которым можно изучать развитие этого явления. Например, на рис. 1 показаны аномалии температуры поверхности океана на пике развития Эль-Ниньо 1982—1983 года, на рис. 2 для сравнения показано Эль-Ниньо 1997—1998 годов. Пик его развития также наблюдался в конце декабря, но закончилось оно только в конце июля 1998 года. В том и другом случаях максимальное увеличение температуры превышает пять градусов. Нужно отметить, что повышение температуры

поверхности океана всего на четыре градуса для типичных метеоусловий в акватории Эль-Ниньо увеличивает испарение более чем на 1700 м³ воды с квадратного километра в сутки. Это эквивалентно увеличению потока энергии в атмосферу на 50 Ватт с каждого квадратного метра поверхности океана. Вот где скрыта энергия! Осталось только научиться ее брать.

Из всего сказанного логично сделать вывод, что между тропическим циклогенезом в районе Филиппинского моря и явлением Эль-Ниньо на востоке океана должны существовать определенные взаимосвязи. На это впервые обратили внимание российские ученые (мы представили доклады по этому поводу еще в 1992 году на международном симпозиуме в Пекине и в 1995 году на XXI Генеральной ассамблее по физике океана в Гонолулу). Позднее мы установили связь между числом тайфунов и Эль-Ниньо: именно перед его возникновением на северо-западе Тихого океана зарождается больше мощных тайфунов, чем в другие годы. При этом их траектории направлены главным образом по течению Куроисио на север или северо-восток. Вероятность выхода тайфунов на Японию и Дальний Восток России в это время максимальна. В год, предшествующий Эль-Ниньо, на Приморье выходит до четырех-пяти тайфунов. Конечно, они ослаблены. Скорости ветра в них не очень велики. Но они приносят много осадков и обеспечивают питьевой водой столицу края — Владивосток, а в Хабаровском крае и на Сахалине сокращают количество лесных пожаров. В годы же окончания Эль-Ниньо, то есть в периоды Ла-Ниньи, резко уменьшается общее количество тропических циклонов, а мощные тайфуны зарождаются в эти периоды исключительно редко. На Приморье не выходит ни одного тайфуна. Они

следуют в основном на Филиппины, Вьетнам и Китай («Известия АН. Физика атмосферы и океана», 2001, том 37, № 5). Это направление исследований было подхвачено китайскими и американскими учеными. Сейчас оно развивается во многих странах.

Прогноз Эль-Ниньо?

Долгосрочный и надежный прогноз таких природных явлений, как тайфуны (тропические ураганы), Эль-Ниньо, землетрясения, цунами и другие, становится все более и более актуальным. Недавние трагические события, связанные с цунами на юго-востоке Азии, с ураганами «Катрин» и «Рита» в США и с сильнейшим землетрясением в Пакистане и Индии, призывают людей к самозащите. И пока единственная возможность хоть как-то уберечь себя — это повысить качество прогноза таких страшных явлений природы. Установленные нами взаимосвязи между тайфунами и Эль-Ниньо позволяют улучшить долгосрочный прогноз интенсивности образования тропических циклонов на северо-западе Тихого океана и времени формирования Эль-Ниньо, а также усовершенствовать прогноз траекторий тайфунов. Это совсем не мало, если учесть, что ошибка в прогнозе траекторий и интенсивности тайфунов мо-

жет стоить жизни сотен, а то и тысяч людей. А заблаговременный прогноз появления Эль-Ниньо даст возможность подготовиться к удару стихии. Поэтому результаты наших исследований — хотя и небольшой, но все же шаг в нужном для людей направлении.

Как оказывается, для того чтобы предсказать Эль-Ниньо, нужно оценить не так уж много факторов. Во-первых, это количество штормовых дней в северо-западной части Тихого океана в сезон тайфунов: в году перед Эль-Ниньо число штормовых дней почти в два раза превышает их средние многолетние значения. Во-вторых, количество мощных ураганов (тайфунов), время и координаты их зарождения. Третий фактор — площади и величины положительной аномалии температуры поверхности океана на 40—45° с. ш. вдоль Северо-Восточного Тихоокеанского течения (продолжения течения Куроисио). Здесь же потребуется проанализировать термические аномалии в Южном океане. Четвертый фактор — индекс южных колебаний, то есть разность атмосферного давления между городами Дарвин в Австралии и Папаэте на Таити. Анализ этих данных в 2005 году позволил предсказать развитие Эль-Ниньо нынешней зимой. Как хорошо видно из рис. 4, так оно и получилось.

К чему ведет Эль-Ниньо?

Увеличение осадков над западным побережьем Латинской Америки. В Чили, Перу, Эквадоре — наводнения и оползни. Кстати, уже сейчас перуанцы укрепляют мосты и сооружают дамбы. Даже в пустыне Атакама (север Чили) расцветают цветы.

В центральной части Южной Америки более сухая и жаркая погода. А вот на востоке Бразилии более холодная и сухая погода держится во время всего Эль-Ниньо. Кстати, случайно или нет, но в этот период страдает урожай бразильского кофе. Его плантации расположены в предгорьях востока Бразилии, и во время Эль-Ниньо там бывают даже заморозки, гибнет урожай кофе.

В Восточной Африке, включая Кению, Танзанию с марта по май следующего года с большой вероятностью будут продолжительные ливни. А с декабря по февраль в Мозамбике, Ботсване, Зимбабве следует ожидать засухи. На севере Австралии с декабря по март (их лето) будет засуха и начнутся пожары.

В Северной Америке, так же как и у нас, следует ожидать более мягкую и малоснежную зиму. Не только в Москве, но и австрийских Альпах, Татрах, Карпатах после начала нынешнего Эль-Ниньо, в первой половине декабря 2006 года не было снега.

В Атлантике во время Эль-Ниньо сокращается количество тропических ураганов.



ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ



Пиратский экзамен

Владислав Выставной

Набрав полную грудь воздуха, Леха громко зачитал вопрос в экзаменационном билете.

— «Авторское право России. Понятие, содержание, ответственность». Такой вот билет, уф!

— Ну-с, билет несложный. Садитесь, готовьтесь. — И профессор иронически поглядел на студента. Казалось, он видит его насквозь. Но Леха знал, что это не так, и мысленно усмехнулся: «Учиться, учиться и учиться, говорите? Ну-ну!»

Амфитеатр аудитории был заполнен едва ли наполовину, и сидевшие на скамьях смотрелись уныло. Это ж надо догадаться — проводить экзамен сразу после новогодних праздников! Профессор явно не верит в Деда Мороза...



ФАНТАСТИКА

Леха взошел по ступенькам на пару ярусов и сел, после чего немедленно вызвал в сознании мыслеобраз монитора. Тот сразу же вспыхнул перед глазами. (Конечно, это была лишь иллюзия, но Лехе в его нервном состоянии показалось, что виртуальный монитор пополз по столу профессора, сминая билеты, и вот-вот плюхнется ему на колени.) Как и следовало ожидать, через весь виртуальный экран алела крайне неприятная надпись:

ЗАБЛОКИРОВАНО! ИДЕТ ЭКЗАМЕН! ПЕРВОЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ!

М-да, системы интеллектуальной безопасности университета работают отлично. Но мы еще посмотрим, кто кого...

Делая вид, что усердно вспоминает вызубренную бессонной ночью информацию, Леха извлек из виртуального же хранилища, запрятанного где-то в подкорке, свою надежду — хакнутую «приматами» (то бишь студентами факультета прикладной математики) базу данных по всему университетскому курсу.

Конечно, в условиях экзаменационной блокировки база открыться никак не могла. Но продвинутый по части технологий Генка бил себя пяткой в грудь, уверяя что ЭТО работает, а экзаменационные системы ничего не заметят. Лехе трудно было с ним спорить, так как единственный серьезный шаг, что он сделал для подготовки к экзамену, был мистический обряд вызова халявы. Леха от души кричал в форточку своей комнаты: «Халява, приди!», и в холодном воздухе разносились его вопли меж серых стен общежитий. Однако халява — дама капризная, может и не прийти...

Ничего не оставалось, как установить себе в серое вещество пиратскую базу данных. Вообще-то доктора этого не одобряют, говорят, мол, мозги спалить можно, а разрушителей авторских прав строго наказывают. Но это никак не может помешать хитроумному лоботрясу все-таки сдать проклятый экзамен.

В прошлом остались старинные способы сдачи экзаменов с помощью мобильного телефона, SMS и наладонных компьютеров. Электронные глушилки в аудиториях производили эффект электромагнитного импульса атомной бомбы, и электроника летела к черту. Вживленные в мозг усилители интеллекта и «непосредственный» сетевой интерфейс обрубался виртуальными охранными роботами. В Министерстве образования наивно полагали, что расходы на такую защиту окупятся более качественным образованием. А может быть, получали немаленькие откаты от корпораций за контракты с вузами.

Студенты лишь посмеивались. И придумывали новые ходы. Или неожиданно вспоминали про классические старые шпаргалки. Однако и эти примитивные гармошки в большинстве случаев теперь распознавались автоматическими системами слежения.

Ну а про такое варварство, как ночные зубрежки, вспомнить вообще не хотелось. Мы ведь не сумасшедшие, верно? Тратить гигабайты серого вещества под сомнительные теоретические сведения, когда туда можно закатать кино, игры и прочие полезные вещи? Нет уж! Пусть «ботаники»

убивают драгоценные мозги на круглосуточные бдения над учебниками, тратя почем зря главный расходный материал — время. Цивилизованный человек потому и цивилизованный, что умеет пользоваться в своих интересах достижениями научно-технической мысли.

Леха считал себя цивилизованным человеком. Поэтому был уверен в собственных силах, чтобы преодолеть тупое сопротивление сторожевой машины.

Но вначале надо обмануть блокировку. Для этого Леха заранее купил на «Горбушке» самопальный диск под названием «Как без траблов сдать экзамен». Его он нашел среди горы дисков с виртуальными играми и электронной музыкой. Не очень вменяемый паренек с красными волосами и синяками под глазами невнятно объяснял, что следует делать в таких случаях.

— Ты это, короче, когда соединяться с транслятором будешь, ставь поток на максимум, ага, — говорил он, слегка пританцовывая (очевидно, у него в голове играл виртуальный плеер). — Я так вообще на своей блокировке отключил. Затылок, конечно, печет, мозги слегка варятся, зато пропускная способность увеличивается... Сам не пробуй — можешь идиотом стать. Захочешь, я тебя с ребятами познакомлю... Так вот, когда будешь себе эти проги сливать, башка болеть будет. Ну, сам понимаешь: ребята делали эффективные программы и про всякие мелочи, вроде совместимости, просто забыли. Так что ты перед установкой лучше пивка попей, ага...

Леха не придавал значения словам паренька и устанавливал программы «на живую». Время от времени в голове будто взрывалась бомба: это хакались защитные системы. Их устанавливали с детства — по закону об авторских правах, — но сейчас, конечно, они не были нужны: зачем надо, чтобы через Сеть пошла информация о злостном нарушителе законодательства?

Установка шла болезненно. Леха с охами и ахами бегал по комнате, держась за прилепленный к виску транслятор, время от времени вскрикивал, подсказывал, пошатывался — очевидно, пиратские импульсы пробивались прямо в вестибулярный аппарат. Наконец Леха решил, что всего этого достаточно для одного раза, а оставшиеся действия по установке он проведет прямо на экзамене. И отправился пить пиво с Генкой.

И вот экзамен. Леха сидел и извлекал спрятанный в мозжечке заархивированный файл. Это был хакнутый эмулятор личности Майкла Джексона. На него и предстояло перекинуть блокировку защитной системы.

Вот распаковался эмулятор, запустился...

Леха непроизвольно вскочил и пошел вдоль своего ряда знаменитой джексоновской «лунной походкой». Соседи по амфитеатру уставились на него пустыми глазами: они не понимали, что происходит в окружающем мире, пытаясь вспомнить хоть что-то по своим билетам.

— Э-э-э... — произнес удивленный профессор. — Что, собс-сно, с вами, А-алексей?



ФАНТАСТИКА

— А-у! — характерно дернулся Леха и, обливаясь холодным потом, упал на свое место. Черт бы побрал этот нелегальный эмулятор! — Все нормально, а-у, профессор! — И, насупившись, склонился над билетом.

Профессор глянул явно недоверчиво, но тут, размахивая билетом и на ходу одергивая короткую юбку, к нему подбежала отвечать первая студентка.

Катя была очень хороша собой, к тому же, усевшись, предусмотрительно не упрятала длинные ноги под стол. За профессорское внимание теперь можно не опасаться...

Между тем эмулятор сделал свое дело. Экзаменационная блокировка с рычанием накинута на виртуального Майкла Джексона, не давая тому незаконно использовать электронные шпаргалки. Джексону же было плевать на экзамен. Он стремился вырваться из-под блокировки и устроить танцы. А перед Лехой возник второй, совершенно чистый виртуальный экран. Победа! Еще бы — удалось-таки обмануть систему!

Быстро распаковав базу данных, Леха запустил установку. Тайком взглянув на свою потную ладонь, он с трудом разглядел расплывшиеся цифры ключа. База благополучно загрузилась, и теперь можно было не спеша списать ожидаемый ответ на вопрос в экзаменационном билете.

Но... черт возьми: нет ответа на вопрос! Леха лихорадочно обшаривал базу, но никакой информации по авторскому праву не было! На букву «А» попадались какие-то «аспирины», «аденоиды», «адреналины», «анацефалы»...

Елки-палки, да что ж это за база? Леха быстро нашел «шапку». Нет, все верно: написано «База данных учебных материалов», университет такой-то, такой-то учебный год. Но вот под «шапкой» — какой-то фармацевтический справочник!

О Боже! Его или обманули, или хакеры просто ошиблись, когда лепили эту базу на скорую руку! Впрочем, какая разница, кто виноват? Экзамен ему теперь все равно не сдать. Леха готов был заплакать.

Хотя... погодите! У него же есть свободный терминал! Надо просто выйти в Интернет и в поисковой системе набрать «авторское право». Наверняка хоть что-то, да будет полезное. Так и сделаем...

— А-алексей, идите отвечать, — сказал профессор, наблюдая, как закрывается дверь за довольной своей пятеркой Катенькой.

Леха двинулся к профессорскому столу. Ноги как деревянные. В голове каша: в левом полушарии стрекотала поисковая система, в правом — Майкл Джексон добивал своими танцами экзаменационную защитную систему в стремлении вновь овладеть Лехиным телом.

— Ну-с, молодой человек, ваш вопрос — «авторское право». Расскажите, пожалуйста, что это такое и с чем его едят. А мы послушаем.

Леха обливался потом. Наконец поисковая система выдала длинный список материалов с ключевой фразой «авторское право». И Леха заговорил:

— Э... По сообщению достоверных источников, путем ком-

пьютерного взлома была похищена информационная база н-ского университета, чем нарушено авторское право огромного коллектива преподавателей и...

— Погодите, — перебил профессор, постукивая пальцами по крышке стола. — К примерам мы перейдем после. Дайте определение авторскому праву.

Лехе казалось, что сейчас он потеряет сознание. Но взял себя в руки и продолжил чтение виртуальных страниц с ключевыми словами «автор» и «право»:

— Автор... Авторитарное правление императора Нерона свело на нет роль Римского сената. Э... сам Нерон считал себя автором великолепных стихов. А хваленое римское право было попрано произволом и насилием. Вот...

Профессор с любопытством смотрел на Леху и теперь не прерывал его. И Леху понесло:

— Что тут еще? Автор... Авторитета нашли застреленным в собственной машине... Право сильного действует там, где законная власть теряет авторитет...

Профессор устроился поудобнее и вовсю наслаждался Лехиными муками.

— Автор... Авторrrrrr..... Авторалли Париж — Даккар по праву считается одним из самых престижных.... Авторизация пользователя происходит путем набора соответствующего пароля... Тьфу ты, елки-моталки! Это я не вам, извините.

Профессор благодушно кивал. Он уже делал какие-то выводы.

— Ага, есть! — вдруг воскликнул Леха. — Авторское право! За нарушение авторского права студент был отчислен из вуза... Ой, я не то говорю... Авторское право — это... ау!

Тут Леха вскочил на стул, затем на профессорский стол и начал танцевать. У студентов отвалились челюсти.

Этот Джексон все-таки прорвал защиту! Какой кошмар... Леха запел «Билли Джин». Экзаменационные билеты под его кроссовками превращались в груды мятой бумаги. Слуха у певца не было, но он не мог не петь и к тому же танцевать.

Профессор благоразумно отодвинулся от раскачивающегося стола и поправил очки. Потом достал мобильный телефон.

— Вызовите-ка сюда системного администратора. У меня еще один с пиратским эмулятором Майкла Джексона... Ой, и врача, пожалуйста!

Леха уже три дня отлеживался дома. Давала о себе знать сильно ушибленная после падения с профессорского стола лодыжка. Еще побаливала голова — это после чистки от программных вирусов, занесенных с пиратских дисков... Хорошо хоть, что его не отчислили!

Стук в дверь. Генка! Пришел с повинной, зараза, хакер-самоучка!

— Прости, старик. Ты же знаешь, нелегальный софт работает через раз. Тебе просто не повезло.

— Ладно, проехали.

Генка оживился и достал из сумки охапку дисков с муслефильмами:

— Я тут тебе кино наташил, чтоб не скучал. Вот, классный триллер с вампирами!

— С вампирами? — с сомнением спросил Леха. — А он лицензионный?

— Да ты гонишь! Сколько этот стоит — и сколько лицензионный, знаешь? Да не напрягайся ты так! Это же всего лишь муслефильм.

— Нет уж, фигушки! — покачал головой Леха. — Если с вампирами, то лицензионный. Только такой.





Основные тематические направления конгресса

- Пленарное заседание «Фундаментальные исследования и биотехнология»
Руководитель: академик В.Г. Иванов, ИБХ им. М.М. Шенника и Ю.А. Олчовникова РАН
- Международный симпозиум Черноморской биотехнологической ассоциации
«Сельскохозяйственная биотехнология и общество»
Руководитель: член-корр. РАСХН П.Н. Харченко, ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии РАСХН;
профессор А.Г. Гомиков, Черноморская биотехнологическая Ассоциация
- Российско-Американский симпозиум «Актуальные вопросы российско-американского сотрудничества в области биотехнологии. Опыт развития региональных био-технопарков в США и России»

○ СЕКЦИЯ 1. «БИОТЕХНОЛОГИИ И МЕДИЦИНА»

Руководители: академик РАМН А.М. Егоров, МГУ им. М.В. Ломоносова;
академик РАН А.И. Мирошников, ИБХ им. М.М. Шенника
и Ю.А. Олчовникова РАН

ТЕМАТИКА СЕКЦИИ:

- Биотехнология сенсорных систем
- Биотехнология пептидных препаратов
- Новые полимеры для целей биотехнологии
- Биотехнология белков крови человека
- Биосенсоры и новые системы скрининга
- Клеточные технологии в медицине

- Крутой стол «Нанотехнология в медицине»
Соручоводители: академик РАМН А.И. Арчаков, ГУ НИИ БМХ РАМН
д.т.н. В.А. Быков, ЗАО НТ-МДТ
- Крутой стол «Клеточные технологии в медицине»
Руководитель: академик РАМН В.Н. Ярмизин, РГМУ
- Крутой стол «Фармакология на базе биотехнологии»
Руководитель: профессор Н.В. Меньяуткина, РХТУ им. Д.И. Менделеева
- Крутой стол «Медицинская техника и ее применение в биотехнологии»
Руководитель: профессор Д.И. Цыганов, ОАО МКНТ

○ СЕКЦИЯ 2. «БИОТЕХНОЛОГИИ И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО»

Руководители: академик РАСХН В.И. Фисинин, Первый вице-президент РАСХН;
академик РАСХН А.К. Эрнст, вице-президент РАСХН;
академик РАСХН И.А. Тихонович,
ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии РАСХН;
член-корр. РАСХН П.Н. Харченко,
ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии РАСХН

ТЕМАТИКА СЕКЦИИ:

- Трансгенные растения
- Трансгенные животные
- Регуляция экспрессии генов и биотехнология
- ДНК-генотипирование и молекулярно-генетическая идентификация организмов
- Молекулярно-растительные системы и их биотехнологии
- Молекулярная диагностика болезней растений и животных

- Крутой стол «Биотехнология и животноводство»
Руководитель: академик РАСХН А.К. Эрнст, вице-президент РАСХН
- Крутой стол «Биотехнология и ветеринарная медицина»
Руководитель: академик РАСХН А.К. Эрнст, вице-президент РАСХН
- Крутой стол «Трансгенные и клеточные биотехнологии в селекции и растениеводстве»
Руководитель: академик РАСХН В.С. Шелеуха, ТСХА, Москва

○ СЕКЦИЯ 3. «БИОТЕХНОЛОГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»

Руководители: академик РАМН и РАСХН В.А. Быков,
НИИ биомедицинских технологий, ВИАР;
член-корр. РАН Е.С. Северин, ВНИИ молекулярной диагностики и лечения;
д.б.н. А.С. Яценко, ФГУП ГосНИИ Генетика

○ СЕКЦИЯ 4. «БИОТЕХНОЛОГИИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА»

Руководители: профессор Н.Б. Градова, РХТУ им. Д.И. Менделеева;
профессор Г.А. Жариков, НИИ токсикологии и гигиенической регламентации
биопрепаратов Министерство здравоохранения и социального развития РФ

○ СЕКЦИЯ 5. «БИОТЕХНОЛОГИИ И ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ»

Руководители: академик РАСХН И.А. Рогов, МГУ прикладной биотехнологии;
академик РАМН В.А. Тутельдаев, НИИ питания РАМН;
д.т.н. Е.Б. Брауде, ИБХФ им. Н.М. Эммуля РАН

○ СЕКЦИЯ 6. «БИОКАТАЛИЗ И БИОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Руководители: член-корр. РАН С.А. Варфоломеев,
ИБХФ им. Н.М. Эммуля РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова;
профессор В.О. Попов, Институт биохимии им. А.Н. База РАН

○ СЕКЦИЯ 7. «БИОТЕХНОЛОГИИ»

Руководители: член-корр. РАН Г.И. Каравайко,
Институт микробиологии РАН;
академик РАН М.В. Иванов, Институт микробиологии РАН

○ СЕКЦИЯ 8. «ИННОВАЦИИ, ФИНАНСЫ И БИЗНЕС»

Руководители: член-корр. РАН В.Г. Систер,
ОАО Московский комитет по науке и технологиям;
к.т.н. Е.Н. Орешкин, Федеральное агентство по науке и инновациям

- Крутой стол «Финансирование инноваций в области биотехнологий»

Руководитель: к.т.н. С.Г. Карабаев,
Международный фонд технологий и инвестиций

○ СЕКЦИЯ 9. «БИОТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ»

Руководители: профессор Т.В. Олчовникова,
ММА им. И.М. Сеченова, Учебно-научный центр ИБХ
им. М.М. Шенника и Ю.А. Олчовникова РАН;
профессор И.А. Крылов, РХТУ им. Д.И. Менделеева

○ СЕКЦИЯ 10. «БИОИНФОРМАТИКА»

Руководители: академик РАМН А.И. Арчаков,
ГУ НИИ БМХ РАМН, Москва;
член-корр. РАН Н.А. Команов, ИЦиГ СО РАН, Новосибирск;
профессор В.В. Порошков, ГУ НИИ БМХ РАМН, Москва

○ ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ: «Проблемы биобезопасности, биотика» Проблемы законодательной и нормативной базы в области биотехнологии

Руководители: академик РАН М.П. Корженников,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;
член-корр. РАН С.В. Нетесов,
ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, г. Новосибирск

○ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ КОНГРЕССА

Президенты: академик РАН П.Д. Саркисов
и академик РАН Р.В. Петров

○ КОНКУРС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Президенты: академик РАМН и РАСХН В.А. Быков
Зам. президентов: профессор Т.В. Олчовникова

5-я международная специализированная выставка «МИР БИОТЕХНОЛОГИИ 2007»

Тематика выставки:

Весь спектр биопродуктов для фармацевтической и пищевой промышленности, АПК, ветеринария, геология, промышленных производств, а также биоагенты для охраны и восстановления окружающей среды. Биологически-активные добавки. Тест-системы для ИФА, определения алкоголя и наркотических веществ. Биокатализ и биокаталитические технологии. Питательные среды. Биопрепараты для медицины и косметологии, а также готовые продукты на их основе. Процессы и аппараты для биотехнологических производств и лабораторных исследований. Лабораторно-аналитическое оборудование и биодиагностические комплексы. Промышленная и лабораторная безопасность.

- Международный конкурс «Лучшая продукция специализированной выставки «МИР БИОТЕХНОЛОГИИ 2007»



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Большой птице – быстрые ноги

Ископаемые останки самой большой плотоядной птицы были недавно обнаружены в Северной Патагонии (по сообщению агентства «Nature News Service» от 25 октября 2006 года). Это представительница не умевших летать Phorusrhacidae – «ужасных птиц», которые обитали в Южной Америке от 60 до 2 миллионов лет назад. «Ужасными» их называли из-за впечатляющих размеров – до трех метров в высоту – и устрашающего клюва, которым они терзали добычу.

Птицы были плотоядными и занимали в пищевой цепи ту же нишу, что древние коты и собаки в других областях Земли в то время. Успешное развитие этого вида было обусловлено изоляцией их места обитания от остальных территорий планеты.

Найденные останки птицы, жившей около 14–15 миллионов лет назад, замечательны тем, что череп абсолютно не поврежден. Голова размером 70 сантиметров (на 10% больше, чем у известных ранее экземпляров) по форме напоминает коробку.

Новый образец существенно меняет представление о способе передвижения этих птиц – кости ее ног, длинные и стройные, будто специально предназначены для бега. Монстроподобная птица, очевидно, активно искала добычу, а затем пускала в дело клюв, которым могла убить млекопитающее размером с современного барана.

Из ныне живущих обитателей планеты наиболее близким ее родственником считается сериема (или кариама) – хищная птица, ростом в полметра, также обитающая в Южной Америке.

А.Тугунов

Пишут, что...



...гравитационное поле обладает свойством самоограничения («Успехи физических наук», 2006, т.176, № 11, с.1207–1225)...

...открыты новые барионы, которые содержат b-кварки («CERN courier», 2006, т.46, № 10, с.9)...

...модная головоломка sudoku представляет собой частный случай латинского квадрата Л.Эйлера; чтобы у sudoku из 81 клетки было однозначное решение, должны быть заполнены не менее 17 клеток («В мире науки», 2006, № 12, с.71–77)...

...в 1861 году, когда в Российской империи обсуждался проект нового устава университетов, Харьковский, Санкт-Петербургский и Казанский университеты дали положительные ответы на вопрос, «могут ли лица женского пола быть допускаемы к слушанию лекций совместно со студентами», а совет Московского университета был против («Вестник истории естествознания и техники», 2006, № 4, с.82–96)...

...во время своего визита в Москву Билл Гейтс пообещал содействовать развитию технологического образования в России, в частности, компьютеризации школ («Network World/Сети», 2006, № 17 (212), с.14)...

...молекулы азокрасителя в пленке могут упорядоченно изменять ориентацию при облучении фемтосекундным лазером, и это открывает перспективы для использования таких пленок в оптических компьютерах («Квантовая электроника», 2006, т.36, № 11, с.1056–1057)...

...антитела из молока человека относятся к группе абзимов, то есть обладают ферментативной активностью – они способны присоединять фосфатную группу к сахарам («Биохимия», 2006, т.71, вып.11, с.1488–1504)...

...у больных бронхиальной астмой в фазе обострения нарушаются суточные вариации иммунного статуса



(«Бюллетень экспериментальной биологии и медицины», 2006, т.142, № 11, с.553—556)...

...предложен новый способ экстракции белков из микроорганизмов без разрушения клеточных стенок («Биоорганическая химия», 2006, т.32, № 6, с.579—588)...

...при выращивании огурцов в теплице наилучшие результаты достигаются, если одновременно использовать регуляторы роста, индукторы устойчивости к стрессам и биопестициды («Агрохимия», 2006, № 11, с.25—34)...

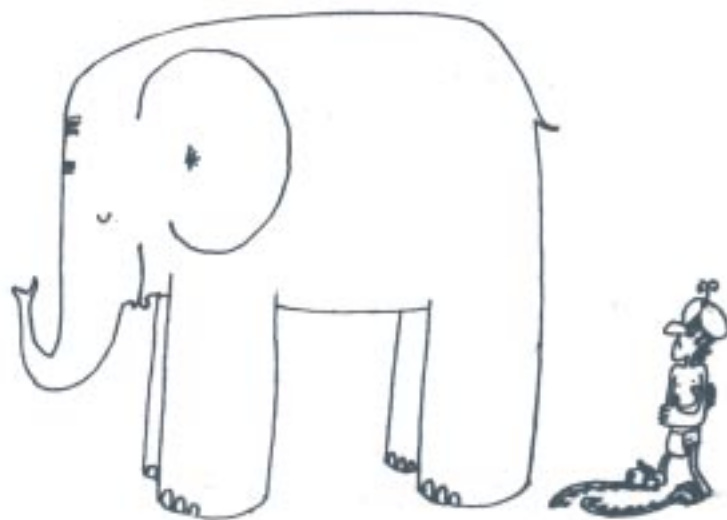
...построена карта вероятностных деформаций поверхности города Москвы, которые могут произойти под влиянием природных и техногенных факторов; для центральных районов они оценены как умеренные и массовые — при неблагоприятных условиях могут рухнуть до семи зданий на квадратный километр («Геоморфология», 2006, № 4, с.32—38)...

...модельные оценки показывают, что в XXI веке будут расти экстремальные значения осадков и их интенсивность для различных регионов Евразии, в частности, зимой («Водные ресурсы», 2006, т.33, № 6, с.754—762)...

...главная загадка абсолютного слуха состоит не в том, почему он есть у некоторых людей, а в том, почему его нет у всех остальных («Acoustics Today», 2006, т.2, № 4, с.11—19)...

...успешное опознавание пола человека по изображению зависит от того, видны или прикрыты уши, а также, если речь идет о видео, от особенностей динамики («Психологический журнал», 2006, т.27, № 6, с.37—44)...

...создан четвероногий робот, который сам создает для себя новый алгоритм движения, если ему оторвать одну ногу («Science», 2006, т.314, № 5802, с.1118—1121)...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Самоидентификация слонов

Слоны действительно умные животные — они узнают себя в зеркале. Много лет считалось, что на это способны лишь представители «элитной» группы — люди, шимпанзе и orangутанги. Несколько лет назад появились сообщения о том, что дельфины тоже признают свое отражение и, кажется, слоны, которым присуще социальное поведение.

Исследователи из Университета Эмори (Атланта, США) работали с тремя самками азиатских слонов *Elephas maximus* в нью-йоркском зоопарке. В клетке слоних поместили зеркало размером 2,5 на 2,5 метра и наблюдали за ними с помощью скрытой камеры в течение пяти месяцев.

Впервые увидев незнакомый предмет, слонихи немедленно обнюхали его и обследовали поверхность хоботом. Приподнимались, чтобы заглянуть за зеркало, и опускались на колени, пытаясь увидеть, что под ним. Ничего угрожающего в их поведении не было, в частности они не трубили, как обычно делают при встрече с незнакомыми слонами (по сообщению агентства «News Nature» от 30 октября 2006 года).

Спустя некоторое время животные стали рассматривать себя в зеркале: заглядывали в рот, одна из слоних хоботом подтянула ближе к отражению ухо.

Считается, что животные учатся узнавать свое отражение в четыре стадии: сперва дружески «приветствуют» отражение, затем изучают само зеркало, демонстрируют повторяющееся поведение перед ним и, наконец, узнают себя.

У всех трех участниц эксперимента удалось выявить эти стадии. Но особенно порадовала ученых красавица Хэппи. Ей незаметно нарисовали на физиономии белый крест, и, увидев свое отражение, она потрогала хоботом крест на себе, а не в зеркале.

Подобное поведение считается необходимой составляющей самосознания. Дети признают себя в отражении только к двум годам. Самоидентификацию в зеркале связывают и со способностью сочувствовать, сопереживать, с умением поставить себя на место другого. Авторы работы полагают, что немногие представители животного мира наделены даром самоузнавания. Еще одним новым кандидатом в ряды умеющих видеть себя со стороны они считают *Orcinus orca* — хищного дельфина касатку.

Е.Сутоцкая



А.П.ВОРОТЫНЦЕВУ, МОСКВА: ПОЛИСУЛЬФИДНЫЕ ГЕРМЕТИКИ ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ СМЕСИ ЖИДКОГО ПОЛИСУЛЬФИДНОГО КАУЧУКА, НАПОЛНИТЕЛЕЙ И АДГЕЗИВОВ (ОБЫЧНО ЭПОКСИДНОЙ, ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ ИЛИ ДРУГОЙ СМОЛЫ).

М.П.КЛЯЧКО, Томск: Витражные краски для детского творчества делают на водной основе; они менее яркие, чем такие же краски для профессиональных художников, приготовленные на основе неполярных растворителей, зато безопасны для здоровья; но если цветная пленка после высыхания смывается водой, то это, возможно, вообще не витражная краска, а подделка — гуашь или акварель.

С.Н.ЛОМАКИНУ, Вологда: Считается, что изображения шестилучевых снежинок впервые опубликовал в 1555 году Л.Магнус, а в 1611 году на основе этих изображений Иоганн Кеплер сформулировал закон постоянства углов.

С.В.ЖУКОВОЙ, Канск: В состав эфирного масла мандарина входят лимонен (основной компонент), а также альфа- и бета-пинены, мирцен, гамма-терпинен, дециловый альдегид, нераль и гераниаль.

МАРИАННЕ, вопрос из Интернета: Бумсланг африканский — совсем не мифическое животное, а реально существующая змея *Dispholidus tyus*; название происходит от голландского *bootslang* — «древесная змея»; распространен в Южной и Юго-Западной Африке, краснотел лазает и охотится на птиц; укус бумсланга опасен для человека.

Н.П., Санкт-Петербург: Мы уже писали, что инъекции диспорта, устраняющие морщины (он же ботокс или ботулинический токсин А), не могут вызвать отравления; его действие местное и прекращается со временем, почему, собственно, косметологи и рекомендуют повторять эту операцию несколько раз в год.

О.Л.ГЛАДКИХ, Александров: Малай — это блюдо из кукурузной муки, похожее на мамалыгу: варится как каша, но готовый продукт можно резать.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ АВТОРАМ: Присылать нам статью, переработанную «в соответствии с пожеланиями редактора», через десятилетия после того, как были высказаны пожелания, вряд ли имеет смысл: в самом лучшем случае текст придется перерабатывать еще раз.

Космос — это мечта

Художник Е. Станикова



Космос — это мечта о бескрайнем странствии. В древности среди небесных светил умели перемещаться только боги. Впрочем, догоны, обитающие на плато Бандиага в Западной Сахаре, уверены, что их предки плавали по Млечному Пути в специальных лодках. Более того, если верить рассказам этнографов, представители этого племени, считаящие своей родиной Сириус, утверждают, что эта звезда тройная. К их словам ученые относились скептически до тех пор, пока астрономы не обнаружили, что у этой ближайшей к нам звезды действительно имеется звезда-спутник — белый карлик. Кто знает, может быть, более мощные телескопы разглядают в этой системе и третью звезду...

Наверное, порывшись в мифологии, можно найти и другие упоминания о путешествиях человека в космосе. Однако достоверно мы знаем следующее: пятьдесят лет назад, в октябре 1957 года, созданный в СССР первый искусственный спутник Земли вышел на околоземную орбиту.

За прошедшее с тех пор время запуск спутников встал рутиной. Космические корабли землян пролетели мимо всех планет Солнечной системы и достигли ее границ — так называемой гелиопаузы, где уже не ощущается действие солнечного ветра, зато хорошо заметен ветер галактический. Спускаемые аппараты не раз побывали на



КСТАТИ О КОСМОСЕ

Луне, Венере, Марсе, самом большом спутнике Сатурна — Титане, и человек через объективы установленных на них аппаратов смог насладиться зрелищем инопланетных пейзажей.

Однако сам человек в космосе пока сделал лишь первые шаги — более или менее обжил околоземную орбиту и нанес «визит вежливости» к Луне. Среди ученых, причастных к космонавтике, идет нешуточная дискуссия: а нужен ли вообще человек в космосе? «С помощью аппаратов мы сделали много полезной работы. Космонавт, запертый в металлическую бочку, которая болтается на орбите, никогда бы с таким объемом не справился. Между тем он подвергает свою жизнь постоянной опасности, а затраты на его содержание огромны. Может быть, лучше на эти деньги запускать несколько аппаратов?» — так формулирует позицию одной группы академик Р.З.Сагдеев, бывший дирек-

тор Института космических исследований АН СССР, а ныне профессор Мэрилендского университета (США). Можно ли утверждать, что человек достиг Марса, если на красном песке его пустынь нет ни одного человеческого следа? — задают риторический вопрос оппоненты. И отвечают — нет; до тех пор пока по Солнечной системе путешествуют аппараты, нельзя утверждать, что человечество вышло из своей колыбели. А выбираться придется, к этому подталкивает принцип неограниченной космической экспансии, предложенный академиком И.С.Шкловским как единственная перспектива развития человечества. Что же касается опасностей космических путешествий, то тут стоит обратиться к мнению человека, дольше всех пробывшего на околоземной орбите, — ведущего научного сотрудника Института медико-биологических проблем В.В.Полякова. «Конечно,

космическое путешествие полно опасностей, и полет к Марсу может закончиться трагично. Однако если бы врачи мне разрешили, я бы обязательно полетел», — говорит он.

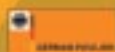
Уже сам по себе этот спор свидетельствует: перед человеком нет непреодолимой преграды, которая помешала бы ему добраться до ближних планет. А как насчет дальних звезд? Есть фундаментальное ограничение: нельзя достичь тех областей Вселенной, которые из-за ее расширения удаляются от нас со скоростью света. Но миллиарды миров, расположенных внутри этой сферы, достижимы. Осталось только придумать способы, которые позволят быстро перемещаться сквозь пространство-время, не затрачивая на долгий путь бесценные годы человеческой жизни.

П.Данилов



A-TESTex (Аналитика) – 5-я Юбилейная Международная специализированная выставка

A-TESTex
ANALITIKA



**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ,
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ, ЛАБОРАТОРНАЯ МЕБЕЛЬ
И ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТИВЫ.
БИОАНАЛИТИКА**

РАЗДЕЛ «АНАЛИТИКА»

Измерительные приборы и оборудование
Нанотехнологии
Оборудование лабораторное вспомогательное
Реактивы и материалы
Средства обеспечения работы аналитических лабораторий
Средства автоматизации лабораторных исследований
Комплексное оснащение лабораторий

РАЗДЕЛ «БИОАНАЛИТИКА»

Электрофорез
Приборы для биотехнологии
Биосенсоры
Биохимикаты
Лабораторное оборудование для биотехнологии и биологических наук
Исследование медикаментов
Протеомика
Стерильная техника
Информация и услуги для биотехнологии
Биотехнология в сфере охраны окружающей среды

www.analyticaexpo.ru

**В рамках выставки пройдут
специализированные мероприятия:
конференции, тематические семинары
и круглые столы**

ОРГКОМИТЕТ ВЫСТАВКИ:

Выставочный холдинг MVK
Тел./факс: (495) 105-35-60
E-mail: oae@mvk.ru
www.mvk.ru

Директор выставки — ЕПИФАНОВА О. А.

Организаторы выставки A-TESTex-2007 приглашают все предприятия, заинтересованные в развитии данной отрасли, в продвижении своей продукции на рынке и установлении новых деловых партнерских отношений, принять в период с 10 по 13 апреля 2007 года активное участие в данной выставке!

