

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

№07 2010

КАК СДЕЛАТЬ ВАШИ КЛЕТКИ СТВОЛОВЫМИ

Перепрограммировать,
чтобы вылечить

НЕЙТРИНО: НОВЫЕ
ГЛАЗА НА НЕБЕСАХ

БОЛЕЗНЬ ПОД ЛУПОЙ
Цифровые
изображения на
службе медицины

АРКТИЧЕСКИМ РАСТЕНИЯМ
СТАНОВИТСЯ ЖАРКО

ISSN 0208-0621



10007



9 770208 062001

>

www.sciam.ru

за пределы
обыденности

ВЗГЛЯД

самая свежая информация
о последних достижениях науки
и высоких технологий

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

содержание

ИЮЛЬ 2010



ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 16 АСТРОФИЗИКА**
ГЛАЗАМИ НЕЙТРИНО
Томас Вейлер, Грациела Джелмини и Александр Кузенько
Нейтрино — это уже не просто любопытный элемент физической теории, а важный рабочий инструмент астрономов
- 24 МЕДИЦИНА**
ПЕРСОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛИТЕЛИ
Конрад Хохедлингер
Клетки тела взрослого человека можно перепрограммировать так, чтобы они приобрели целебную силу эмбриональных стволовых клеток
- 32 НЕЙРОНАУКА**
ЧУДЕСНОЕ ЗРЕНИЕ СЛЕПЫХ
Беатриса де Гелдер
Некоторые люди, ослепшие после травмы мозга, обладают удивительной способностью — так называемым слепозрением
- 40 ПРОРЫВ**
БОЛЕЗНЬ ПОД ЛУПОЙ
Майк Мэй
Цифровые изображения срезов тканей позволят врачам ставить диагнозы быстрее и точнее
- 46 ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**
АРКТИЧЕСКИЕ РАСТЕНИЯ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ
Мэтью Стурм
Повышение температуры окружающей среды сказывается не только на состоянии ледников, но и на благополучии тундры и таежных лесов
- 56 ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**
УДАЛЯЯ УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ ИЗ ВОЗДУХА
Клаус Лакнер
При помощи специальной техники можно абсорбировать диоксид углерода из атмосферы, препятствуя таким образом глобальному потеплению
- 64 ПИТАНИЕ**
МАНИОК ДЛЯ БЕДНЫХ
Нагиб Нассар и Родомиро Ортис
Третий по величине источник калорий на Земле можно сделать еще более полноценным и урожайным, снизив тем самым угрозу голода во многих развивающихся странах
- 70 ТРАНСПОРТ**
РЕВОЛЮЦИОННЫЕ ПУТИ
Стюарт Браун
Скоростные поезда приходят в США

Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместители главного редактора: А.Ю. Мостинская
О.И. Стрельцова

Зав. отделом естественных наук: В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских исследований: Ю.Г. Юшквичюте

Зав. отделом фундаментальных исследований: Е.В. Кокурина

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Корреспондент: Д.А. Мисюров

Над номером работали:

Н.Н. Алипов, Д.А. Борисак, А.В. Ващенко, А.А. Гендин,
О.В. Закутняя, Ф.С. Капица, Т.А. Митина, А.И. Прокопенко,
И.П. Прошкина, О.С. Сажина, Т.Н. Саранцева,
И.Е. Сацевич, А.Н. Устинов, Н.Н. Шафрановская

Научные консультанты:

Ведущий научный сотрудник
биологического факультета МГУ,
кандидат биологических наук Л.В. Пивоварова

Арт-директор: Л.П. Рочева

Корректур: Я.Т. Лебедева

Секретарь: И.И. Сорина

Генеральный директор

ЗАО «В мире науки»: Г.Г. Черная

Главный бухгалтер: Н.М. Воронина

Адрес редакции:

Москва, ул. Авиамоторная, 55, к. 31

Для писем: Москва, ул. Радио, д. 22

Тел./факс: (495) 727-35-30, 544-41-61

e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

В верстке использованы шрифты Helios и BookmanC

Отпечатано: ЗАО «ПК "Экстра М"».

Заказ № 10-08-00068

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

ЗАО «В мире науки» входит в состав Гильдии издателей
периодической печати

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия
редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна.
Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет
ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи
не рецензируются и не возвращаются.

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Acting editor in chief: Mariette DiChristina

Editors: Davide Castelvecchi,

Graham P. Collins, Mark Fichetti, Steve Mirsky,

Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong

Chief news editor: Philip M. Yam

Senior writer: Gary Stix

Contributing editors: Mark Alpert, Steven Ashley,

Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway,

Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie,

Michael Shermer, Sarah Simpson

Art director: Edward Bell

President: Steven Inchcoombe

Vice president, operations

and administration: Frances Newburg

Vice president, finance

and business development: Michael Florek

Vice president and publisher: Bruce Brandfon

© 2007 by Scientific American, Inc.

Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление
являются исключительной собственностью Scientific American, Inc.
и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

РАЗДЕЛЫ:

ОТ РЕДАКЦИИ

3 НАУКА И ОБЩЕСТВО

4 50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

6 СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

- Углеводы для сердца — не сахар
- Портрет на фоне ДНК
- Генетика нашего кишечника
- Сезам, откройся!
- Люк и Профессор, или Сохранить амурского тигра
- Как избежать дорожных пробок

АКТУАЛЬНО

16 СТРАСТИ ПО НАУКЕ

Сергей Федоров

*О сложных взаимоотношениях российской науки
и государственной власти говорилось
на Общем собрании РАН*

ИННОВАЦИИ

76 ИННОВАЦИОННЫЙ ФИАН

Дмитрий Мисюров

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН)
уже в течение длительного периода осуществляет
прорывные проекты*

НАУКА И ОБЩЕСТВО

78 ПОХОД ПО МУЗЕЯМ

Алексей Устинов

*Впервые после революций начала прошлого века
в нашей стране предпринята крупномасштабная
акция проверки состояния музейного дела
и сохранности музейных собраний всех уровней*

ЗНАНИЕ — СИЛА

80 БИОЛОГИЯ ДЛЯ ЖИЗНИ

Ирина Прошкина

*О биологической грамотности как важной части
культуры современного человека размышляет кандидат
биологических наук Людмила Пивоварова*

ЛАБОРАТОРИЯ ВКУСА

86 В ПОИСКАХ ГАРМОНИИ. КАЖДОМУ БЛЮДУ — СВОЙ ЛУК

Анатолий Гендин

*Он может быть белым, красным или зеленым,
но этот пряный овощ встречается практически
в любой национальной кухне*

ОБЗОРЫ:

82 КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

92 ФОРУМЫ, ПРЕМИИ, ВЫСТАВКИ

НАУКА и общество

Как часто нам приходится сталкиваться с мнением о том, что наука должна быть вне политики, и ей следует как можно дальше держаться от социальных проблем. Позвольте с этим не согласиться

Научные знания базируются не на случайных мнениях, они — результат рационального и критического подхода. Для глубокого понимания сути окружающего мира наука постепенно собирает и накапливает данные, базируясь при этом на веских доказательствах. То, что она познает, отнюдь не всегда соответствует утверждениям, сделанным какой-либо политически заинтересованной группой. В научном сообществе есть обязательное правило — подтверждать все доказательствами, поэтому предмет изучения подлежит постоянной проверке. Таким образом, научное знание — наиболее авторитетный и надежный источник информации, которым можно руководствоваться, в отличие от мнений, подкрепленных недостаточной доказательной базой. Нам не следует игнорировать его ценность.

Конечно, политика в свою очередь оказывает влияние на научный прогресс.

В США до недавнего времени правительством были наложены ограничения на исследования в области стволовых клеток. Эмбриональные стволовые клетки таят в себе огромный потенциал: они могут заменить любую клетку человеческого организма. Сфера их применения еще до конца не изучена — от замещения больных тканей до разработки терапевтических методов борьбы с такими недугами, как болезнь Паркинсона или рак. Несколько лет назад администрация Буша, ссылаясь на этические соображения,

ограничила исследования, поскольку для получения эмбриональных стволовых клеток нужно уничтожить эмбрион на ранней стадии развития. Кажется, у политиков было меньше проблем с искусственным оплодотворением, практикуемым уже десятилетия, в течение которых были получены и заморожены тысячи эмбрионов, в будущем, возможно, подлежащих уничтожению. Нынешняя администрация сняла эти ограничения, но тема по-прежнему остается предметом острых дискуссий. В главной статье этого номера журнала «Персональные целители» Конард Хохедлингер, доцент кафедры регенеративной биологии Гарвардского университета, а также сотрудник Института по изучению стволовых клеток при этом же университете и Медицинского института Говарда Хьюза, предлагает решение, которое может стать приемлемым как для науки, так и для политики. Новые методы позволяют превращать любые клетки тела в клетки, аналогичные эмбриональным, из которых теоретически можно вырастить любую желаемую ткань. Еще рано говорить об успехе, ведь мы пока не знаем, действительно ли перепрограммированные клетки способны дублировать функции и возможности эмбриональных стволовых клеток. Но вот в чем мы абсолютно уверены, так это в том, что если науке позволить двигаться в данном направлении, она будет стремиться к тому, чтобы познать истину. А это и есть самое главное. ■

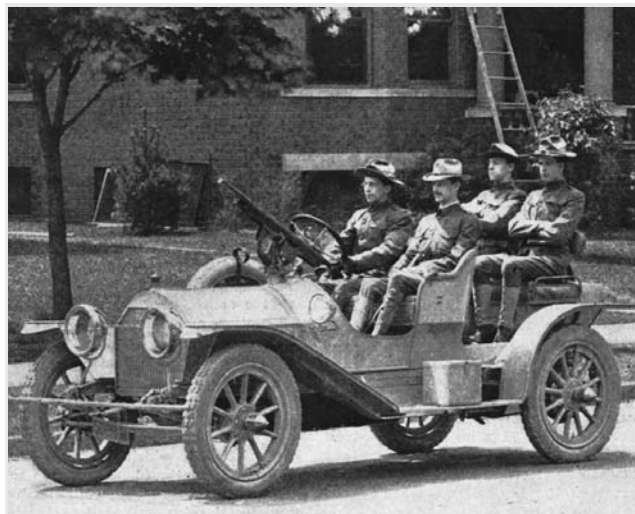
■ РОЖДЕННЫЕ ЖИТЬ ■ ОПАСНЫЕ НЕБЕСА ■ ТРИУМФ ПИВА ■

ИЮЛЬ 1960

ДЕТСКАЯ СМЕРТНОСТЬ. Коэффициент младенческой смертности в США в последние несколько лет, согласно данным исследований Ивао Морияма (Iwao M. Moriyama) из Национальной службы по учету населения, стабилизировался. В некоторых штатах в 1956 г. он достиг рекордно низкого уровня: 26 на 1000 живорожденных. Сокращение уровня смертности детей в возрасте до года — плоды работы по борьбе с инфекционными болезнями, в первую очередь с гриппом и пневмонией. В 1946 г., когда пенициллин стал общедоступен, смертность от инфекционных заболеваний сократилась примерно на 30%. Тем не менее около половины всех смертей среди детей от месяца до года — по-прежнему следствие инфекционных заболеваний. На уровне смертности среди младенцев также сказываются такие факторы, как врожденные пороки развития, родовые травмы, асфиксии новорожденных и преждевременные роды.

Июль 1910

ЭЛЕГАНТНЫЙ ПОЛЕТ. На очередном авиационном слете в Реймсе монопланы были на высоте, продемонстрировав несомненное превосходство. Это было особенно приятно для французов. Они, кажется, поняли, что естественную хрупкость этих аппаратов перевешивают их очевидные преимущества: простота, низкое лобовое сопротивление и малый вес. Кроме того, четкие и изящные линии моноплана придают ему очертания, близкие к формам птиц. Зрители считают их по-французски эстетичными.



ВОЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬ: защита от угрозы с воздуха, 1910 г.

УГРОЗА СВЕРХУ. В связи с большими успехами, достигнутыми в воздушной навигации, необходимо, чтобы армия всерьез занялась разработкой мер противодействия авиации в грядущих войнах. Для этой цели Северо-Западная военная академия приобрела в 1910 г. два «Кадилака-30» 1909 г. выпуска. Эти автомобили были оснащены сиденьями для четырех курсантов и возвышающимся над двигателем пулеметом фирмы «Кольт». Этот пулемет 30-го калибра (7,62 мм) делает 480 выстрелов в минуту с дальностью стрельбы 2 тыс. м. Результаты экспериментов наглядно демонстрируют, что при такой скорострельности военные автомобили, оснащенные пулеметами, могут бороться с дирижаблями и самолетами.

Июль 1860

АНГЛИЙСКИЙ ПАЦИЕНТ. «Наблюдая естественную для пациентов-англичан всепоглощающую страсть к чаепитию, невозможно понять ее природу. Немного чая или кофе действуют на них благотворно. В больших количествах чай, и особенно кофе угнетают пищеварение. Но когда медсестра видит, как одна или две чашки чая или кофе восстанавливают пациентов, она считает, что три или четыре будут вдвое эффективнее. Но дело не в этом. В тех единичных известных мне случаях, когда английские пациенты отказывались от чая, оказалось, что они больны тифом. А первым признаком выздоровления была возродившаяся жажда к чаю». — Флоренс Найтингейл.

ЛАГЕРОМАНИЯ. Тысячи людей в Нью-Йорке, похоже, совсем забыли, что обычная вода тоже может быть использована для утоления жажды. В некоторых кварталах города светлое пиво — лагер — стало главным напитком. Оно продается почти в каждом доме, служа и питьем, и даже пищей для всех — мужчин, женщин и детей. Лагер — король! Лагер — одно из наших самых последних приобретений. Десять лет назад это было только просторечное немецкое слово, лишенное смысла; тогда этот продукт воспринимался как безвкусное голландское пиво; но теперь большинство, возможно, будет голосовать за то, что это — «напиток богов». Опираясь на показания свидетелей, суды решили, что лагер не опьяняет; но учитывая тот факт, что пинта этого легкого пива содержит столько же алкоголя, сколько бокал бренди, можно было бы подозревать, что те свидетели действительно баловались лагером в то время, когда им была необходима светлая голова. ■

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.sciam.ru

- анонсы
- новости
- статьи
- архив
- подписка

теперь в сети

УГЛЕВОДЫ ДЛЯ СЕРДЦА — Не сахар

Все больше данных свидетельствуют о том, что легкоусвояемые углеводы опаснее для сердца, чем жиры

Одной из основных официальных диетологических рекомендаций для населения США на протяжении последних 30 лет было ограничение употребления насыщенных жиров. Дисциплинированные американцы скрупулезно следовали данной рекомендации, однако с 1970 г. распространенность ожирения возросла более чем вдвое, сахарного диабета — втрое, а болезни сердца продолжают оставаться главной причиной смерти. Исследования последних лет, включая метаанализ более чем 20 работ, позволяют объяснить такой парадокс. По-видимому, диетологи все это время шли по ложному следу: легкоусвояемые углеводы, заменившие жиры в рационе многих американцев, оказались опаснее жиров с точки зрения риска развития указанных заболеваний. Это может иметь самые серьезные последствия для выработки диетологических рекомендаций уже в текущем году.

В мартовском номере *American Journal of Clinical Nutrition* был опубликован метаанализ (исследование, в котором одновременно рассматриваются данные нескольких работ), где сопоставлялись рацион и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний более чем для 350 тыс. человек за период от пяти до 23 лет. Автором метаанализа был Рональд Краусс (Ronald M. Krauss) — директор отдела исследований атеросклероза Исследовательского института Оклендской детской больницы. Оказалось, что связи между потреблением насыщенных жиров и риском сердечно-сосудистых заболеваний не существует.

Эти данные согласуются и с результатами других работ, опровергающих общепринятое мнение о вредности насыщенных жиров. Считалось, что они опасны для сердца, т.к. повышают уровень холестерина в крови. Однако такие взгляды, как утверждает Кра-



ИЗЛИШНЯЯ СЛАДОСТЬ ПУЩЕ ГОРЕЧИ. В рекомендациях по питанию США за текущий год могут быть учтены данные о неблагоприятном влиянии легкоусвояемых углеводов на риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний

усс, «основаны в основном на экстраполяциях, не подтвержденных фактическими данными». Одна из логических ошибок заключалась в том, что, по словам профессора диетологии и эпидемиологии Института здравоохранения Гарвардского университета Мейра Штампфера (Meir Stampfer), «уровень общего холестерина — не лучший предсказатель риска атеросклероза». Конечно, при повышенном потреблении насыщенных жиров в крови повышается уровень «плохого» холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП), но одновременно растет и концентрация «хорошего» холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП). В 2008 г. Штампфер в соавторстве с другими исследователями опубликовал в *New England Journal of Medicine* результаты двухлетнего наблюдения за 322 пациентами с умеренным ожирением, придерживающимися либо низкокалорийной обедненной жирами диеты, рекомендованной Американской кардиологической ассоциацией, либо низкокалорийной средиземноморской диеты с высоким содержанием растительных продуктов и низким содержанием мяса, либо обычной по калорийности диеты со сниженным содержанием углеводов. К моменту завершения исследования у лиц, выбравших последнюю диету, было наилучшее соотношение между холестерином ЛПВП и ЛПНП и в два раза большее снижение веса, чем у тех, кто предпочел диету с низким содержанием жиров.

Результаты свидетельствуют не только о том, что насыщенные жиры не так уж вредны: оказывается, углеводы могут быть гораздо опаснее. В 1997 г. Штампфер с соавторами опубликовали в *Journal of the American Medical Association* результаты исследования 65 тыс. женщин, в котором было показано, что у 20% испытуемых с самым высоким гликемическим индексом (т.е. наибольшим потреблением легкоусвояемых углеводов) риск развития сахарного диабета II был

на 47% выше, чем у 20% женщин с самым низким гликемическим индексом. Масса жировой ткани не влияла на риск развития диабета. В голландском исследовании 15 тыс. женщин, опубликованном в 2007 г. в *Journal of the American College of Cardiology*, было выявлено, что у тех, кто имел избыточный вес и входил в верхние 25% по уровню суточного потребления углеводов, риск развития ишемической болезни сердца был на 79% выше, чем у женщин с избыточным весом, но входивших в нижние 25% по потреблению углеводов. Руководитель программы борьбы с ожирением Бостонской детской больницы Дэвид Людвиг (David Ludwig) объясняет такие результаты тем, что высокое потребление углеводов приводит к повышению уровня глюкозы в крови, стимуляции образования жира и воспалительных процессов, а также к чрезмерной калорийности пищи и снижению чувствительности к инсулину.

Будут ли новые взгляды учтены в обновляемых каждые пять лет Федеральных рекомендаций по питанию для населения США за 2010 г.? Как утверждает заместитель директора Центра продовольственной политики и пропаганды здорового питания Министерства сельского хозяйства США Роберт Пост (Robert C. Post), это будет зависеть от достоверности результатов. «Не доказанные окончательно результаты заносятся в список данных, требующих дополнительной проверки». Пока что, по словам Поста, американцам рекомендуется ограничивать калорийность рациона независимо от источника калорий. «Рекомендации для населения должны быть простыми, краткими и конкретными». Еще одна трудность, как утверждает Мейр Штампфер, заключается в том, что «производители сладких напитков оказывают мощное давление на законодателей и пытаются поставить под сомнение результаты исследований».

Разумеется, никто не предлагает срочно набрасываться на насыщенные жиры. Нет сомнения в том, что мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты, например содержащиеся в рыбьем жире и растительном масле, снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний, а углеводы клетчатки бесспорно полезны. Однако насыщенные жиры могут оказаться менее опасными, чем легкоусвояемые углеводы, — например, в готовых завтраках из круп, мучных продуктах, макаронах и сладостях.

«Если вы замените насыщенные жиры продуктами с высоким гликемическим индексом, то вместо пользы можете нанести себе вред, — утверждает Дэвид Людвиг. — Когда вы в следующий раз будете есть хлеб с маслом, помните, что масло — самый безобидный компонент бутерброда».

Мелинда Уэннер

ПОРТРЕТ на фоне ДНК

Можно ли получить портрет подозреваемого иным способом, чем это делается сегодня?

Мужчина невысокого роста, крепкого телосложения, темнокожий, кареглазый, с жесткими черными волосами, широкими передними зубами; кровь группы А. Будь этот человек нашим современником, он, скорее всего, крепко выпивал бы, не пьянея, и был заядлым курильщиком. К счастью, наш герой жил более 4 тыс. лет назад, в каменном веке, а в те далекие времена люди еще ничего не знали ни об алкоголе, ни о табаке. Его портрет воссоздан почти целиком на основе данных об ископаемых остатках ДНК.

Датские молекулярные биологи не только впервые определили полную нуклеотидную последова-

тельность генома древнего человека, но и продемонстрировали, как много может сказать современным криминалистам расшифровка генома подозреваемого. Созданием словесного портрета неизвестного человека на основе признаков, «закодированных» в его генетическом материале, эксперты занимались — с большим или меньшим успехом — задолго до того, как ДНК-дактилоскопию стали широко применять в тестах на причастность данного индивида к преступлению. «Сегодня воссозданием облика живых существ на основе анализа ДНК занимаются не только криминалисты», — говорит антрополог Марк

Шрайвер (Mark Shriver) из Колледжа Морхаус. Он полагает, что в ближайшие десять лет возможности метода возрастут вдвое.

Биологи, воссоздавшие облик древнего жителя Гренландии, располагали в качестве материала для выделения ДНК лишь несколькими пучками волос, которые хорошо сохранились в условиях вечной мерзлоты. Волосы были темного цвета, очень жесткие; они содержали в следовых количествах химические вещества, состав которых свидетельствовал о характере питания гренландца: основой его пищевого рациона были морепродукты. Что касается выводов о происхождении палеоэскимоса, основанных на анализе генетических данных, то в ходе долгих дискуссий генетики пришли к выводу, что он принадлежал к популяциям, обитавшим в Сибири. Об этом свидетельствовало наличие в его геноме вариаций, характерных для указанных групп. Теперь можно было приступить к анали-

зу данных по так называемому полиморфизму однонуклеотидных замен (SNP) в четырех генах, обуславливающих цвет глаз у современных жителей Азии. С помощью данного метода была установлена форма передних зубов и свойства ушной серы (она была очень вязкой) — оба признака характерны для жителей Азии и коренных американцев. Данные по четырем другим типам SNP свидетельствовали о том, что у героя нашего рассказа была темная кожа. Имелись основания полагать, что это был коренной человек с обильными жировыми отложениями, что обеспечивало существование в суровых климатических условиях.

Все признаки древнего гренландца, которые здесь перечислены, не дают исчерпывающей информации об их обладателе, но все-таки позволяют значительно сузить круг подозреваемых, если использовать аналогичный подход в криминалистике. Целый ряд случаев из криминальной практики свидетельствуют о ценности даже минимальной информации. Так, в 2007 г. Кристофер Филлипс (Christopher Phillips) и его коллеги из Университета Сантьяго-де-Компостела в Испании использовали маркеры в молекуле ДНК, которую они взяли с зубной щетки подозреваемого в участии подрыва поезда в Мадриде в 2004 г. Результаты их анализа указывали на то, что «хозяин» ДНК был выходцем из Северной Африки. Позже полицейские подтвердили эту версию — террорист был алжирцем. Свидетели убийств, совершенных луизианским маньяком с 2001 по 2003 г., дружно утверждали, что преступник — уроженец Кавказа; однако результаты анализа ДНК указывали на его афроамериканские и индейские корни. Полиция прислушалась к доводам ученых, и в конце концов преступник был пойман.

Для того чтобы не ограничиваться только сведениями о расовой принадлежности подозреваемого, которые мало что дают для составления его портрета, был соз-



РЕКОНСТРУКЦИЯ: изучение ископаемых остатков ДНК позволило выяснить, как выглядел человек, живший в Гренландии 4 тыс. лет назад

дан целый ряд программ, в числе которых — *DNA Initiative* в рамках Национального института юстиции США. Они финансируют исследование по поиску альтернативных маркеров ДНК, ценных для криминалистики. Даниэле Подини (Daniele Podini) из Университета Джорджа Вашингтона работает над созданием набора из 50–100 генетических маркеров, анализ которых позволил бы определять цвет волос, пол и, возможно, происхождение подозреваемого. «Наша основная задача — обеспечить криминалистов инструментами, с помощью которых можно было бы подтвердить либо опровергнуть показания свидетелей или уменьшить число подозреваемых», — говорит Подини.

«Получить более специфические показатели гораздо труднее», — добавляет исследователь. Например, судить о возрасте исходя только из результатов ДНК-тестов весьма проблематично. Если бы в руках аналитиков имелся клеточный материал, можно было бы оценить длину теломер — концевых сегментов хромосом, укорачивающихся со временем. Однако и в этом случае не все так просто. На данный параметр влияет целый ряд внутренних и внешних факторов. На-

пример, имеются сведения, что у 50-летних любителей спортивных занятий длина теломер может быть такой же, как у 25-летних людей, спортом не увлекающихся. Другой важный показатель, вес, часто определяется наследственными факторами, но многое зависит, например, от того, как человек питался в детстве.

И все же идентификация генов, определяющих фенотип человека, — это важное подспорье к составлению его портрета. Сейчас Шрайвер изучает генетические особенности европейцев и смешанных этнических групп, для того чтобы установить корреляцию между такими признаками, как, например, форма носа у французов или разрез глаз у ирландцев, с одной стороны, и влияющими на них генами — с другой. Он надеется, что исследования помогут «взломать» код, которым пользуется организм при создании характерного облика индивидов. Шрайвер даже просматривает в УФ-свете крошечные кусочки кожи, взятые у добровольцев, чтобы оценить диапазон оттенков ее цвета, характерных для различных рас и этнических групп.

Такие исследования, как и ДНК-анализ, тоже имеют ограничения этического свойства. Современный генетический профиль человека может содержать информацию о риске того или иного заболевания, о пристрастиях обследуемого, его происхождении и о многом другом, что не всегда можно обнародовать.

Однако практическое применение такого рода данных всегда можно ограничить законодательными рамками. «Судопроизводство — крайне консервативная область», — говорит Подини. — Прежде чем применять что-либо новое на практике, необходимо устранить все сомнения, не оглядываясь на удобство работы с новой технологией и признание ее научным сообществом».

Кристина Соарес

ГЕНЕТИКА НАШЕГО КИШЕЧНИКА

«Перепись» микроорганизмов, обитающих в кишечнике человека, поможет бороться с ожирением и другими нарушениями метаболизма

Число микроорганизмов, населяющих тело человека, превышает число его собственных клеток примерно в десять раз и вносит существенный вклад в состояние здоровья организма-хозяина. Львиная доля этих живых существ обитает в желудочно-кишечном тракте, помогая избавляться от вредных бактерий и способствуя пищеварению. Но по мере того как исследование нашей микрофлоры продвигается все дальше, становится ясно, что на самом деле она играет более серьезную роль в поддержании здоровья человека, чем считалось ранее. В некоторых случаях вклад микроорганизмов в эту сферу может даже перевешивать вклад хозяйских генов.

Недавно группа китайских микробиологов, возглавляемая Цзюнь-цзе Цинем (Junjie Qin) и Цзюнь Ваном (Jun Wang) из Пекинского института геномики, составила каталог, который включает 3,3 млн генов бактерий, обитающих в кишечнике человека (см. журнал *Nature* от 4 марта 2010 г.). Он дополняет незавершенный пока список кишечных бактерий.

«3,3 млн генов — это больше, чем мы ожидали», — говорит Цзюнь Ван. Особенно удивляет то, что именно столько бактериальных генов найдется в кишечнике всех 124 обследованных датчан и испанцев. В сумме китайские ученые секвенировали 576 млрд пар оснований геномных ДНК бактерий-симбионтов — гораздо больше, чем в предыдущем исследовании (тогда их было 3 млрд). «Бактерии — «хозяева» этих генов выполняют важные функции: синтезируют витамины, расщепляют вещества, которые в исходном виде не усваиваются организмом человека, участву-

ют в работе иммунной системы», — отмечает Цзюнь Ван.

Другая группа ученых, руководимая Эндрю Гевирцем (Andrew Gewirtz) из Университета Эмори, сосредоточилась на исследовании специфических генов человека, продукты которых, по-видимому, влияют на кишечные микроорганизмы. Исследователи показали, что утрата одного такого гена приводит к качественному и количественному изменению популяции микроорганизмов и повышению резистентности к инсулину, ожирению и другим симптомам так называемого метаболического синдрома.

Обследование мышей, лишенных упомянутого гена, показало, что у них отсутствует *Toll*-подобный рецептор 5 (*TLR5*), важный компонент иммунной системы. Теперь Гевирц намеревается проверить, как это сказывается на микрофлоре в целом и на метаболизме организма-хозяина, и установить очередность указанных событий. «Ожирение ассоциируется с резистентностью к инсулину и диабетом типа II, — говорит ученый. — Но что за чем следует, до конца не ясно».

В работе, опубликованной Гевирцем в одном из мартовских номеров журнала *Science*, говорится, что мыши, лишенные *TLR5*-гена, даже если они находятся на строгой диете, проявляют резистентность к инсулину. Возможно, в этом и кроется причина ожирения. Если позволить этим мышам есть все, что им захочется, они будут потреблять пищи на 10% больше, чем их нормальные собратья, и через 20 недель показатель массы у них увеличится на 20%.

Утверждение, что причина многих бед современного человека — избы-

тие (и несбалансированность) пищи, малоподвижный образ жизни и генетические изменения, которые повышают вероятность развития метаболического синдрома, уже ни у кого не вызывает сомнения. Но опыты на мышах наводят на мысль, что это еще не все. «Возможно, склонность к перееданию обуславливается изменениями, которые скорее всего коренятся в психологии», — говорит Гевирц.

Спускоским крючком может служить воспаление — вкупе с изменением кишечной микрофлоры. Последнее приводит к размножению микроорганизмов, которые способны извлекать из питательных веществ больше калорий, чем обычные. Но, как считает Гевирц, «мы опять-таки не знаем, что здесь первично, а что вторично». Он полагает, что все сказанное выше распространяется и на человека, и намеревается провести сравнительный анализ генов и состава микрофлоры здоровых людей и тех, у кого диагностирован метаболический синдром.

Более глубокое изучение генетики микроорганизмов — симбионтов человека несомненно поможет поддерживать на должном уровне состояние его здоровья, но прежде чем это произойдет, придется выяснить множество вещей. Ученым до сих пор неизвестно, как и когда формируется наша микрофлора. «Любой здоровый младенец, пока он находится в утробе матери, стерилен», — замечает Гевирц. Колонизация начинается во время родов, и когда наступает относительная стабильность, мы не знаем.

Цзюнь Ван и его коллеги уже пытаются провести ретроспективный анализ состава микрофлоры кишечника, основываясь на более широком наборе генетических данных. «Мы мечтаем создать полномасштабную библиотеку геномов кишечных бактерий», — говорит биолог и замечает, что как только информация на этот счет станет более надежной и обширной, терапевтические средства, нацеленные на микрофлору, появятся незамедлительно.

Кэтрин Хармон

Сезам, откройся!



В ближайшее время в Иордании будет введен в строй источник синхротронного излучения *SESAME — Phase 1*. Он сооружен в международном исследовательском центре в окрестностях Аммана при участии ученых и инженеров из стран участниц Бахрейна, Египта, Иордании, Ирана, Израиля, Кипра, Пакистана, Палестины и Турции. Проект поддержан ЮНЕСКО, и в настоящее время заканчивается первая фаза, при которой пучки синхротронного излучения (СИ) будут доступны на 25 каналах, заложенных в проекте.

В основе этого проекта лежит накопитель электронов диаметром в 43 м на энергию 2,5 ГэВ, который позволяет проводить разнообразные исследования при энергиях СИ от 10 эВ до 30 кэВ на первых семи каналах. Перечень основных направлений фундаментальных и прикладных исследований дан в сводке, которую привели председатель совета *SESAME* профессор Крис Ллевелин-Смит (Chris Llewellyn Smith), возглавлявший в 1999–2004 гг. ЦЕРН, и профессор Самар Хаснаин (Samar Hasnain).

1. Структурная кристаллография белков (энергии 4–14 кэВ). Основная цель этих исследований состоит в выяснении механизмов транс-

формаций белков на молекулярном уровне, ведущих к созданию новых лекарств. За последние годы исследования по структурной кристаллографии протеинов, осуществленные на источниках СИ, были отмечены четырьмя Нобелевскими премиями — первая в 1997 г. и последняя в 2009 г. Фармацевтические и биотехнологические фирмы широко используют СИ с тем, чтобы выявить новые классы веществ при создании и удешевлении поисков новых лекарственных средств.

2. Изучение тонкой структуры поглощения и флуоресценции рентгеновского излучения (энергии 3–30 кэВ). Такие методы нашли широкое применение в современном материаловедении и экологии в диапазоне нанометров. Они используются и при создании новых материалов и катализаторов для нефтехимии. Методы рентгеновской флуоресценции находят самые разнообразные приложения — от химического анализа минералов и ископаемых до анализа красок при установлении происхождения картин.

3. Пучки инфракрасного излучения (энергии 0,01–1 эВ) используются в молекулярной биологии, экологии, материаловедении и археологии. Так, ИК-спектроскопия становится все более мощным мето-

дом исследования клеток и тканей без предварительной окраски препаратов. Поскольку ИК-излучение не ионизирует объект, оно очень перспективно для применения в области изучения поведения живых клеток.

4. Порошковый рентгеноструктурный анализ (энергии 3–25 кэВ) находит широкое применение в материаловедении. Особенный интерес представляют переход от неупорядоченного состояния в аморфную фазу в атомных масштабах порядка, эволюция наноструктур и состояние вещества при высоких давлениях и температурах. На многих источниках СИ это привело к созданию веществ с экстремальными свойствами.

5. Пучки СИ для исследования малоуглового рассеяния и рассеяние на большие углы (энергии 8–12 кэВ) предназначаются для исследования структур в молекулярной биологии и материаловедении. Эти методы используются для определения силы связей и ведут к улучшению свойств полимеров. Так открываются уникальные возможности изучения больших макромолекулярных структур и протеин-протеиновых комплексов.

6. Предельно коротковолновое УФ СИ (энергии 10–200 эВ) — для атомной и молекулярной физики. Фотопоглощение и фотоионизация в этом спектральном диапазоне дают фундаментальные сведения о поведении атмосферных газов, существенных для понимания данных в астрофизике, и электрических и механических свойствах поверхностей.

7. Канал с мягким УФ-излучением (энергии 50–2000 эВ) для атомной и молекулярной спектроскопии и физики твердого тела. Этот широкий диапазон частот и многоцелевые пучки найдут разнообразные применения, включая физику поверхностей и механизмов катализа.

Итак, новый источник СИ, будучи мощным инструментом исследований, несомненно, станет международной школой подготовки ученых и инженеров и основой для современных комплексных и междисциплинарных исследований на Ближнем Востоке. ■



Люк и Профессор, или СОХРАНИТЬ АМУРСКОГО ТИГРА

С 23 апреля по 9 июня 2010 г. в рамках постоянно действующей экспедиции РАН по изучению животных Красной книги Российской Федерации и других особо важных животных фауны России проходил очередной этап комплексных полевых исследований по программе «Амурский тигр», начатых в 2008 г. на территории Уссурийского заповедника ДВО РАН. Этой весной сотрудники Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН работали в составе двух рабочих групп: одна на территории заповедника, другая — вблизи границы с Китаем. В связи с неблагоприятными погодными условиями — многоснежной зимой и затяжной весной — срок отлова животных был сокращен. Тем не менее ученым удалось поймать и пометить еще двух самцов

тигров — тигра Профессора весом 204 кг и тигра Люка весом 150 кг. Это большая удача наших ученых, т.к. в прошлом году умнейший зверь Профессор старательно обходил все ловушки, за что и получил свое имя. Мероприятие не обошлось без переживаний. Профессор был отловлен 2 мая 2010 г. на дороге в Комаровском лесничестве Уссурийского заповедника. Зверь попался в петлю около семи часов утра, и полтора часа спустя специалисты приступили к обездвиживанию животного из автомобиля. Выстрелом из пневматического карабина, заряженного летающими шприцами, зверю ввели анестезирующие препараты (смесь золетила и домитора). После попадания тигр ринулся в атаку на автомобиль и находящийся в кузове людей, порвав анкерный стальной трос диаметром 6 мм и ока-

завшись на свободе. Своевременно зажженный фальшфейер и значительное расстояние (32 м), с которого был произведен выстрел анестезирующими препаратами, привели к тому, что за 3–4 м до машины зверь отклонился в сторону и убежал в лес с петлей на левой передней лапе. После десятиминутного ожидания иммобилизационная группа из семи человек отправилась по следам тигра. Через полчаса поисков зверь был обнаружен спящим в 270 м от дороги. После того как с лапы Профессора сняли петлю, на тигра надели ошейник GPS-ARGOS, взвесили, отобрали образцы крови, шерсти, экскрементов и спермы для последующего лабораторного анализа. Специально установленные фотоловушки зафиксировали, что Профессор очнулся через два часа после начала иммобилизации и в течение трех последующих дней держался в долине реки Комаровка, а затем переместился к юго-западу от заповедника. Результаты генетических исследований показали, что тигр Профессор — супруг тигрицы Серьги и отец трех ее тигрят 2008 г. рождения. Пер-





вый их сын, Боксер, был помечен в сентябре прошлого года. Ученые предполагали, что молодой тигр Люк, помеченный этой весной, — второй сын Серьги и Профессора, но результат проведенного генетического исследования это не подтвердил. Тем не менее исследователи могут наблюдать за целой семьей тигров.

Наблюдения за перемещениями тигров в спутниковых ошейниках показывают, что участок обитания самцов значительно больше, чем предполагалось ранее. А это значит, что тигры выходят далеко за пределы охраняемой территории, подвергаясь повышенной опасности. Этот факт требует принятия дополнительных мер охраны со стороны местного руководства.

Еще одним важным итогом работы экспедиции стала накопленная база данных идентификации

тигров с помощью фотоловушек — по фотографиям «индивидуального» узора шкуры животного. Всего на территории Уссурийского заповедника отмечено пять взрослых самцов тигров и две самки. Из них трое животных — два самца и одна самка — не были идентифицированы ранее. По предположениям зоологов, эти тигры

пришли в заповедник зимой-весной этого года. Собран и материал по фотоидентификации копытных, а это важный момент в понимании проблемы питания амурского тигра, наличия и распределения основных видов его жертв.

Работа экспедиции будет продолжена в сентябре-октябре 2010 г. ■

ПРОГРАММА ИЗУЧЕНИЯ АМУРСКОГО ТИГРА на российском Дальнем Востоке (Программа РАН «Амурский тигр») ставит своей целью разработку научных основ для сохранения амурского тигра на территории российского Дальнего Востока. Главная задача программы — изучение пространственной структуры популяции амурского тигра, перемещений и численности этих животных на территории России, характера использования ими пространства. Кроме того, специалисты исследуют репродуктивную биологию вида, характеристики среды обитания, особенности питания и кормовых ресурсов, а также распределение и популяционную динамику основных видов — жертв тигра, взаимосвязи с другими хищниками-конкурентами.

КАК ИЗБЕЖАТЬ дорожных пробок

Прогностическое моделирование позволяет оповещать водителей о возможных пробках за час до их возникновения

Бортовые и мобильные навигационные системы могут подсказывать водителям, как избежать дорожных пробок. К сожалению, такие подсказки в большинстве случаев поступают слишком поздно, когда водитель уже находится в пути или даже стоит в пробке. Однако компания *IBM* готовится внедрить систему, которая будет способна предсказывать дорожную ситуацию на час вперед, предоставляя автоладельцам достаточно времени, чтобы скорректировать свои планы.

В ходе предварительных испытаний в Сингапуре прогнозы интенсивности трафика для 500 мест в городе оказывались точными на 85–93%, а прогнозы скорости движения — на 87–95%. Подобные результаты были получены в Финляндии и на автостраде Нью-Джерси.

Ключ к успеху — программа прогностического моделирования, которая в реальном времени собирает и обрабатывает данные от дорожных датчиков, видеокамер и приемопередатчиков в такси, комбинируя их с «историческим» данными о дорожных условиях и прогнозами погоды. Каждую неделю программа уточняет свою калибровку на основе статистических данных за послед-

ние шесть недель. Она передает рекомендации на электронные дорожные указатели и на дисплеи навигационных приборов автомобилей. Наконец, она прогнозирует, когда рассосется пробка и восстановятся нормальные условия движения.

Представитель *IBM* Дженни Хантер (Jenny Hunter) сообщила, что ее компания подписала контракты с двумя транспортными управлениями США о развертывании полной системы. Места развертывания будут сообщены позднее. Присоединиться к делу может и Сингапур, который к тому же испытывает вариант системы, позволяющий предсказывать ожидающим пассажирам время прибытия автобусов на остановки.

В каждом месте ведется работа по оптимизации рекомендаций. Если, например, автострада № 1 забита, и отчаявшиеся водители, получив предупреждение, устремятся на автостраду № 2, там также возникнет затор. Инженеры намерены видоизменить модель так, чтобы она могла определять, посылать ли предупреждения 25% или 40% водителей, чтобы оптимально сбалансировать потоки по обеим трассам. А поскольку у большинства автомобилистов сегодня есть сотовые телефоны, *IBM* работает с несколькими телекоммуникационными компаниями, чтобы получить возможность отслеживать постоянно меняющуюся картину распределения телефонов на дорогах, что позволит осуществлять более детальное моделирование. При этом для обеспечения приватности номера телефонов раскрываться не будут.

Компания сообщила также о намерении разработать услугу по заблаговременному сообщению ин-

дивидуальным абонентам тех вариантов пути, которые при данных дорожных условиях позволят им добраться до нужного места быстрее всего. Голосовые рекомендации будут передаваться на навигатор автомобиля абонента или на его сотовый телефон.

Ведется также работа по применению подобных методов анализа и в других областях. «Красота прогностического моделирования состоит в том, что его легко адаптировать», — говорит вице-президент *IBM* по исследованиям услуг Роберт Моррис (Robert Morris). Например, лаборатория *IBM* в Хайфе проводит испытания программы *EuResist*, которая должна предсказывать в динамике эффект применения сочетания различных препаратов для лечения ВИЧ-пациентов. Программа анализирует ВИЧ-генотип пациента и текущие показатели состояния его здоровья, сопоставляя их с постоянно обновляемой базой данных о результатах лечения более чем 33 тыс. больных и 98 тыс. методов терапевтического воздействия. Подобные данные могут помочь определить, какой способ лечения рака молочной или предстательной железы может быть наиболее подходящим для конкретного пациента.

IBM сотрудничает также с Управлением водопровода и канализации города Вашингтона, предоставляя в реальном времени прогнозы вероятных проблем, например, какие канализационные коллекторы могут забиться в результате ливня. Цель состоит в том, чтобы заблаговременно управлять задвижками в рамках всей системы для минимизации паводков и быстро направлять аварийные бригады в нужные места. В марте *IBM* открыла лабораторию в Китае, чтобы помочь деловым клиентам, в частности банку *X'ian City Commercial Bank* заранее предвидеть тенденции поведения клиентов.

Марк Фишетти



ПЛАН УСТРАНЕНИЯ ПРОБОК. Новая услуга компании *IBM* позволит предсказывать возникновение пробок заблаговременно и предлагать варианты маршрутов

СТРАСТИ ПО НАУКЕ

Премьера, прибывшего на общее майское собрание РАН, ждали с двойственным чувством. С одной стороны, ученые хотели наконец услышать его мнение о ситуации, сложившейся вокруг науки, а с другой — сомневались в обоюдности желания вести диалог. Ведь в прошлом году президент так и не вышел на трибуну, ограничившись встречей «в узком кругу» и подтвердив тем самым, что время для диалога не пришло.

Вступительная речь В.В. Путина была короткой и неожиданной для присутствующих. Едва ли не впервые на столь высоком уровне прозвучало заявление, что фундаментальные исследования — это не коммерческий проект. Однако после этого премьер заявил, что для правительства принципиально значимы внутренние преобразования в отечественной науке, в системе РАН, которые позволят добиться высокого качества исследований и разработок, причем они должны проводиться не по прихоти отдельных чиновников, а на основе выявления лидеров в ходе открытых и прозрачных конкурсных процедур. По мнению главы правительства, необходимо внедрять институты независимой оценки деятельности научных организаций и эффективно использовать этот инструмент. При этом В.В. Путин добавил, что объемы финансирования научных организаций с каждым годом только увеличиваются. Он заявил, что финансирование научных исследований всегда сопоставляется с ситуацией в бюджете и в экономике в целом. Как всегда, он закончил тем, что хотел бы большей отдачи от науки, призывая сосредоточить ресурсы на прорывных направлениях.

В ответном слове президент РАН Ю.С. Осипов не сразу перешел к главной теме. Вначале он проинформировал премьера об успехах Академии наук по всем научным направлениям, начиная от математики и заканчивая открытием нового подвиды человека. Он заявил, что РАН

категорически не согласна с тем, что фундаментальные исследования следует вести только по тем направлениям, где российская наука находится на передовом уровне. «Отставание — основание не для свертывания исследований, ликвидации так называемых неэффективных научных организаций, а для принятия мер по его преодолению. России нужна фундаментальная наука, покрывающая существенный, достаточно широкий спектр исследований. Только в этом случае наша страна окажется во всеоружии при любых изменениях прорывных направлений в науке. Я имею в виду прежде всего принятие самим научным сообществом решений по выбору приоритетных направлений и распределению выделяемых государством ресурсов на цели фундаментальной науки».

Только в самом конце он приступил к главному. «Не могу не сказать еще об одной проблеме, — начал он, и по залу прокатился гул одобрения. — С осени 2009 г. РАН стала объектом информационной атаки. Нас, фундаментальных ученых, противопоставляют прикладной науке. Между тем 45% научных публикаций написаны в РАН, хотя у нас работает лишь 14% научных сотрудников России», — сказал Ю.С. Осипов.

Продолжением разговора стало обращение отделения физических наук РАН к общему собранию, с которым выступил академик А.А. Славнов.

«Общее собрание Отделения физических наук обращается к Общему собранию Российской академии наук со следующим заявлением:

1. В последнее время в средствах массовой информации и высказываниях некоторых государственных деятелей проводится мысль о неэффективности российской науки и принижается роль Российской академии наук в развитии научных исследований и образования в стране.

2. Эта позиция необъективна, ибо анализ данных о публикациях и цитируемости научных работ,

приводимый на большинстве российских и зарубежных информационных сайтов, свидетельствует о доминирующей роли (более 50% всех опубликованных работ) Российской академии наук.

Это же касается вопросов научной и научно-технической экспертизы, воспитания научных кадров и тесной связи академических научных учреждений с высшей школой. Яркий пример такой связи — Московский государственный университет, который производит 10% научной продукции в России, и в котором работают 300 членов РАН.

3. В настоящее время значительная часть финансирования науки, в частности по линии Министерства образования и науки, проходит без должной научной экспертизы со стороны РАН в соответствии с ее уставными обязанностями и ролью в государстве, что может приводить к неэффективному использованию государственных средств.

4. Общее собрание Отделения физических наук обращает внимание Общего собрания РАН на недостаточно активное отстаивание интересов российской науки Президиумом РАН.

5. Создается ощущение отсутствия четкой позиции государства в отношении перспектив развития фундаментальной науки, которая является в долгосрочном плане основой инновационной экономики. В свое время Президиумом Госсовета РФ, Советом по науке при Президенте России и Советом безопасности было принято стратегически важное решение о поддержке фундаментальных исследований. Срок его действия истекает в нынешнем 2010 г. Что придет ему на смену — неизвестно.

6. Общее собрание Отделения физических наук обращается к Общему собранию РАН с предложением посвятить ближайшее Общее собрание РАН обсуждению роли и задач РАН в сложившихся обстоятельствах. Необходимо провести такое собрание в этом году, желательно в октябре 2010 г.»

Сергей Федоров

Томас Вейлер, Грациела Джелмини и Александр Кузенко

ГЛАЗАМИ НЕЙТРИНО

Нейтрино — это уже не просто любопытный элемент физической теории, а важный рабочий инструмент астрономов

Нобелевская премия по физике 2002 г., врученная Рэю Дэвису (Ray Davis) и Масатоши Кошибе (Masatoshi Koshiba), была призвана отметить всю совокупность достижений этих ученых. Дэвис завоевал имя в науке детектированием солнечных нейтрино, впервые обнаружив эти неуловимые частицы, рожденные за пределами нашей планеты. Кошиба открыл нейтрино, пришедшие к нам в результате мощнейшего взрыва сверхновой в 1987 г. Полученные результаты стали знаковым наблюдательным исследованием нейтрино, в результате которого было опровергнуто представление теоретиков о том, что нейтрино — безмассовая частица. В действительности оно обладает небольшой массой. Высокая награда была вручена Дэвису и Кошибе еще и за то, что они создали новую науку — нейтринную астрономию.

Так нейтрино из гипотетической частицы превратилось в практический инструмент исследования кос-

моса. Вдобавок к изучению свойств нейтрино как элементарных частиц, с их помощью ученые смогли приоткрыть завесу над ранее скрытыми тайнами Вселенной. Подобно тому, как почти век назад строились гигантские оптические телескопы, современные астрономы разрабатывают и внедряют большие нейтринные телескопы, ожидая увидеть новые чудеса. Эти обсерватории уже поймали десятки тысяч нейтрино и получили изображение Солнца в нейтринных лучах. Нейтрино от более далеких космических источников сложнее детектировать по сравнению с теми, которые рождаются в верхней атмосфере Земли, но скоро приборы смогут преодолеть все трудности.

Распахнуты врата дальнейших исследований в области нейтрино, и эта частица, которую ранее считали ненаблюдаемой, может теперь стать необходимой. С помощью нейтрино можно увидеть то, что остается скрытым для лучей обычно-

го света. Например, изучая Солнце в световых лучах, мы видим только его поверхность — несколько сотен километров газа. Источник световой энергии Солнца — ядерные реакции в его ядре. Солнечное излучение поглощается и переизлучается в газовых слоях миллиарды раз на своем пути к поверхности, и только вблизи нее получает возможность свободно уходить в космос. В противоположность этому процессу, в нейтринных лучах мы видим недра Солнца, его самую горячую центральную область, занимающую 1% объема нашей звезды. Рожденные в центре Солнца нейтрино свободно проходят сквозь все его слои как сквозь пустоту.

Благодаря нейтрино стало возможным взглянуть вглубь сверхновых и других звезд с мощными энергетическими процессами, таких как источники гамма-излучения, а также аккрецирующие диски вещества вблизи сверхмассивных черных дыр. Готовящиеся к работе новые нейтринные обсерватории

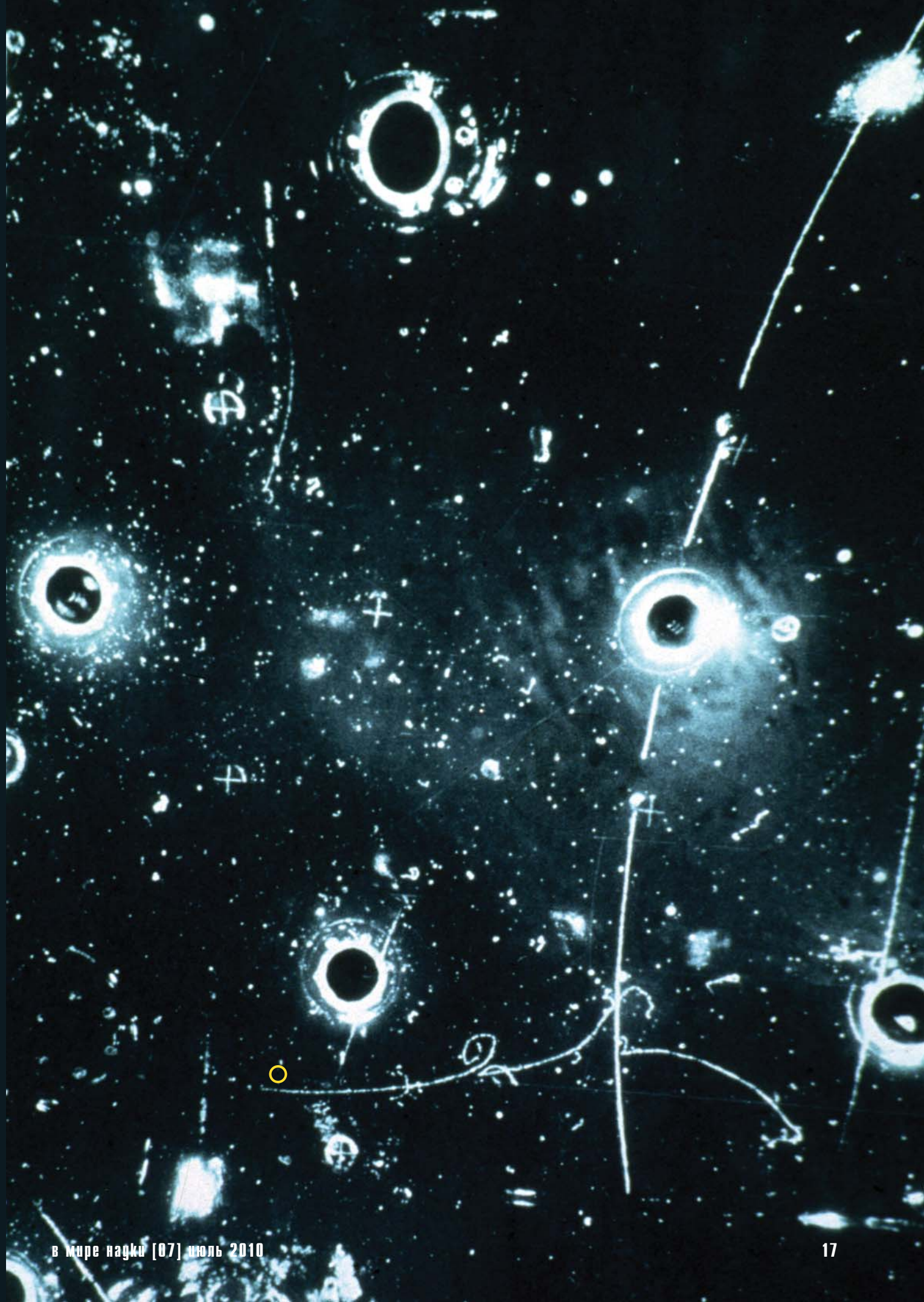
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

■ Нейтрино дадут астрономам зрение острее рентгена. Будучи частицами, слабо взаимодействующими с веществом, нейтрино практически свободно проникают повсюду, принося ученым информацию как из недр звезд, так и из ранее недоступных загадочных уголков нашей Вселенной.

■ К сожалению, самое замечательное свойство нейтрино — всюду проникать — затрудняет их детектирование. Только в последнее время детекторы нейтрино стали настолько чувствительны, чтобы с уверенностью регистрировать эти неуловимые частицы.

■ Приходящие к нам нейтрино бывают разных сортов, и во время своего путешествия по Вселенной они способны превращаться из одного сорта в другой.

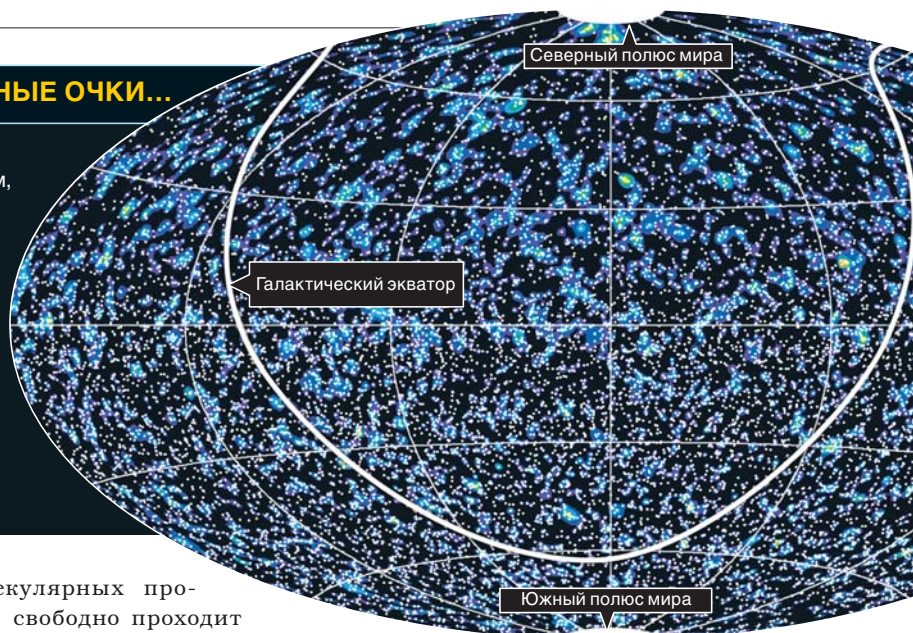
НЕВИДИМОЕ НЕЙТРИНО проникает слева в пузырьковую камеру и ударяет электрон (отмечен маленьким желтым кольцом), заставляя его двигаться по извилистой траектории (на рис.). Этот снимок пузырьковой камеры «Гаргамель» в ЦЕРН, выполненный в 1972 г., помог доказать Стандартную модель физики частиц и понять, каким образом нейтрино могут быть использованы в задачах астрономии



ЕСЛИ ВЗГЛЯНУТЬ СКВОЗЬ НЕЙТРИННЫЕ ОЧКИ...

НЕБО В НЕЙТРИННЫХ ЛУЧАХ

Сквозь такие очки небо выглядело бы очень пестрым, как показано на изображении, полученном работающей половиной нейтринной обсерватории «Ледяной куб» за период с апреля 2008 по май 2009 г. Около 20 тыс. нейтрино (на рис. показаны точками) пришли из космоса и из верхней атмосферы Земли. Сигналы космической природы, отделенные от атмосферных, показаны на рисунке цветом (это лишь предварительные данные — для того чтобы отделить события, необходима вся обсерватория целиком). «Ледяной куб» наблюдает северное и южное небо одновременно, поскольку нейтрино практически свободно проходят сквозь Землю



смогут детектировать одну сверхновую в год в ближайших 50 галактиках. Они также смогут обнаружить некоторые из сотен источников гамма-излучения.

Выгода одиночества

В физике частиц нейтрино аналогично электрону, но только не обладает электрическим зарядом, что делает его невосприимчивым к электромагнитным силам, которые доминируют в нашем повседневном мире. Когда вы сидите в кресле, сила электрического отталкивания препятствует тому, чтобы вы провалились сквозь сиденье. При химических реакциях атомы захватывают или теряют электроны. Когда вещество поглощает или отражает свет, заряженные частицы реагируют на колебания электромагнитного поля. Нейтрино же, будучи электрически нейтральным, не принимает участия в атомных

и молекулярных процессах, свободно проходит сквозь сплошную среду и практически остается невидимым.

Известные сорта нейтрино должны принимать участие в процессах слабого ядерного взаимодействия, которое отвечает за радиоактивный бета-распад и распад тяжелых элементов. Слабое взаимодействие, в соответствии со своим названием, заметно только на очень коротких расстояниях. Поэтому нейтрино редко взаимодействует с другими частицами. Для того чтобы обнаружить нейтрино, физики и астрономы должны наблюдать за большими объемами вещества в поисках редкого события, когда нейтрино оставит свой знак. Если, как считают астрономы, космические нейтрино в совокупности обладают такой же энергией, как и космические лучи (протоны и ионы, бомбардирующие нашу планету), то необходим кубический километр вещества, чтобы

захватить достаточное количество нейтрино для каких-либо уверенных выводов. Самые большие нейтринные обсерватории близки к такому размеру.

Кроме нейтрино, которые хотя бы редко взаимодействуют с веществом, физики предполагают существование и так называемых стерильных нейтрино, которые настолько надменны, что редко вступают даже в слабые взаимодействия, поэтому их еще труднее обнаружить.

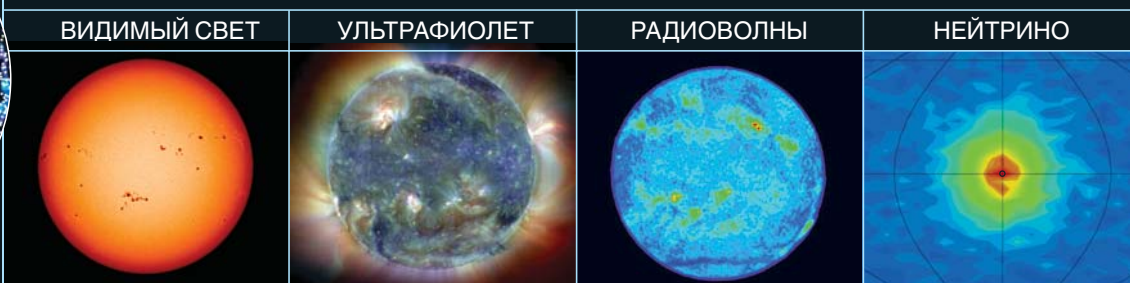
Несмотря на такую кажущуюся обособленность нейтрино, эти частицы — примы космической сцены. Они — обязательный элемент бета-распада, благодаря которому разогреваются осколки взорвавшихся звезд и внутренние области планет, и из-за которого существует промежуточное звено при запуске механизма ядерных реакций в звездах. Нейтрино имеют решающее значение для одного из двух основных типов сверхновых, которые образуются в результате сжатия массивной звезды в конце ее жизненного цикла. Такое сжатие сдавливает центральную область звезды до ядерной плотности, что приводит к рождению 10^{58} нейтрино за 10–15 с. На нейтрино приходится 99% всей энергии, порожденной этим процессом. Наблюдая такой объект в нейтринных лучах, ученые

ОБ АВТОРАХ

Томас Вейлер (Thomas J. Weiler) — профессор физики Университета Вандербилта, мечтавший стать ковбоем, но увлекшийся квантовой механикой и теорией относительности. **Грациела Джелмини** (Graciela B. Gelmini) — профессор физики Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. До того как отдать предпочтение физике, она сделала карьеру в области искусства, философии и астрономии в Высшей школе в Аргентине. Она — член группы Обсерватории им. Пьера Оже, как и бывший солдат Советской Армии **Александр Кузенко** (Alexander Kusenko), оставленный за прилежную работу в Калифорнийском университете. Каких же разных людей способна объединять наука — несостоявшегося ковбоя, поклоннику искусств и философии и бывшего советского солдата!

ВИД СОЛНЦА В ЛУЧАХ РАЗНЫХ ДЛИН ВОЛН

Астрономы видели Солнце в лучах света на всех волнах, а теперь они наблюдали его и в нейтринных лучах. Изображение очень размытое, поскольку разрешение в эксперименте на японском детекторе нейтрино «Супер-Камиоканде» составляло 26°, тогда как угловой размер Солнца — всего полградуса (на рис. — черный кружок). Однако это всего лишь технологический этап. Лучи света показывают нам только поверхность Солнца, а нейтрино — его ядро



могут видеть 99% полной картины динамики звезды — то, что не в состоянии заметить обычные телескопы. Регистрация нейтрино в 1987 г. подтвердила теорию звездного сжатия (см.: Вусли С., Уивер Т. Грандиозная сверхновая 1987 года // ВМН, № 10, 1989). Современные детекторы способны показать в реальном времени коллапс звезды и следующий за ним взрыв.

Где бы они ни рождались, нейтрино без труда достигают Земли. Они проходят сквозь газ и вещество, они могут легко пересечь всю Вселенную, что невозможно для электромагнитного излучения. Лучи самой высокой энергии, гамма-лучи, сильно уменьшают свою энергию, проходя сквозь космическое фоновое излучение — «туман» из микроволнового реликтового излучения, звездного света и радиоволн. Фотоны гамма-излучения с энергией 100 ТэВ (тераэлектронвольт) способны пройти расстояние всего в несколько десятков световых лет. По этой же причине блокированы и космические лучи.

Поэтому для астрономов нейтрино служит одним из инструментов исследования наиболее высокоэнергетических процессов во Вселенной. Их трудно изловить, но оно того стоит.

Многогранная наука

Помимо своей необщительности нейтрино обладают еще одной отличительной чертой: странным

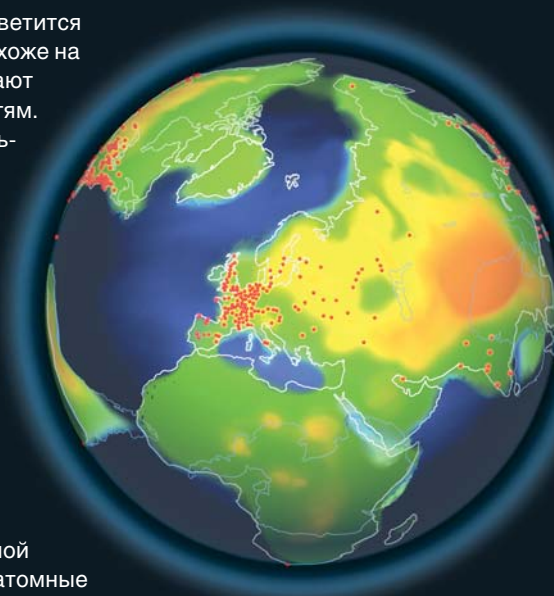
свойством метаморфозы. Следуя разбиению элементарных частиц на поколения, нейтрино бывают трех сортов. Так, электрону (e) соответствуют две тяжелые частицы, мюон (μ) и тау-лептон (τ), каждая из которых обладает своим нейтрино-партнером: электронным (ν_e), мюонным (ν_μ) и тау-нейтрино (ν_τ) соответственно. Но в то время как электрон, мюон и тау-лептон имеют вполне определенные массы, у соответствующих нейтрино такой определенности нет. Измеряя массу нейтрино из конкретного поколения, мы получим один из трех

вариантов (ν_1 , ν_2 , ν_3), каждый с определенной вероятностью. Если же мы попытаемся определить сорт нейтрино, зная его массу, то перед нами также предстанет равновероятный выбор из трех возможностей (ν_e , ν_μ , ν_τ). Нейтрино может либо принадлежать к конкретному сорту, либо обладать определенной массой, но не двумя точными значениями этих характеристик одновременно.

Таким образом, нейтрино нарушает наше интуитивное представление об объектах. Предположим, например, что два мяча — баскет-

ЗЕМНЫЕ ИСТОЧНИКИ НЕЙТРИНО

Наша планета слабо светится в лучах нейтрино: похоже на картину, где цвета отвечают различным интенсивностям. Геофизики начали использовать нейтринные наблюдения, чтобы изучить распределение радиоактивных изотопов, поскольку эти источники излучают нейтрино. Другими источниками нейтринного излучения могут быть столкновения частиц космических лучей в верхних слоях земной атмосферы, возможная аннигиляция частиц темной материи в ядре, а также атомные реакторы



больной и бейсбольный — весят соответственно 600 и 150 г, но если они поведут себя как нейтрино, то первый будет иногда весить 600 г, а иногда 150 г. Нейтрино — как буквы — персонажи известной детской сказки «Аля, Кляксич и Буква «А»»: «Один день мы Журавль и Заяц, другой — Жaba и Зебра, третий — Жук и Зяблик». Отловленное детектором нейтрино с известной вероятностью будет либо ν_e , либо ν_μ , либо ν_τ .

Сорт нейтрино характеризует его поведение в слабых ядерных реакциях, а масса показывает, как нейтрино распространяется в пространстве-времени. Например, во время бета-распада образуется только один сорт нейтрино, ν_e . Пока эти частицы путешествуют в пространстве, их сорт не важен, их поведение определяется только их массой. Частица ν_e есть смесь ν_1 , ν_2 и ν_3 в пропорциях, которые физики называют углами смешивания. Вместо одной частицы нужно рассматривать суперпозицию трех. В реакциях с веществом детектора сорт нейтрино становится важен. Если относительные пропорции масс не меняются, то в детекторе регистрируется нейтрино исходного сорта (для бета-распада — ν_e). Но это не обязательно так. Когда частица распространяется в виде суперпозиции состояний с разными массами, на нее могут повлиять факторы, искажающие пропорции и, таким образом, меняющие сорт. Этот процесс называется метаморфозой нейтрино.

Согласно принципам квантовой механики, каждое массовое состояние соответствует волне с фиксированной длиной. Волны могут интерферировать друг с другом. Используя акустическую аналогию, можно сказать, что нейтрино есть звуковая волна, состоящая из трех чистых тонов. Те, кто хотя бы раз имел дело с музыкальными инструментами, знают, что смешанные звуковые волны, немного различающиеся по тону (длине волны), создают «пульсации» за счет осцилляции интенсивности звуковых волн.

COURTESY OF REINA MARUYAMA National Science Foundation (photograph); GEORGE RETSECK (illustration); JESSICA HUPPI (scale icons); JEN CHRISTIANSEN (flavor diagrams)

Источник

НЕОБЫЧНЫЙ ТЕЛЕСКОП

Нейтрино проявляют себя в столкновениях с атомными ядрами с излучением заряженных частиц — электрона или его аналога в других поколениях, мюона и тау-лептона, которые в свою очередь излучают видимый свет или радиоволны. Такие события редки, и поэтому астрономам приходится следить за большими объемами вещества, чтобы зафиксировать хотя бы десяток. Обычно в качестве вещества используется вода, жидкая или замороженная, поскольку она достаточно плотная, что увеличивает вероятность искомых столкновений, и достаточно прозрачная, чтобы фиксировать излучение в нужных реакциях

Траектория нейтрино —

Земля

Траектория нейтрино

Атомные ядра

ВЗГЛЯД ВЕЛИЗИ: «ЛЕДЯНОЙ КУБ»

«Ледяной куб» — одна из нескольких обсерваторий, способных практически осуществлять описанные выше принципы ловли нейтрино. Материал детектора — плита антарктического льда на 1,4 км в глубину под станцией «Южный полюс»

Траектория мюона

Траектория электрона

Детектор света

Передача данных по кабелю

Световые детекторы размером с баскетбольный мяч вкраплены в лед, чтобы отлавливать свет, излученный заряженными частицами. Точное вычисление времени регистрации света (на основном рис. отмечено цветом) позволяет астрономам узнать направление прихода и энергию испустивших заряженные частицы нейтрино



Ученые начали работу по размещению детекторов южным летом 2005-2006 гг. и планируют закончить ее этим летом. С помощью горячей воды они пробурили во льду скважины на глубину 2,5 км и опустили на кабеле фотодетекторы

Система детекторов на поверхности выявляет космические лучи, чтобы не спутать их сигналы с сигналами нейтрино

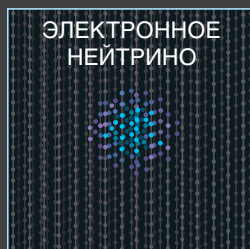
«Ледяной куб»
1 тыс. м
«Эмпайр стейт билдинг» —
381 м

нием
мюона
ли
ится
ать
вода,
ная,

ОБСЕРВАТОРИИ	ОСНАЩЕНИЕ
«СУПЕР-КАМИОКАНДЕ» Расположение: к северу от Нагои, Япония Объем детектора: 50 тыс. куб. м Начало работы: 1996 г. Угловое разрешение: 26° Интервал энергий: 10^8 – 10^{12} эВ	Фотодетекторы расположены в гигантской емкости с водой в шахте по добыче цинка. Ученые планируют увеличить емкость в 20 раз, создав «Гипер-Камио-канде»
ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. ПЬЕРА ОЖЕ Расположение: к югу от Мендосы, Аргентина Объем детектора: 30 тыс. куб. км (покрытие телескопа), 20 тыс. куб. м (наземные детекторы) Начало работы: 2004 г. Угловое разрешение: $0,5$ – 2° Интервал энергий: 10^{17} – 10^{21} эВ	Первоначально детектор космических лучей позволяет наблюдать и нейтрино высоких энергий с помощью системы 1,6 тыс. небольших емкостей с водой. В дополнение к этому телескопы ультрафиолетового диапазона ищут события столкновений частиц в атмосфере
АНТАРКТИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ИМПУЛЬСОВ («АНИТА») Расположение: станция Мак-Мердо, Антарктида Объем детектора: 1 млн куб. км Начало работы: 2006–2007, 2008–2009 гг. Угловое разрешение: 1 – 2° Интервал энергий: 10^{17} – 10^{21} эВ	Баллон, летающий над Антарктикой в течение месяца, сканируя радиоволны, которые могут возникать при столкновениях нейтрино высоких энергий с пластами льда
НЕЙТРИННЫЙ ТЕЛЕСКОП «АНТАРЕС» Расположение: участок Средиземного моря близ Марселя, Франция Объем детектора: 0,05 куб. км Начало работы: 2008 г. Угловое разрешение: $0,3^\circ$ Интервал энергий: 10^{13} – 10^{16} эВ	12 нитей подводных детекторов закреплены на якоря в поисках столкновений частиц в воде. Это один из головных проектов для <i>KM3Net</i> — кубического километра нейтринного телескопа, который планируется построить за период 2011–2015 гг.
«ЛЕДЯНОЙ КУБ» Расположение: Южный полюс Объем детектора: 1 куб. км Оценка времени запуска: 2011 г. Угловое разрешение: 1 – 2° Интервал энергий: 10^{11} – 10^{21} эВ	86 нитей светочувствительных детекторов (а в некоторых случаях и радиоантенн) встроены в лед. Это более совершенная версия эксперимента «АМАНДА»
КОСМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ EUSO Расположение: Международная космическая станция Объем детектора: 1 млн куб. км воздуха (эквивалентно 1 тыс. куб. км льда) Оценка времени запуска: 2015 г. Угловое разрешение: 1 – 2° Интервал энергий: 10^{19} – 10^{21} эВ	Телескоп ультрафиолетового диапазона волн, установленный на японском экспериментальном модуле, будет осуществлять мониторинг атмосферы Земли с целью засечь треки заряженных частиц

КАКОГО СОРТА БЫЛО НЕЙТРИНО?

Появление каждого типа, или сорта, нейтрино определяется своей частицей — электронное нейтрино от электрона, мюонное нейтрино от мюона, тау-нейтрино от тау-лептона. Наблюдательными методами можно различать сорта нейтрино с точностью 25%



ЭЛЕКТРОННОЕ НЕЙТРИНО

Электрон взаимодействует с атомами и уменьшает их энергию, формируется сферическая область излучения



МЮОННОЕ НЕЙТРИНО

Мюон, будучи слабо взаимодействующим, проходит километры и больше, создавая конус излучения



ТАУ-НЕЙТРИНО

Тау-лептон быстро распадается. Его рождение и гибель сопровождаются двойной вспышкой излучения

В случае нейтрино различие в массах действует аналогично различию в тонах, создавая осцилляции сортов нейтрино.

Проиллюстрируем сказанное примерами. В Солнце образуются электронные нейтрино. Прежде чем достигнуть Земли, они становятся смесью трех сортов. Первые эксперименты Дэвиса и Кошибы были чувствительны только к электронным нейтрино, соответственно, они упустили мюонное и тау-нейтрино, в которые превратились многие электронные нейтрино в ходе своего движения. Понадобился детектор, чувствительный ко всем трем типам нейтрино, детектор Нейтринной обсерватории Садбери в Канаде, который в 2001 и 2002 гг. зафиксировал репрезентативную выборку частиц (см.: Макдональд А., Клейн Д., Вок Д. Разгадка тайны солнечных нейтрино // ВМН, № 9, 2003).

Другой пример уверенно обнаруженного превращения одного сорта нейтрино в другой — это образование нейтрино в верхних слоях земной атмосферы. Космические лучи сталкиваются с ядрами в атмосфере, рождая нестабильные частицы — пионы, которые тут же распадаются на электронное и мюонное нейтрино. Эти нейтрино распространяются сквозь атмосферу и саму планету. Чем больше они пройдут с момента детектирования, тем больше мюонных нейтрино превратится в тау. Нейтринные обсерватории видят около половины мюонных нейтрино, прошедших сквозь Землю и вышедших с противоположной стороны, из числа нейтрино, приходящих из верхних слоев атмосферы.

Шутки с пропорциями

Для астрономов сорт нейтрино аналогичен поляризации света в том смысле, что эти характеристики могут кодировать информацию. Подобно тому как небесный источник может излучать свет определенной поляризации, он излучает и нейтрино определенных сортов, и определяя эти типы, ученые могут ска-

ПЛОДОВИТОСТЬ СТЕРИЛЬНОГО НЕЙТРИНО

Некоторые астрономы считают, что нейтрино может отвечать за возникновение темной материи во Вселенной. Эта идея не слишком популярна, поскольку нейтрино очень легкие: их масса составляет не больше одной миллионной части массы электрона. Однако ученые все-таки оставляли возможность того, что существуют до сих пор не обнаруженные нейтрино, которые могут претендовать на роль кандидатов в частицы темной материи, так называемые стерильные нейтрино, не участвующие в реакциях слабого взаимодействия.

Кажется, что стерильные нейтрино в принципе невозможно детектировать, но ведь то же самое говорили когда-то и про обычные нейтрино. Считается, что стерильные нейтрино все-таки могут проявлять себя в наблюдениях астрономических объектов. Например, они могут излучаться при взрыве сверхновой. Поскольку согласно своей природе такие взрывы несимметричны, в одну сторону может уйти большее количество нейтрино, чем в другую, и остаток сверхновой может сместиться в противоположном направлении со скоростью сотни километров в секунду. Астрономы наблюдают подобное поведение, которое долгое время остается загадочным.

Стерильные нейтрино могут проявлять себя путем распада на фотоны рентгеновского излучения, поскольку они нестабильны. Рентгеновский спутник «Чандра» обнаружил излучение, которое можно сопоставить со стерильным нейтрино с массой в сотые доли массы электрона, и наблюдения рентгеновского спутника «Сузаку» также выявили слабый сигнал, идущий, возможно, именно от стерильного нейтрино. Распад стерильного нейтрино мог ионизовать водород в ранней Вселенной и быть ответственным за преобладание материи над антиматерией. Но пока этих указаний еще недостаточно, чтобы делать выводы о существовании стерильного нейтрино.

зать, какие процессы происходят в исследуемом источнике. Фокус в том, чтобы предсказать все превращения, которые случатся с нейтрино по дороге.

Если бы мы смогли точно измерить энергию нейтрино и установить, насколько издалека оно пришло, то мы смогли бы определить, в каком из циклов осцилляций оно находится, и вычислить относительный вклад трех сортов. Нам не хватает точности. Двигаясь долгое время и перемещаясь на большие расстояния, нейтрино осциллируют так много раз, что мы не можем точно определить пропорцию сортов. За неимением лучшего мы берем статистическое среднее, характеризующее так называемой матрицей распространения сортов. По такой матрице астрономы могут определить, что в реальности соответствует наблюдениям.

Например, известно, что много нейтрино образуется в ходе высокоэнергичных процессов столкновения фотонов и протонов. Такой процесс происходит в природных ускорителях космических частиц — в ударных волнах остатков сверхновых и в выбросах, вызванных взаимодействием излучающих объ-

ектов с черными дырами, а также и в далеком межзвездном пространстве, где космические лучи взаимодействуют с фоновым излучением. Взаимодействия порождают заряженные частицы — пионы, которые распадаются на мюоны и мюонные нейтрино. В свою очередь мюоны распадаются, помимо других продуктов распада, на электроны и электронные нейтрино. Результирующий поток нейтрино состоит на одну часть из ν_e , на две части из ν_μ и не содержит ν_τ , т.е. отношение сортов нейтрино таково: 1:2:0. Смотри соответствующие величины в матрице распространения, мы обнаруживаем, что это соотношение стало 1:1:1. Таким образом, если в эксперименте на Земле получено другое соотношение, чем 1:1:1, то это означает, что цепочка распада пиона не может быть причиной зарегистрированных нейтрино.

В некоторых случаях пион может потерять энергию, сталкиваясь с другими частицами или излучая, двигаясь по искривленной траектории в магнитном поле. В этом случае мюон, на который он распадается, становится запрещенным как высокоэнергичный источник, и отношение сортов становится 0:1:0.

Вычисления матрицы распространения, т.е. пересчет соответствующих величин для наблюдателя на Земле, дает 4:7:7 вместо 1:1:1. Если эксперимент показывает отношение 1:1:1 для нейтрино низких энергий и отношение 4:7:7 для нейтрино высоких энергий, то астрономы могут определить плотность частиц и характеристики магнитного поля, в котором двигались частицы.

Нейтрино могут приходить также от так называемых источников бета-излучения. В природных ускорителях космических частиц высокоскоростные атомные ядра могут обмениваться пионами или распадаться, приводя к рождению потока быстрых нейтронов, которые подвергаются радиоактивному бета-распаду, давая ливни электронов и электронных нейтрино с отношением сортов 1:0:0. Соответствующая матрица дает для наблюдателя на Земле значения 5:2:2.

Каким бы ни было начальное соотношение сортов нейтрино, два их сорта, мюонное и тау, приходят к Земле в равных долях — примечательное равенство, которое отражает до конца не понятое учеными свойство внутренней симметрии этих частиц. Тау-нейтрино астрономы видят всегда больше, хотя даже нет известных источников, их производящих.

Совместно с гамма-излучением и космическими лучами нейтрино помогают лучше понять природные механизмы образования энергии в космических объектах. Они могут определить, являются ли ускорители космических частиц электромагнитными (в них нет нейтрино) или увлекают тяжелые частицы (нейтрино есть). Нейтрино могут также помочь ответить на один из десятка основных вопросов современной астрофизики: как формируются космические лучи сверхвысоких энергий? Некоторые космические лучи настолько энергичны, что раскрытие их природы может привести к перевороту в физике.

Нейтрино могут быть полезными, и вот в чем. Распад частиц темной материи приводит к рождению

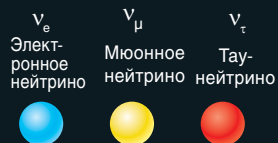
МЕТАМОРФОЗЫ НЕЙТРИНО

В отличие от других частиц, нейтрино изменяются, путешествуя по Вселенной. Астрономы должны принимать во внимание странное свойство этих частиц, чтобы понять, какая же частица была испущена, и что послужило ее источником

НЕЯСНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

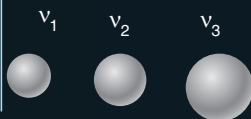
Нейтрино обладают способностью видоизменяться. Они могут быть одного из трех сортов и обладать одной из трех масс, но каждый сорт не соответствует какой-то определенной массе

ТИП НЕЙТРИНО определяет, как эта частица взаимодействует с веществом



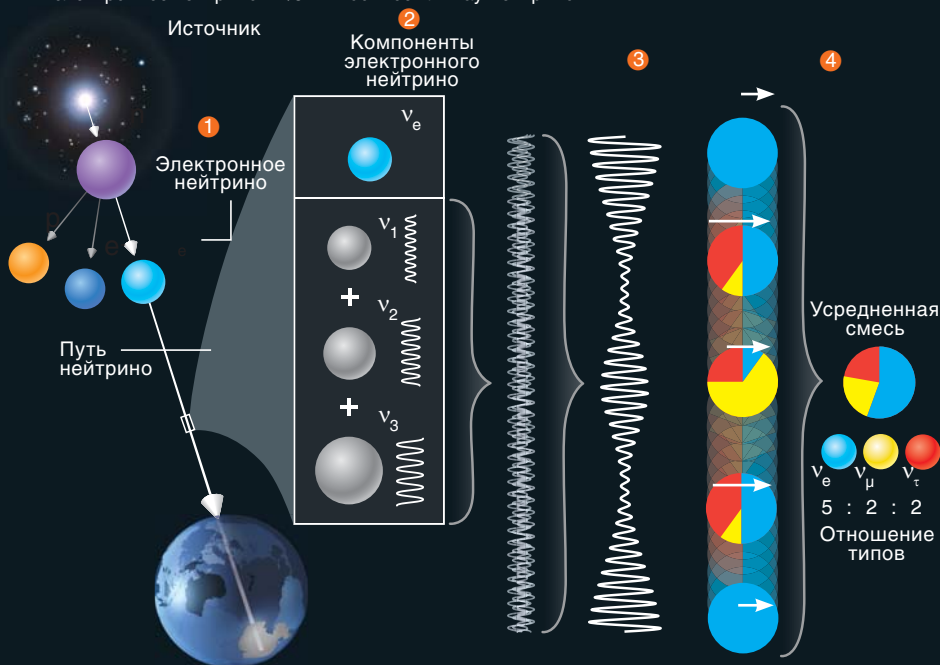
Обычные тела обладают постоянными свойствами: мяч может быть баскетбольным (600 г), или футбольным (400 г), или бейсбольным (150 г). Но если бы эти мячи вели себя как нейтрино, то их вес и тип могли бы меняться в процессе движения

МАССА нейтрино определяет, как эта частица распространяется в пространстве-времени



ОСЦИЛЛЯЦИИ СОРТОВ НЕЙТРИНО

Когда нейтрино рождается или когда его детектируют, оно обладает определенным сортом. Например, бета-распад нейтрона рождает электронное нейтрино (1). Это нейтрино не имеет какой-то конкретной массы, но представляет собой смесь одного из трех возможных вариантов (сумма трех волн различной длины) (2). По мере распространения нейтрино оно становится смесью трех сортов (3), которая меняется в процессе его движения (4). На диаграмме представлена смесь в пропорции 5:2:2, что означает, что детектор обладает вероятностью 1/5 обнаружить электронное нейтрино и 4/5 — мюонное или тау-нейтрино



СМЕСИ СОРТОВ

Астрофизические процессы рожают различные смеси сортов нейтрино, которые астрономы могут выявить путем подсчета количества превращений нейтрино. Мюонное и тау-нейтрино приходят всегда в равных пропорциях, согласно свойствам внутренней симметрии

Источники	Пропорции сортов нейтрино в источнике	Пропорции сортов нейтрино в детекторе
Распад нейтрона	1:0:0	5:2:2
Распад пиона (полный)	1:2:0	1:1:1
Распад пиона (частичный)	0:1:0	4:7:7
Распад частиц темной материи	1:1:2	7:8:8
Пространственно-временная пена	любое	1:1:1
Распад нейтрино (первый самый легкий)	любое	4:1:1
Распад нейтрино (второй самый легкий)	любое	0:1:1

нейтрино с пропорцией сортов 1:1:2, что приводит к соотношению 7:8:8. В современных квантовых теориях гравитации ткань пространства-времени идет рябью возмущений на микроскопических масштабах. Нейтрино сверхвысоких энергий с соответственно очень короткими длинами волн могут быть чувствительны к этой микроскопической структуре. Возмущения были бы способны изменить отношение сортов как 1:1:1. Зная это соотношение, ученые в будущем могли бы отсеять нежизнеспособные теории, а также определить уровень энергии, на котором эффекты квантовой гравитации становились бы значимыми.

Еще один экзотический процесс — распад тяжелого нейтрино на более легкие, что может повысить отношение сортов. Изучая солнечные нейтрино, физики нашли, что одно массовое состояние нейтрино легче второго, но неизвестно соотношение их с третьим массовым состоянием. Если астрономы обнаружат пропорцию 4:1:1, это будет означать, что первое нейтрино самое легкое, а соотношение 0:1:1 — что таково третье.

Исторически астрономы начали изучение Вселенной в видимом свете, переходя к инфракрасному, микроволновому, радиоизлучению и рентгеновским и гамма-лучам. Начинается золотой век нейтрино в астрономии. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- High Energy Cosmic Rays. Graciela B. Gelmini in Journal of Physics: Conference Series, Vol. 171, No. 1, Paper No. 012012; June 29, 2009. arxiv.org/abs/0903.4716
- Sterile Neutrinos: The Dark Side of the Light Fermions. Alexander Kusenko in Physics Reports, Vol. 481, Nos. 1–2, pages 1–28; September 2009. arxiv.org/abs/0906.2968
- Kilometer-Scale Neutrino Detectors: First Light. Francis Halzen. Presented at CCAPP Symposium 2009. arxiv.org/abs/0911.2676

МЕДИЦИНА



Конрад Хохедлингер

ПЕРСОНАЛЬНЫЕ целители

Клетки тела взрослого человека можно перепрограммировать так, чтобы они приобрели целебную силу эмбриональных стволовых клеток

Я до сих пор с волнением вспоминаю о том зимнем утре 2006 г., когда, посмотрев в лабораторный микроскоп, увидел колонию клеток, неотличимых от эмбриональных стволовых. Они лежали в чашке Петри небольшой компактной группой, образовавшейся в результате трехнедельного деления, и мерцали флуоресцирующим светом — тем самым, который считается одним из «опознавательных знаков» плюрипотентности эмбриональных стволовых клеток. Из таких клеток, имплантированных в живой организм, могут образовываться ткани любого типа. Но те клетки, с которыми я работал, не имели никакого отношения к эмбриональным. Их взяли от взрослой мыши и «омолодили», введя не очень сложный набор генов.

Можно ли с такой же легкостью переводить «клеточные часы» любой животной клетки и возвращать ее в эмбриональное состояние? Этот вопрос волновал не только меня. Как раз в то время Шинья Яманака (Shinya Yamanaka) и его сотрудники из Киотского университета опубликовали результаты исследований, совершивших прорыв в данной области: они нашли способ получения так называемых индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (iPSC) из фибробластов (клеток соединительной ткани) мыши. Долгие годы биологи ломали голову над секретом необычайной универсальности эмбриональных стволовых клеток, намереваясь использовать в медицине их способность давать начало тканям самого разного типа. Не меньше усилий было потрачено

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Индуцированные плюрипотентные стволовые клетки получают из полностью дифференцированных клеток взрослого организма изменением их идентичности и возвращением в «эмбриональное» состояние. При этом никаких яйцеклеток и клеток эмбриона не требуется.
- «Омолождение» нормальных клеток взрослого индивида и получение из них клеток любого из 220 типов тканей создает предпосылки к разработке новых методов борьбы с тяжелыми заболеваниями.
- Все усилия специалистов в области клеточного перепрограммирования направлены сегодня на то, чтобы понять, как именно происходит «перевод стрелок» биологических часов, и будут ли стволовые клетки нового типа в полной мере обладать потенциалом эмбриональных клеток.

Человечество не раз пыталось найти «эликсир молодости», который побеждал бы старость и болезни

на то, чтобы отрегулировать правовые и этические нормы, связанные с использованием эмбриональных тканей, а также на опровержение непроверенных, а иногда и сфальсифицированных «революционных» данных, вселявших в людей необоснованные надежды. Поэтому эксперты по стволовым клеткам отнеслись к результатам японских биологов с осторожностью. Меня же не нужно было ни в чем убеждать: я сам получил индуцированные плюрипотентные стволовые клетки по «рецепту» Яманаки.

За последние несколько лет результаты японских ученых были воспроизведены неоднократно. И сегодня в тысячах лабораторий по всему миру работают над тем, чтобы, используя весь потенциал *iPSC*, научиться искоренять болезни, которые считаются неизлечимыми (диабет I типа, болезни Альцгеймера, Паркинсона и многие другие). Возможность изменять идентичность клетки простым введением в нее нескольких специально подобранных генов заставила биологов по-другому посмотреть на сам процесс развития организма человека.

Человечество не раз пыталось найти «эликсир молодости», который побеждал бы старость и болезни. И сегодня, когда оно научилось возвращать клетки сформировав-

шегося организма в их исходное, эмбриональное состояние, до осуществления мечты о вечной молодости, казалось бы, рукой подать. Однако тканевая *iPSC*-инженерия делает лишь первые шаги. Чтобы утверждать, будто новая область биотехнологии сможет изменить медицинскую практику, или что хотя бы *iPSC* действительно эквивалентны эмбриональным стволовым клеткам, придется ответить на многие сложные вопросы.

Первобытная мощь

С чем же связаны надежды, возлагаемые на *iPSC*? За ответом обратимся к эмбриональным стволовым клеткам. В основе всех нынешних исследований *iPSC* лежат методы и концепции, разработанные за последние 30 лет изучения эмбриональных клеток, в первую очередь феномена плюрипотентности. Развитие эмбриона млекопитающего — однонаправленный процесс, в ходе которого клетки со временем становятся все более специализированными и все менее универсальными. Данный процесс называется дифференцировкой. Лишь очень недолгое время на самой ранней стадии развития все клетки эмбриона обладают способностью давать начало любому из 220 типов клеток будущего организма. Выделив клетки на этой стадии и культивировав их, мы получим колонию эмбриональных стволовых клеток. Их способность бесконечно долго сохранять свой потенциал послужила основа-

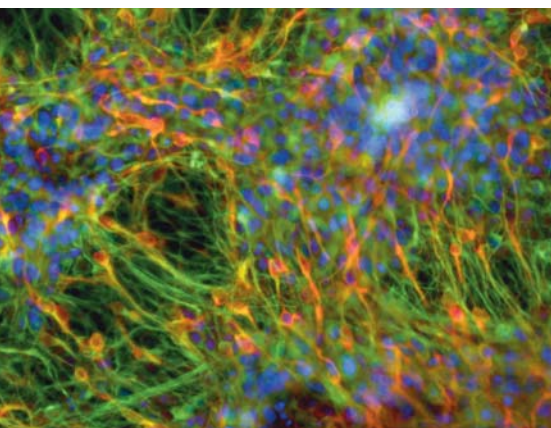
нием для их названия — плюрипотентные.

На более поздней стадии развития эмбриона стволовые клетки приобретают некоторую специализацию — они могут дать начало только какому-то одному семейству типов клеток, например костных или мышечных. Их называют мультипотентными. У сформировавшегося организма от всей этой череды клеток остаются только «взрослые» стволовые, пополняющие пул зрелых клеток данной ткани. Так, стволовые клетки крови непрерывно воспроизводят все 12 типов клеток этой и иммунной систем, а стволовые клетки кожи отвечают за обновление кожного покрова через каждые несколько недель.

Дифференцированные клетки никогда не «понижаются в ранге», т.е. не переходят на более низкий уровень развития. Известно только одно исключение — раковые клетки; по мере развития патологического процесса они становятся менее дифференцированными, чем клетки ткани, в которой появились. К несчастью, в большинстве случаев они делятся безостановочно и становятся по существу «бессмертными», подобно плюрипотентным клеткам.

До недавнего времени единственным способом перевести стрелки «клеточных часов» назад было клонирование. Для этого из яйцеклетки удаляли ядро и вводили в нее генетический материал нужной соматической зрелой клетки. Такой гибрид давал начало эмбриону, из которого на самых ранних стадиях развития выделяли плюрипотентные стволовые клетки.

В 1997 г. таким способом клонировали млекопитающее — овечку

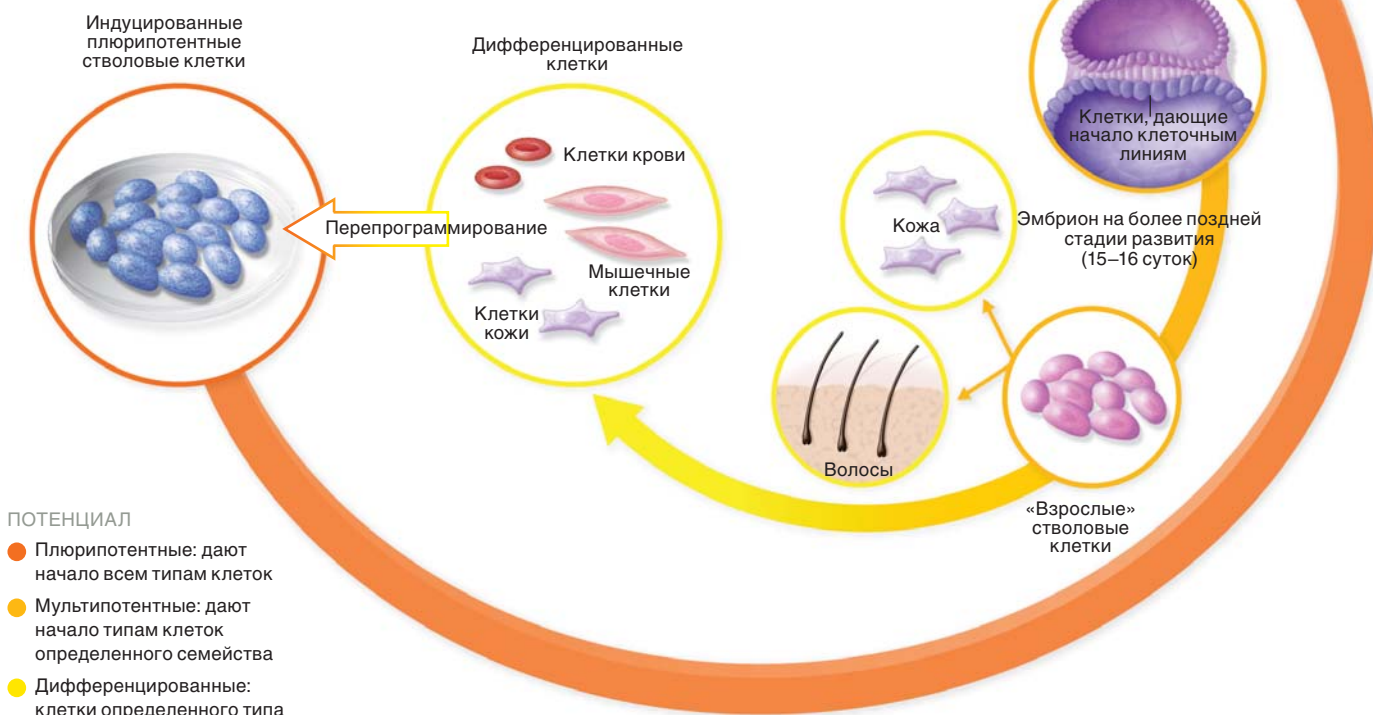


ПЕРСПЕКТИВЫ ТКАНЕВОЙ ТЕРАПИИ

Нейроны, воссозданные из индуцированных плюрипотентных клеток, которые в свою очередь получены из клеток кожи пациента, страдающего болезнью Альцгеймера. Теперь, когда появилась возможность переводить зрелые клетки в «эмбриональное» состояние, а затем получать из них ткани любого типа, открылись новые пути к изучению патогенеза многих заболеваний, разработке и тестированию лекарственных веществ, а также созданию более совершенных методов тканевой терапии

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ

По мере формирования организма клетки утрачивают способность к видоизменению и становятся все более специализированными. Другое дело — индуцированные плюрипотентные клетки (*iPSC*). В норме только клетки эмбриона на самых ранних стадиях плюрипотентны — они дают начало всем типам тканей будущего организма. На более поздних стадиях возможности эмбриональных клеток сужаются — они превращаются в мультипотентные, от которых происходят только ткани определенного семейства. У взрослых индивидов стволовые клетки специализированы в еще большей степени — из них образуются дифференцированные клетки только одного типа. Перепрограммирование возвращает такие клетки на более ранние стадии развития, переводя их в категорию плюрипотентных



Долли, а в 1998 г. впервые получили эмбриональные стволовые клетки человека. На клонирование возлагались большие надежды как на способ получения плюрипотентных стволовых клеток, способных дифференцироваться в клетки любых тканей, нуждающихся в замене. Не очень понятным образом яйцеклетка индуцировала полное обновление генетического материала взрослой клетки. В ее хромосомах имелись даже теломеры — концевые области, утрачиваемые при старении. И тем не менее попытки получить эмбриональные стволовые клетки человека с помощью клонирования нельзя назвать успешными.

Яманака с сотрудниками избрали другой путь — их метод не предполагал использования яйцеклеток

или тканей эмбрионов. Они решили ввести в дифференцированную клетку гены, функционирующие только у эмбрионов, предполагая, что этого будет достаточно для перепрограммирования исходной клетки и перехода ее на низшую ступень развития. Их первым достижением была идентификация набора примерно 25 генов, которые молчат в зрелых клетках и функционируют в эмбриональных. Вве-

дение данных генов в клетки кожи с помощью ретровирусных векторов как по волшебству превращало дифференцированные клетки в плюрипотентные. В ходе дальнейших экспериментов Яманака показал, что для перепрограммирования на самом деле достаточно четырех генов — *Oct4*, *Sox2*, *Klf4* и *c-Myc*.

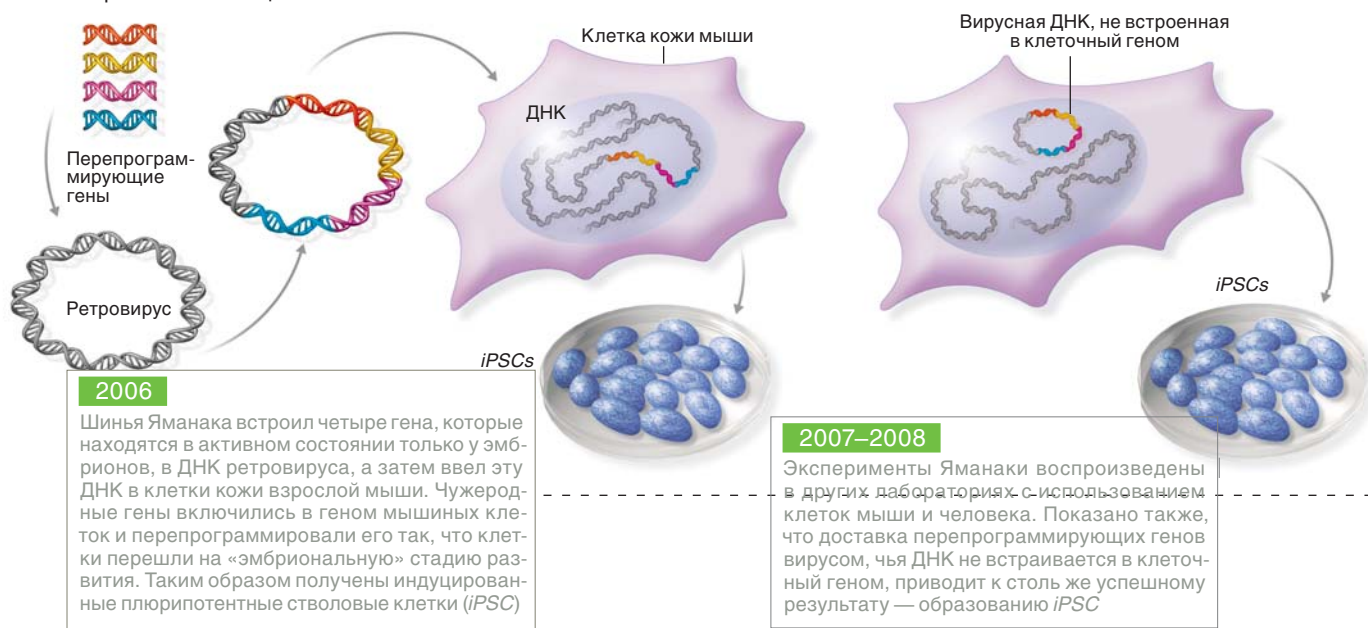
После того как несколько лабораторий повторили этот опыт и получили такой же результат, то, что ка-

ОБ АВТОРЕ

Конрад Хохедлингер (Konrad Hochedlinger) — доцент кафедры регенеративной биологии Гарвардского университета, а также сотрудник Института по изучению стволовых клеток при этом же университете и Медицинского института Говарда Хьюза. Возглавляет лабораторию в Массачусеттской больнице, где занимается исследованием биологии стволовых клеток и клеточного перепрограммирования, чтобы определить возможность их применения в медицине

БЫСТРЫМИ ШАГАМИ — К КЛЕТОЧНОМУ ОМОЛОЖЕНИЮ

Прошло всего четыре года с того времени, когда японские ученые впервые показали, что набор определенных генов, доставленных в клетки кожи мыши ретровирусами, может переводить их в плюрипотентное состояние. С тех пор многое сделано для упрощения этой процедуры, повышения ее эффективности и безопасности — с тем чтобы можно было использовать *iPSC* в терапевтических целях



залось «магическим трюком», стало научным фактом. На сегодняшний день успешно перепрограммировано около дюжины типов клеток четырех разных видов животных (мышей, крыс, обезьян и человека). Получение *iPSC* было встречено с таким энтузиазмом в научной среде потому, что появилась возможность обходиться без сложной процедуры клонирования и не использовать эмбриональные стволовые клетки — предмет жарких споров. Однако новая технология имеет свои недостат-



КЛОНИРОВАНИЕ

Перенос ядра зрелой клетки в энуклеированную яйцеклетку — еще один способ перепрограммирования. Однако по неизвестным причинам попытки получить таким образом эмбриональные стволовые клетки человека к полному успеху не привели

ки. Сегодня самая важная проблема — контроль качества и безопасности. Для этого нужно выяснить, что же именно представляют собой *iPSC* и на что они способны.

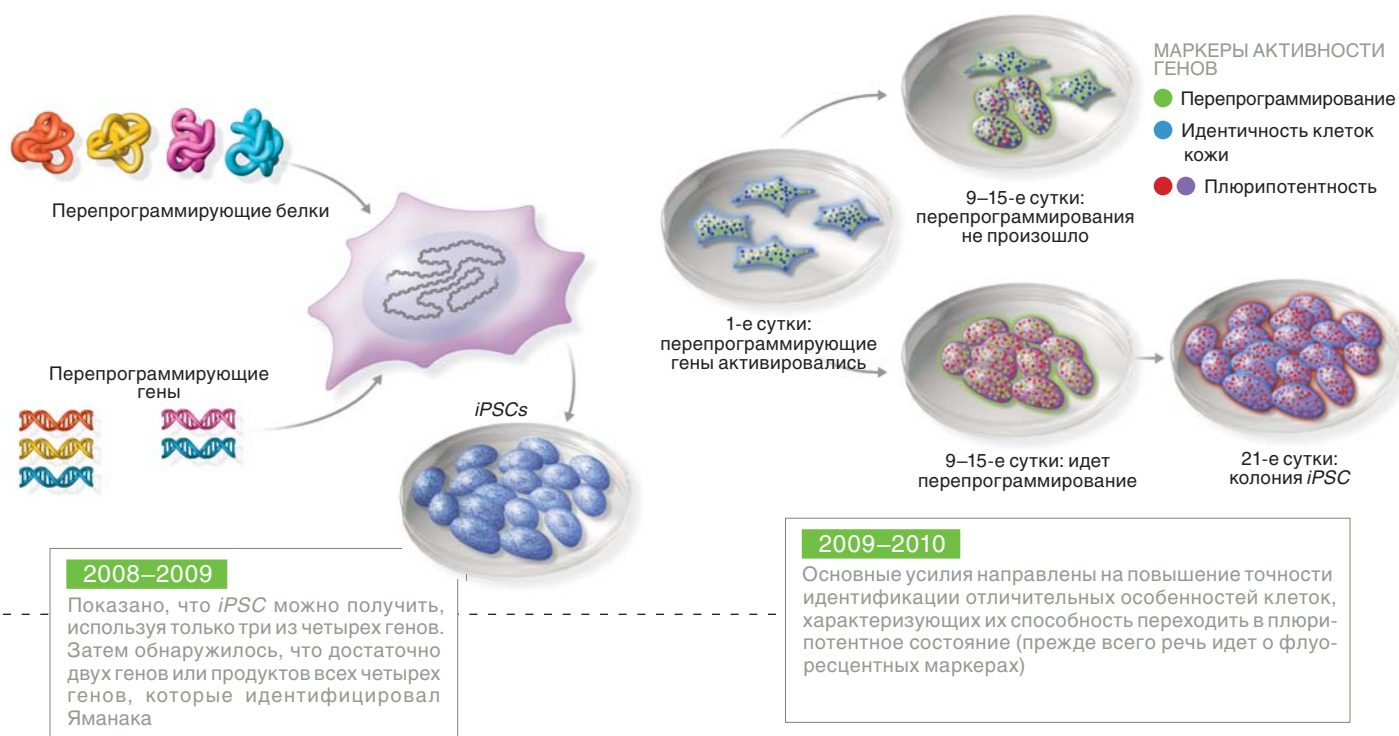
Кризис идентичности

Под микроскопом *iPSC* могут выглядеть точно так же, как колонии эмбриональных стволовых клеток, и иметь аналогичные молекулярные маркеры, однако неоспоримые доказательства их плюрипотентности может дать только функциональное тестирование: способны ли *iPSC* на все то, что свойственно настоящим плюрипотентным клеткам? Ведь даже в колониях эмбриональных клеток встречаются неполноценные экземпляры, и для подтверждения плюрипотентности разработаны специальные тесты. Они включают (в порядке повышения весомости) проверку на способность давать начало широкому спектру клеток разных тканей в культуре, образовывать тератомы (опухоли, которые содержат клетки всех типов эмбриональных тканей) при подкожном введении лабо-

раторным мышам и вносить вклад в формирование клеточных линий всех тканей, в том числе половых клеток, у новорожденных мышей.

В отличие от эмбриональных стволовых клеток, многие *iPSC* удовлетворяют не всем этим требованиям. Как показывают детальные исследования, вирусные частицы, используемые для доставки четырех целевых генов в перепрограммируемые клетки кожи, часто выполняют свои функции ненадлежащим образом, и ключевые гены в ДНК исходной клетки не включаются, как положено. В результате они утрачивают свою идентичность, но не становятся плюрипотентными.

Дальнейшие исследования *iPSC*, прошедших все тесты на плюрипотентность, нацелены на идентификацию признаков, по которым «хорошие» клетки можно отличить от «плохих». Торстен Шлагер (Thorsten Schlaeger), Джордж Дейли (George Daley) и их коллеги из Гарвардского университета недавно построили сравнительный профиль активности генов клеток кожи, подвергавшихся длительному (в течение



трех недель) процессу изменения идентичности, и генов плюрипотентных клеток. В отличие от клеток, так и не ставших плюрипотентными, *iPSC* несли флуоресцентные маркеры, первый признак их успешной трансформации.

Поскольку по этическим соображениям постановка наиболее доказательного теста на плюрипотентность — введение *iPSC* эмбриону человека — невозможна, проведение всех остальных проверок становится особенно актуальным. Среди них — тест на полную инактивацию потенциально опасных вирусов, используемых для переноса перепрограммирующих генов. Например, Яманака обнаружил, что у трети мышей, полученных в результате введения *iPSC* в развивающиеся эмбрионы, впоследствии возникли онкологические заболевания. Причина — неполная инактивация ретровируса.

Одна из основных проблем, связанных с применением ретровирусов в качестве векторов, состоит в том, что микроорганизмы данного типа (к ним относится, в час-

тности, вирус СПИДа) встраивают свою ДНК в геном хозяйской клетки, так что она становится неотъемлемой его частью. В результате чужеродные гены остаются активными, и в зависимости от места встраивания вирусной ДНК в геном могут приводить к нарушениям его структуры, сопряженным с раковой трансформацией. Чтобы обезопасить процедуру перепрограммирования, во многих лабораториях используют методы, исключающие вторжение в хозяйский геном.

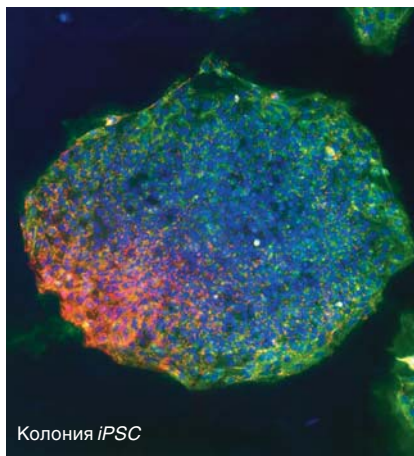
Мы, например, работаем с модифицированным аденовирусом, вызывающим у человека обычную простуду. Его ДНК не встраивается в мышинный геном и находится в клетке ровно столько времени, сколько нужно для превращения ее в *iPSC*. Полученные плюрипотентные клетки, инъецированные в мышечный эмбрион, легко «прижились» в развивающемся организме, и ни у одного взрослого животного не происходило раковой трансформации. Это открытие вместе с разработкой альтернативных методов получения *iPSC*, не содержащих ви-

русных частиц, должно устранить основное препятствие на пути применения *iPSC* в клинике.

И, наконец, есть надежда, что для доставки целевых генов можно будет обходиться вообще без вирусов, обрабатывая зрелые клетки комбинацией лекарственных веществ, которая имитирует действие перепрограммируемых генов. Шэн Дин (Sheng Ding) из Научно-исследовательского института Скриппса, Дуглас Мелтон (Douglas A. Melton) из Гарвардского университета и ряд других исследователей уже идентифицировали вещества, способные заменить каждый из четырех ключевых генов перепрограммирования в том смысле, что каждое из них активирует межмолекулярные взаимодействия в клетке, за которые отвечают продукты данного гена. Впрочем, обработка клеток сразу четырьмя веществами не приводит к плюрипотентности. Исследователям еще предстоит подобрать правильное соотношение между ними и время воздействия на клетку, чтобы она стала плюрипотентной без всякой помощи вирусных векторов.

КЛЕТКИ ПО ЗАКАЗУ

Умение превращать клетки кожи или крови человека в индуцированные плюрипотентные стволовые клетки, а затем получать из них клетки любого типа открывает новые возможности в борьбе с серьезными заболеваниями. В ближайшем будущем можно будет «моделировать» патологические процессы и апробировать новые лекарственные вещества *in vitro*, а лет через десять — восстанавливать или заменять поврежденные ткани



Колония iPSC

ПРИМЕНЕНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Превращение *iPSC*, полученных путем перепрограммирования клеток больного, в клетки органов и тканей, которые страдают при том или ином заболевании, наблюдение за патологическими изменениями в них и исследование действия лекарственных средств

КЛЕТОЧНАЯ ТЕРАПИЯ

Превращение *iPSC*, полученных путем перепрограммирования клеток больного серповидноклеточной анемией, в здоровые клетки с целью их имплантации пациенту

ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ

■ С помощью *iPSC* человека уже регенерированы ткани 12 типов, в том числе те, которые разрушаются при болезни Паркинсона и диабете

■ В опытах *in vitro* показано смягчение «симптомов» таких заболеваний, как атрофия гладких мышц и семейная вегетативная дисфункция

■ Проведена трансплантация нейронов, воссозданных с помощью *iPSC*, крысам, страдающим заболеванием, аналогичным болезни Паркинсона

■ Замена дефектных генов, которые ассоциированы с серповидноклеточной анемией у мышей, в клетках — предшественниках клеток крови избавила животных от данного заболевания

Клетки-целители?

Поскольку из плюрипотентных клеток могут формироваться любые типы тканей человеческого тела, понятен интерес к ним как к заменителям органов и тканей, разрушаемых при таких заболеваниях, как болезнь Паркинсона или инфаркт миокарда. Исходные клетки, подлежащие перепрограммированию, берутся от самого пациента, так что созданный из *iPSC* трансплантат не отторгается организмом — он идентичен заменяемой части в генетическом и иммунологическом отношениях. Далее, клетки кожи, которые чаще всего используются для получения *iPSC*, легко доступны, в отличие от клеток таких внутренних органов, как головной мозг или поджелудочная железа.

Кроме всего прочего, новый метод, возможно, позволит устранять генетические повреждения, сопряженные с некоторыми заболеваниями, до реинтродукции новых клеток. Данный подход применялся в опытах на «взрослых» стволовых клетках, в норме участвующих в регенерации некоторых тканей. Однако пока успеха достичь не удалось, поскольку подобные клетки (клетки-предшественники) крайне трудно культивировать и работать с ними *in vitro*.

Зато, судя по недавним опытам на мышах, лечение генетических заболеваний с помощью *iPSC* вполне реально. Так, в 2007 г. Рудольф Дженш (Rudolf Jaensch) из Массачусетского технологического института показал, что таким способом можно бороться с серповидноклеточной анемией у некоторых животных. Причина данного заболевания — точечная мутация, в результате которой эритроциты приобретают серповидную форму. Вначале Дженш получил *iPSC* из клеток кожи больной мыши, затем заменил в них дефектный ген нормальным и трансформировал «репарированные» *iPSC* в стволовые кроветворные клетки. Эти клетки он ввел той же мыши, и произошла их дифференциация в нормальные эритроциты. Подобный подход можно применять для устранения генетических дефектов, лежащих в основе любых наследственных заболеваний, если только известны локализация и их природа.

Теперь самый трудный вопрос: как скоро можно будет использовать *iPSC* в медицине? Мы уже говорили, что тестирование перепрограммированных клеток на человеке возможно только при абсолютной уверенности в их безопасности и эффективности. Применяемые сегодня стратегии побуждения эмб-

риональных стволовых клеток *iPSC* к дифференциации в клетки определенного типа не гарантируют, что в результате они не трансформируются в опухолевые. Такие опасения не беспочвенны: недавние опыты по трансплантации крысам полученных с помощью *iPSC* нейронов, высвобождающих дофамин и разрушаемых при болезни Паркинсона, показали, что у некоторых животных образуются тератомы, несмотря на то что симптомы основного заболевания смягчаются.

Все неудачи и достижения последних лет в области *iPSC*-инженерии позволяют предположить, что преграды на пути к клиническим испытаниям ее продуктов удастся преодолеть в ближайшие десять лет. Однако терапевтическую ценность *iPSC* можно будет продемонстрировать гораздо раньше. Исследование патогенеза многих заболеваний, связанных с разрушением тканей (диабета I типа, болезней Альцгеймера и Паркинсона), сдерживается тем, что соответствующие клетки трудно получать и культивировать, и *iPSC* в этих случаях могут стать незаменимым инструментом для тех, кто занимается так называемым моделированием болезней.

Вкратце смысл подобных исследований состоит в следующем. Прежде

всего получают *iPSC* из клеток кожи или крови больных и трансформируют их в клетки тканей, получающих повреждения при том или ином заболевании. Недавно Клайв Свендсен (Clive N. Svendsen) из Висконсинского университета в Мадисоне и Лоренц Стадер (Lorenz Studer) из Института исследований раковых заболеваний центра Слоуна–Кеттеринга получили *iPSC* из клеток больных, страдающих атрофией гладких мышц или семейной вегетативной дисфункцией. *iPSC* трансформировали в клетки, поражаемые при данных патологиях; при культивировании их постигла та же участь, что и соответствующие клетки в организме больных.

Эти эксперименты показывают, что за развитием патологических процессов можно наблюдать *in vitro*, имея к тому же неограниченный доступ к клеточному материалу, поскольку исходные *iPSC* можно поддерживать в культуре сколь угодно долго. Конечная цель исследователей и работников фармацевтических компаний заключается в том, чтобы с помощью моделирования *in vitro* лучше понять природу и развитие того или иного патологического процесса и найти новые способы лечения больных.

Перспективы применения *iPSC* в подобных целях вовсе не так отдаленны. На самом деле это уже не перспективы, а реалии сегодняшнего дня. С тех пор как Свендсен и Стадер начали эксперименты по обработке клеточных культур потенциальными лекарственными веществами, стало возможно говорить о «симптомах» заболеваний на клеточном уровне. Такой принцип пригоден для многих других патологий, с которыми пока не знают, как бороться. В отличие от метода, основанного на трансплантации клеток, результатом может стать появление лекарственных средств, которые облегчат жизнь миллионов людей.

Трудности и надежды

Опыты с *iPSC* позволяют решить многие этические проблемы и про-

тиворечия, связанные с применением эмбриональных клеток. Однако степень их плюрипотентности остается на повестке дня, и в этом смысле эмбриональные стволовые клетки по-прежнему служат «золотым стандартом».

Без ответа пока остается важнейший в практическом отношении вопрос: станет ли превращение клеток взрослого организма в *iPSC* и последующее превращение *iPSC* в соответствующие типы клеток достаточно надежным и эффективным для широкого клинического применения? Не ясно также, сохраняют ли *iPSC* какую-либо память о том, от клеток какого типа они произошли. Если да, то их способность давать начало клеткам любого типа ограничена. Наши знания о механизмах превращения зрелой клетки в плюрипотентную далеко не полны, но еще меньше нам известно о процессе самого перепрограммирования: как всего несколько генов умудряются перевести всю генетическую программу зрелой клетки на «рельсы» клеток эмбрионов?

Чтобы найти ответ на этот и другие, не менее сложные вопросы, придется и дальше обращаться к эмбриональным клеткам как к «точке отсчета» и сравнивать их эффективность с таковой *iPSC* в различных ситуациях. Кроме того, работа с плюрипотентными *iPSC* может породить этические проблемы, сходные с теми, которые возникли в связи с применением эмбриональных стволовых клеток, поскольку в принципе *iPSC* можно использовать для создания эмбриона человека.

Тем не менее нельзя не признать, что с научной точки зрения в области клеточного перепрограммирования достигнуты в последние годы большие успехи. Получение *iPSC* опровергло старую догму о невозможности повернуть время вспять для дифференцированных клеток. Стало реальностью превращение клеток одного типа в клетки любой другой ткани путем простой манипуляции несколькими генными переключателями. Для того чтобы ра-



ОПЯТЬ ЭТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Введение *iPSC* в организм мышиного эмбриона приводит к появлению на свет химерного мышонка с нехарактерной окраской шерстного покрова. Аналогичный подход можно использовать и для создания химерного эмбриона человека. Теоретически *iPSC*-технология позволяет получать спермии и яйцеклетки, а затем — традиционным способом искусственного оплодотворения — эмбрионы. Соответственно, использование *iPSC* может породить такие же этические проблемы, что и те, которые возникают при использовании эмбриона человека

зобратся в работе этих переключателей хотя бы на механистическом уровне, потребуется много усилий и времени.

Только будущее покажет, приведут ли *iPSC*-технологии или другие, сходные, к созданию «эликсира молодости». Лично я считаю, что с большой вероятностью да. Несомненно, клеточное перепрограммирование поможет изучению патогенеза многих серьезных заболеваний и будет значить для медицины XXI в. не меньше, чем вакцины и антибиотики для медицины XX в. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Минкел Дж. Долгожданная альтернатива // БМН, № 5, 2008.
- Induced Pluripotent Stem Cells and Reprogramming: Seeing the Science through the Hype. Juan Carlos Izpisua Belmonte, James Ellis, Konrad Hochedlinger and Shinya Yamanaka in Nature Reviews Genetics, Vol. 10, No. 12, pages 878–883.



Беатриса де Гелдер

ЧУДЕСНОЕ ЗРЕНИЕ СЛЕПЫХ

Некоторые люди, ослепшие после травмы мозга, обладают так называемым слепозрением — удивительной способностью реагировать на эмоциональное выражение человеческого лица и даже обходить препятствия, не осознавая при этом, что они что-то воспринимают

О тснятый нами фильм потрясает воображение. По длинному коридору, загроможденному коробками, стульями и прочим хламом идет слепой. Он ничего не знает о расположении предметов, но тем не менее легко их обходит — то проходит боком между стеной и корзиной для канцелярского мусора, то огибает треногу видеокамеры, — абсолютно не осознавая, что совершает сложные маневры. Этот человек, известный многим специалистам под инициалами TN, обладает слепозрением — поразительной способностью реагировать на попавшие в поле зрения объекты, не воспринимая их сознательно. Видеозапись наблюдений за TN имеется на сайте *Scientific American* (www.ScientificAmerican.com/may2010/blindsight).

TN страдает редчайшим типом слепоты. В 2003 г. в результате двух инсультов у него была необратимо повреждена первичная зрительная кора в затылочных долях головного

мозга — сначала слева, затем, спустя пять недель, справа. Глаза при этом остались совершенно здоровыми, но из-за гибели отделов коры, в которые поступают зрительные сигналы, развилась полная слепота.

Съемки TN, передвигающегося по коридору — наверное, самое яркое из всех имеющихся документальных свидетельств слепозрения. У других больных, ослепших после повреждения первичной зрительной коры, эта загадочная способность не столь выражена, но все же имеется: они могут реагировать на не воспринимаемые сознательно объекты, начиная от простых гео-

метрических форм и заканчивая сложными образами человеческих лиц с разными эмоциональными выражениями. В эксперименте удавалось воспроизвести данную способность и у здоровых людей путем временного выключения или «отвлечения» зрительной коры.

Исследователи, изучающие слепозрение, стремятся определить возможности зрительного реагирования у лиц с корковой слепотой и выяснить, какие отделы мозга и нервные пути отвечают за этот феномен. Результаты таких работ касаются всех нас: даже если у человека вполне нормальное зрение,

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- У некоторых больных, ослепших в результате повреждения мозга, развивается «слепозрение» — способность реагировать на предметы и изображения в отсутствие сознательного зрительного восприятия.
- С помощью слепозрения можно распознавать многие зрительные характеристики, в том числе цвета, движение, простые формы и эмоциональное выражение лиц или поз.
- В настоящее время изучаются древние структуры мозга, отвечающие за слепозрение, а также возможности этого удивительного свойства.

ЧТО ТАКОЕ СЛЕПОЗРЕНИЕ

Сознательное зрительное восприятие у человека обеспечивается участком мозга, называемым первичной зрительной корой (*внизу*). Повреждения данного участка сопровождаются выпадениями в соответствующих зонах полей зрения — корковой слепотой. Слепозрением называется способность реагировать на объекты, попадающие в эти зоны, в отсутствие сознательного зрительного восприятия. Яркий пример слепозрения — способность больного *TN* с полной корковой слепотой обходить предметы при передвижении

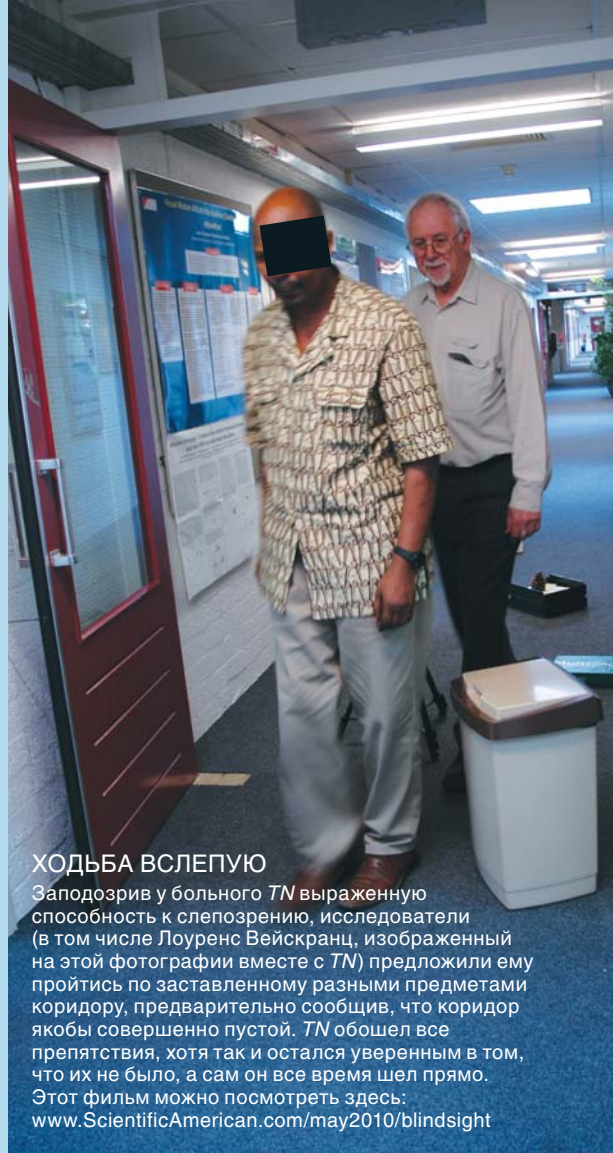
ЗРИТЕЛЬНЫЕ ПУТИ

Сигналы от сетчатки через латеральное колленчатое тело поступают в первичную зрительную кору, где и происходит их осознанное восприятие. Кроме того, зрительная информация приходит в такие подкорковые центры, как ядра подушки таламуса и верхние холмики четверохолмия среднего мозга. Активация этих центров не вызывает осознанного восприятия, но может обуславливать слепозрение



ХОДЬБА ВСЛЕПУ

Заподозрив у больного *TN* выраженную способность к слепозрению, исследователи (в том числе Лоуренс Вейскранц, изображенный на этой фотографии вместе с *TN*) предложили ему пройти по заставленному разными предметами коридору, предварительно сообщив, что коридор якобы совершенно пустой. *TN* обошел все препятствия, хотя так и остался уверенным в том, что их не было, а сам он все время шел прямо. Этот фильм можно посмотреть здесь: www.ScientificAmerican.com/may2010/blindsight



удивительная способность неосознаваемого восприятия объектов, так ярко проявившаяся у *TN*, наверняка составляет невидимую, но неотъемлемую часть нашей повседневной жизни.

Тернистый путь

Первые сообщения о слепозрении стали появляться в 1917 г. Феномен, который тогда назывался «остаточным зрением», был выявлен у раненых на фронтах Первой мировой войны. Однако лишь полвека спустя слепозрение стало объектом более строгих и последовательных исследований. Первые работы были проведены в 1967 г. в Кембриджском университете Лоуренсом Вейскранцем (Lawrence Weiskrantz)

и его студентом Николасом Хэмфри (Nicholas K. Humphrey) на обезьянах с удаленной зрительной корой. В 1973 г. сотрудники Массачусетского технологического института Эрнст Поппель (Ernst Poppel), Ричард Хелд (Richard Held) и Дуглас Фрост (Douglas Frost) в опытах с регистрацией движений глаз показали, что взгляд человека имеет некоторую тенденцию отклоняться в сторону не воспринимаемых сознанием раздражителей.

Данные результаты послужили толчком для дальнейших исследований животных с удаленной первичной зрительной корой (зоной *VI*). Оказалось, что у них сохраняются многие формы зрительного реагирования, например распознавание движений и форм объектов. В 1973 г. в лаборатории Вейскранца были начаты работы по изучению больного *DB*, у которого в связи с опухолью мозга была удалена часть зрительной коры.

Сегодня ясно, что слепозрение у больных с корковой слепотой гораздо более распространено, чем считалось ранее

Вначале научное сообщество отнеслось к таким исследованиям с большим скепсисом. Это не удивительно: слепозрение не просто не укладывается в рамки привычных представлений, но даже, на первый взгляд, противоречит здравому смыслу. В самом деле, как может человек что-то видеть и об этом не знать? Это кажется таким же бессмысленным, как, например, утверждение: «Я не знаю, что мне больно».

Однако мы не всегда осознаем то, что видим — или, напротив, когда что-то не видим. Смотреть и видеть — вещи разные, и соотношение между ними совсем не такое простое. Приведем хотя бы такой очевидный пример: у каждого человека в сетчатке есть так называемое слепое пятно, однако оно не только не препятствует нашему восприятию мира, но мы даже и не догадываемся о «дырке» в нашем поле зрения.

Второй причиной прохладного отношения к исследованиям слепозрения был недостаточный объем данных. Больные с «чистой» корковой слепотой встречаются крайне редко: у взрослых протяженность первичной зрительной коры составляет лишь несколько сантиметров, и любые поражения затрагивают соседние участки, следовательно, и другие мозговые функции. Разумеется, это существенно затрудняет интерпретацию данных о том, что именно продолжает воспринимать мозг. Тем не менее стало понятно, что у многих больных с корковой слепотой действительно сохраняется «остаточное зрение», и первоначальный скептицизм начал ослабевать.

У многих больных первичная зрительная кора повреждается лишь частично — например, когда в ней формируется небольшой патологический очаг с ограниченным выпадением поля зрения, или же когда полностью поражается зрительная кора слева или справа с полным выпадением противоположной половины поля зрения. В таких случаях слепозрение исследуют путем показа предметов

или изображений в пораженной зоне.

При обычных методах исследования зрения испытуемых просят сообщить, что они видят. Разумеется, при предъявлении объекта в зоне выпадения поля зрения больные говорят, что не видят ничего. Однако при использовании менее прямых методов было обнаружено, что неосознаваемые зрительные раздражители влияют на ответы испытуемых либо вызывают определенные реакции.

В некоторых опытах помещение зрительных раздражителей в «слепую зону» сопровождалось физиологическими реакциями — например, сужением зрачков. В других исследованиях реакции испытуемых на объекты в неповрежденной зоне зависели от того, какие предметы одновременно оказывались в зоне выпадения. Наконец, больные почти безошибочно выбирали из нескольких объектов тот, который был предъявлен в «слепой зоне».

Важнейшим методом исследования мозга в последнее время стала нейровизуализация. С ее помощью можно прямо увидеть, какие участки мозга и нервные пути активируются при слепозрении. Так были окончательно отмечены старые поражения, согласно которым «остаточное зрение» было обусловлено неполным поражением зрительной коры.

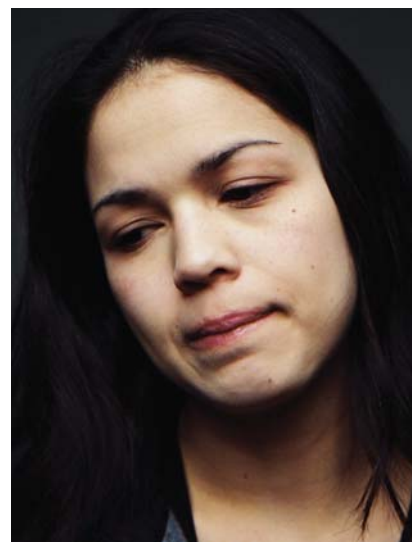
Полученные сегодня данные говорят о том, что у человека возможно неосознаваемое восприятие широкого спектра зрительных характеристик — цвета, простейших форм (типа X и O), простых движений, рисунка сетки и направлений линий. Крупные объекты и мелкие детали, видимо, распознаются хуже. Так, лучше всего узнают особенности сетки, если размеры проекции ее линий на сетчатку такие же, как при разглядывании жалюзи с расстояния 1,5–4,5 м.

К изучению передвижений TN в загроможденном коридоре нас подтолкнули опыты Вейскранца и Хэмфри, поставленные в 1970-х гг.

ЧТО ВИДЯТ СЛЕПОЗРЯЧИЕ?

Слепозрение наиболее выражено в отношении объектов, размер изображения которых на сетчатке такой, как при разглядывании предмета в 20–25 см с расстояния 1,5–4,5 м. С помощью слепозрения распознаются такие зрительные характеристики, как:

- простейшие формы;
- рисунок сетки;
- появление и исчезновение предметов;
- движение;
- цвет;
- направления линий



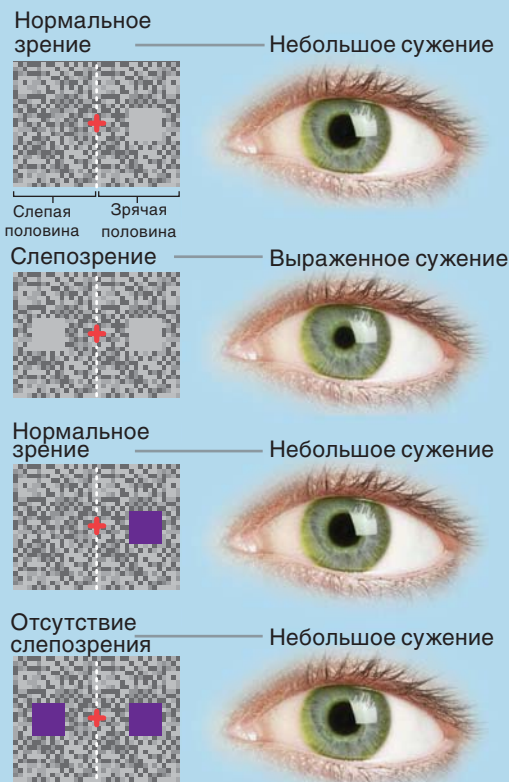
▲ СЛЕПОЗРЯЧИЕ могут распознавать на изображениях лиц эмоции, но не пол и не конкретного человека

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛЕПОЗРЕНИЯ

Поскольку полная корковая слепота (как у *TN*) встречается крайне редко, слепозрение часто исследуют у больных с односторонним выпадением поля зрения. Испытуемый фиксирует взор на некоей точке, а изображения помещают то в левую, то в правую половину поля зрения. При этом его просят «предположить», какой предмет показан в слепой половине, либо нажать кнопку, когда он увидит его изображение в зрячей половине. Одновременно можно регистрировать активность мозга и такие произвольные реакции, как сокращения мимических мышц или расширение зрачков

▼ РАСПОЗНАЮТ ЛИ СЛЕПОЗРЯЧИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ?

Когда испытуемым показывают в слепой половине поля зрения изображения лиц или поз, выражающих эмоции, в большинстве случаев эти эмоции распознаются правильно: мимические мышцы, отвечающие за улыбку и нахмуривание, ведут себя в соответствии с эмоциональным содержанием изображения (*внизу; насколько преувеличено*). Значит, эмоции могут распознаваться без осознанного зрительного восприятия. При предъявлении характерных для той или иной эмоции поз на изображениях людей с затененными лицами реакции были такими же, как при предъявлении лиц — следовательно, речь шла именно о распознавании эмоции, а не о простом копировании мимики



▲ КАКИЕ СТРУКТУРЫ МОЗГА ОТВЕЧАЮТ ЗА СЛЕПОЗРЕНИЕ?

Испытуемым показывали серые и лиловые квадраты. Известно, что к верхним холмикам четверохолмия сигналы от колбочек сетчатки, воспринимающих лиловый цвет, не поступают. Предъявление серых, но не лиловых квадратов в слепой половине поля зрения усиливало сужение зрачков (показатель, по которому судили о слепозрении). Эти данные вместе с результатами нейровизуализации доказывают, что ключевую роль в слепозрении играют верхние холмики

В них обезьяна с удаленной первичной зрительной корой свободно перемещалась в заставленной предметами комнате, ни на что не наталкиваясь. Тем не менее способность *TN* обходить предметы нас поразила. Специально подобранные психофизиологические тесты показали полное отсутствие сознательного зрительного восприятия, в том числе в отношении крупных объектов.

Передвижения *TN* в коридоре чем-то напоминали снохождение («лунатизм»): в частности, в обоих случаях человек совершал какие-то действия, но не осознавал их. Действительно, *TN* утверждал, что просто шел вперед по коридору и не только не видел предметов, но даже не осознавал, что обходит их. Свои действия он не мог ни описать, ни объяснить.

Слепозрение и эмоции

Передвижение — важнейшая составляющая жизни животных, поэтому неудивительно, что мозг способен поддерживать ориентацию в пространстве даже при поражении зрительной коры и выключении сознательного зрительного восприятия. Человек же, будучи существом социальным, столь же сильно зависит от общения с себе подобными. Для него важно узнавать других людей, понимать их жесты, мысли и чувства. Исходя из данных соображений, мы в конце 1990-х гг. приступили к изучению способностей больных с корковой слепотой распознавать эмоциональные мимику и телодвижения.

В 1999 г. мы провели первые пробы с распознаванием выражений

лица. Обычно специалисты в области зрения считают человеческое лицо слишком сложным объектом по сравнению, например, с решеткой или простейшими геометрическими фигурами. Однако именно лица представлялись нам самым естественным и привычным объектом для мозга. Один из наших испытуемых (*GY*) в детстве перенес черепно-мозговую травму с поражением всей первичной зрительной коры слева, и у него на всю жизнь сохранилось полное выпадение правых полей зрения. Оказалось, что он мог надежно распознавать эмоциональное выражение лиц, но оказался истинно слепым в отношении неэмоциональных признаков — таких как пол и принадлежность лица конкретному человеку.

В 2009 г. мы провели опыты по исследованию распознавания слепозрячими эмоций, используя феномен эмоционального заражения — способности подражать выражению чужого лица. Для изучения эмоционального заражения применяют так называемую лицевую электромиографию, при которой с помощью наложенных на кожу лица электродов регистрируют активность мышц, отвечающих за улыбку или нахмуривание. Мы записывали лицевую электромиографию у испытуемых *GY* и *DB* и предъявляли им изображения лиц и поз, выражающих спокойствие, радость или страх.

Все изображения вызывали эмоциональные реакции на лицевой электромиографии — независимо от того, предъявлялись ли они в зрячую или слепую зону поля зрения. Более того, неосознаваемые изображения вызывали более быстрые реакции, чем осознаваемые. Мы измеряли также степень расширения зрачков — показатель эмоциональной активации. Оказалось, что неосознаваемые изображения испуганных лиц и в этом отношении производят больший эффект. Видимо, чем лучше мы осознаем эмоциональные сигналы, тем наша реакция на них слабее и медленнее.

Существует мнение, что эмоциональное заражение обусловлено подсознательным подражанием внешним проявлениям эмоций другого человека, при этом сами переживания данного человека могут быть и не поняты. Однако наши испытуемые реагировали не только на выражения лиц, но и на изображения характерных для разных переживаний поз (на таких изображениях лица были затененными). Следовательно, речь шла именно о восприятии эмоций.

Все мы немножко слепозрячие

Поскольку изолированные поражения первичной зрительной коры встречаются крайне редко, были разработаны методы искусственного воспроизведения слепозрения

у здоровых людей. В одном из них используются подпороговые зрительные раздражители: испытуемому предъявляется быстро мелькающий объект и сразу после него — некий простой «маскирующий» рисунок. Такой рисунок препятствует сознательному восприятию подпорогового раздражителя: испытуемый считает, что ничего не видел, но специальные методы исследования позволяют убедиться в том, что подпороговый раздражитель все-таки был воспринят. Существует также способ временного выключения зрительной коры с помощью приложения магнитного поля на затылочную область — так называемая транскраниальная магнитная стимуляция.

Во многих исследованиях было показано, что здоровые испытуемые могут высказывать верные предположения о характере объекта даже при слишком быстром для сознательного восприятия мелькании или на фоне транскраниальной магнитной стимуляции затылочной области. Есть много данных и об особенностях реакций зрячих людей на эмоционально значимые, но не осознаваемые раздражители. Еще до первых опытов по изучению слепозрения исследователи и клиницисты высказывали предположения о том, что подкорковые структуры (глубинные образования мозга, эволюционно более древние, чем кора) могут запускать реакции на раздражители раньше, чем они будут проанализированы корой. Видимо, подкорковая система работает одновременно с корковыми чувствительными зонами. Можно полагать, что именно подкорковые центры активируются подпорого-

Чем лучше мы осознаем эмоциональные сигналы, тем наша реакция на них слабее и медленнее

ОБ АВТОРЕ

Беатрис де Гелдер (Beatrice de Gelder) — профессор когнитивной нейронауки и директор Лаборатории когнитивной и аффективной нейронауки в Университете Тилбурга (Голландия), сотрудник Центра биомедицинской визуализации им. Мартиноса в Чарлстауне (Бостон, Массачусетс). Исследования де Гелдер посвящены нейрофизиологическим основам распознавания лиц и эмоций и механизмам взаимодействия когнитивных и эмоциональных процессов в здоровом и больном мозге.

КАРТИРОВАНИЕ НЕРВНЫХ ПУТЕЙ

Для определения нервных путей, ответственных за слепозрение, применяют все более сложные методы нейровизуализации.

Одним из таких методов служит диффузионная магнитно-резонансная томография, основанная на том, что молекулы воды диффундируют вдоль нервных волокон быстрее, чем поперек них.

Диффузионная магнитно-резонансная томография позволила выявить пучки нервных волокон, участвующие в распознавании слепозрячими эмоций. Они соединяют ядра подушки и верхние холмики с миндалевидным телом, играющим ключевую роль в эмоциональном поведении

выми раздражителями и отвечают за восприятие эмоциогенных раздражителей у слепых.

Вопрос о том, насколько данные по зрительному реагированию при временном выключении зрительной коры можно переносить на слепозрение у больных с постоянными корковыми поражениями, остается спорным. В частности, при предъявлении подпороговых раздражителей с последующим маскирующим рисунком кора сначала обрабатывает раздражитель в обычном порядке, но затем возникает помеха для его сознательного восприятия. Отсюда становится ясно, что подсознательное реагирование на подпороговые раздражители может существенно отличаться от слепозрения у больных с поражениями мозга и обеспечиваться другими мозговыми структурами. Транскраниальная магнитная стимуляция, видимо, более точно воспроизводит поражения зрительной коры, но для уверенности в том, что возникающее при этом слепозрение обусловлено теми же структурами, что и у больных, нужны дополнительные исследования с сочетанием транскраниальной магнитной стимуляции и нейровизуализации.

Наконец, даже у взрослого человека после травмы может происходить компенсаторная перестройка мозга. В результате такой пластичности могут возникать новые нервные контуры, обеспечивающие слепозрение. Понятно, что у здоровых людей при транскраниальной магнитной стимуляции или предъявлении подпороговых стимулов таких контуров нет. До тех пор пока все эти вопросы остаются открытыми, основным методом изучения роли подкорковых структур в слепозрении останутся наблюдения за больными с очаговыми поражениями мозга.

Нервные центры

Окончательных данных о том, какие центры могут отвечать за слепозрение при корковой слепоте, пока нет, однако наиболее вероятным кандидатом можно считать

верхние холмики (ВХ) четверохолмия — подкоркового образования, входящего в состав так называемого среднего мозга. У млекопитающих (например, птиц и рыб) ВХ служат главным центром восприятия зрительной информации. У млекопитающих данную функцию берет на себя кора головного мозга, однако ВХ продолжают управлять движениями глаз и другими процессами, связанными со зрением. Возможно, у слепозрячих активируются именно пути, идущие от сетчатки к ВХ и не доходящие до первичной зрительной коры.

В прошлом году мы с моими сотрудниками показали, что ВХ играют ключевую роль в неосознаваемых реакциях на зрительные сигналы. Испытуемого просили нажимать на кнопку каждый раз, когда в зрячей половине поля зрения появлялся квадрат. В некоторых случаях квадрат одновременно предъявляли и в слепую половину поля зрения, причем в одних пробах он был серым, а в других — лиловым. При этом был подобран такой оттенок лилового, который воспринимается только одним типом светочувствительных клеток (колбочек) сетчатки, причем сигналы от этих клеток в ВХ не поступают: по отношению к лиловому цвету ВХ «слепы».

Предъявление серого квадрата в слепую половину поля зрения ускоряло и усиливало сужение зрачков (показатель, по которому судили о реакции на раздражитель). Лиловый квадрат никакого эффекта не оказывал. Иными словами, у испытуемого было выявлено слепозрение в отношении серого, но не лилового цвета. Визуализация мозга показала, что ВХ активируются в ответ на предъявление в слепую половину поля зрения только серого квадрата. Предполагалось, что в слепозрении играют роль и другие отделы среднего мозга, однако в наших опытах достоверного изменения их активности не наблюдалось.

Таким образом, ВХ выполняют роль связующего звена между обра-

боткой чувствительной информации (зрением) и двигательными командами (реакциями испытуемого), обеспечивая поведенческие реакции на зрительные раздражители, не связанные с вовлечением коры головного мозга и потому не осознаваемые. Слепозрение в отношении эмоциогенных стимулов также требует участия ВХ (и ряда других структур, в частности периакведуктального серого вещества).

Слепозрение заставило поднять целый ряд философских вопросов. Сама мысль о том, что можно что-то видеть и не знать об этом, казалась парадоксальной. На самом деле данный парадокс существует только потому, что «видеть» всегда приравнивается к «осознавать увиденное». Именно такие психологические установки препятствовали признанию слепозрения научным сообществом и прогрессу в понимании роли подсознательного восприятия в психике человека.

Возможно, жесткие установки в отношении зрительного восприятия наносят ущерб не только науке, но и больным с корковой слепотой, препятствуя развитию возможностей «остаточного зрения» и их применению в повседневной жизни. *TN* считает себя слепым и на всю жизнь останется полностью зависимым от своей тросточки, если только не осознает, что можно видеть, не зная об этом. Слепозрение можно развивать: через три месяца ежедневных упражнений больные с корковой слепотой начинали лучше распознавать объекты, предъявленные в слепой зоне поля зрения. А нельзя ли путем регулярных тренировок в реальных условиях добиться улучшения ориентировки в пространстве у слепых? Этот вопрос, как и многие другие загадочные стороны слепозрения, ждет дальнейших исследований. ■

Перевод: Н.Н. Алипов

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- **Unseen Facial and Bodily Expressions Trigger Fast Emotional Reactions.** Marco Tamietto et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 106, No. 42, pages 17661–17666; October 20, 2009.
- **Collicular Vision Guides Nonconscious Behavior.** Marco Tamietto et al. in *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 22, No. 5, pages 888–902; May 2010.
- **Affective Blindsight.** Beatrice de Gelder and Marco Tamietto in *Scholarpedia*, Vol. 2, No. 10, page 3555; 2007. Доступно онлайн по адресу: www.scholarpedia.org/article/Affective_blindsight
- **Helen, a Blind Monkey Who Sees Everything.** Video from 1971. Доступно онлайн по адресу: bit.ly/blindsightmonkey

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN

В мире науки

www.sciam.ru

Подробности по телефонам:
544-41-61 и 727-35-30



ЛУЧШИЕ МАТЕРИАЛЫ ЖУРНАЛА «В МИРЕ НАУКИ»
О ТАЙНАХ МОЗГА И СОЗНАНИЯ —
ТЕПЕРЬ НА CD-ДИСКАХ

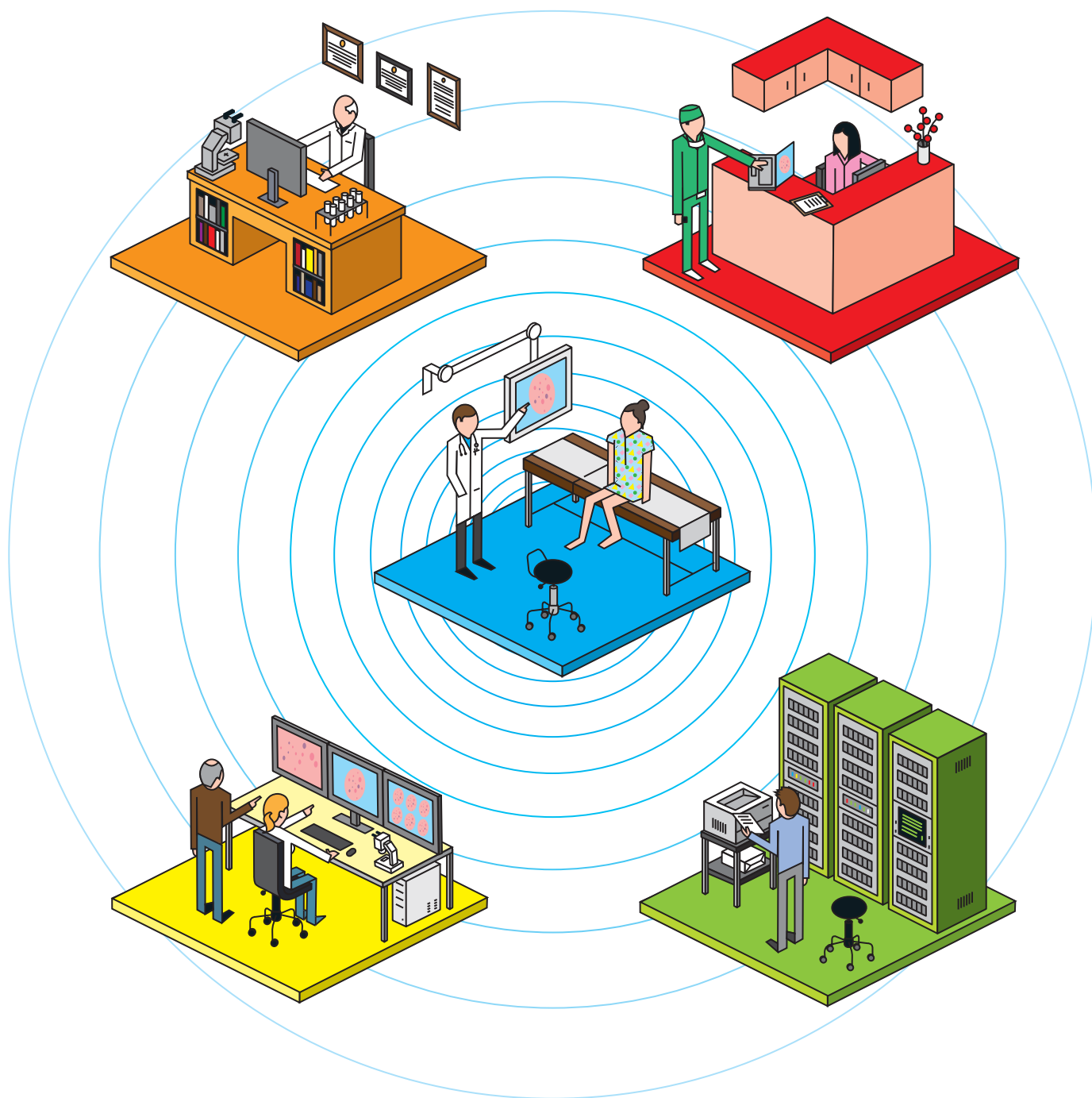
SCIENTIFIC AMERICAN
в мире науки

МОЗГ И СОЗНАНИЕ

АЛЬМАНАХ

Нейробиология
Структуры и функции
Психология
Наука о человеке





ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ препаратов образцов
тканей облегчит постановку диагнозов
и преобразует патологию, одну из
немногих аналитических профессий,
отстающих в деле полномасштабного
внедрения методов информатики

Майк Мэй

БОЛЕЗНЬ под лупой

Цифровые изображения срезов тканей позволят врачам ставить диагнозы быстрее и точнее

Э то произошло в конце 1990-х гг. Дирк Сенксен (Dirk G. Soenksen) наблюдал за игрой в *Nintendo* своих детей, которые использовали монитор высокого разрешения. Вдруг внезапная догадка озарила доктора, позволив ему заглянуть в светлое будущее патологии. «А почему бы и микроскопистам не воспользоваться монитором?» — подумал Сенксен.

Через полтора года упорного труда Сенксен возглавил новую компанию *Aperio*, занимающуюся применением компьютерных методов в патологии. Кроме простой оцифровки изображений больных тканей его технология (как и технологии других новых и даже устоявшихся компаний, работающих в области здравоохранения) позволит сделать анатомическую патологию, включающую в себя интерпретацию образцов, взятых при биопсии (биоптатов), гораздо более количественной. Это повысит точность при диагностике заболеваний и поможет врачам отслеживать эффективность лечения, позволяя быстро корректировать курс лечения.

Большинство патологов так или иначе пользуются компьютерами, хотя бы для внесения записей в истории болезней. На их столах рядом с монитором компьютера грозятся кипы бумаг. Однако изу-

чать препараты в форме цифровых файлов обычно способны только патологи-исследователи. В основном специалисты по патологии не имеют возможности создавать или получать цифровые изображения срезов тканей. Анализ таких изображений одобрен Управлением по контролю над качеством пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA) только для немногих областей медицины, связанных исключительно с раком молочной железы.

Пока что сотни миллионов получаемых ежегодно патологических препаратов обрабатываются так же, как и сто лет назад. Образец ткани разрезается на слои не толще бумажного листа, а особенности ткани выявляются на срезе методом окрашивания. После этого патолог помещает препарат под микроскоп. В частности, в случае исследования материалов биопсии на рак грудной железы, патолог анализирует определенные особенности ткани, в том числе число аномальных клеток в срезе и степень злокачественности опухоли, оценивая последнюю по таким особенностям, как структура клеток. «Сегодня это делается под микроскопом, на глаз, путем рассматривания каждой маленькой точки», — говорит руководитель ка-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Перестройка в патологии, в которой препараты срезов тканей до сих пор обрабатываются так же, как и сто с лишним лет назад, очень запоздала.
- Новые методы помогают по-новому работать с цифровыми изображениями препаратов биоптатов.
- Со временем цифровая патология позволит точнее анализировать срезы тканей как в онкологических, так и в криминалистических лабораториях.

ПАТОЛОГИ все еще работают с препаратами потенциально больных тканей так же, как делали это в прошлом. Несколько специалистов поочередно рассматривают препарат под микроскопом и высказывают свои мнения. Цифровые методы позволят немедленно раздать изображения препарата, чтобы ряд специалистов мог изучать их одновременно, что ускорит диагностику

Традиционная подготовка препарата
Образец ткани разделяется на срезы, которые окрашиваются

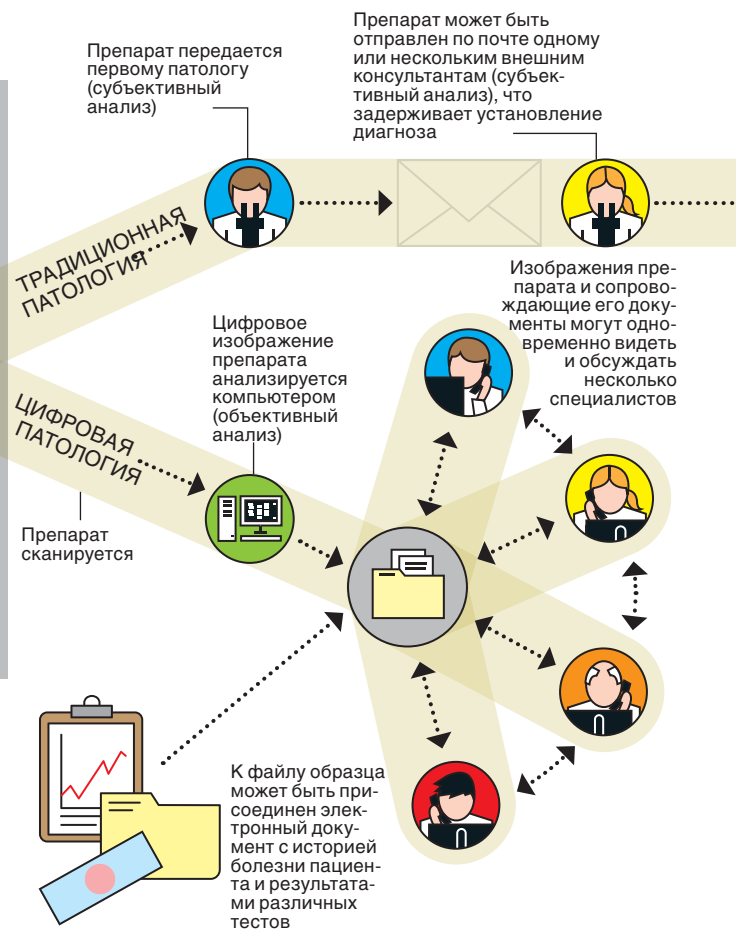
федры патологии Питтсбургского университета Джордж Михалопулос (George K. Michalopoulos).

На деле патолог, разумеется, не может рассмотреть каждую точку каждого препарата, но цифровое изображение может быть исследовано более подробно. Компьютер способен проанализировать каждый пиксель изображения, найти и количественно оценить признаки, свидетельствующие о здоровье или болезни: внутреннюю структуру клеток, цвет, текстуру ткани и интенсивность каждого пикселя в каждой клетке. Патолог же, согнувшийся над микроскопом, сможет оценить те же признаки лишь у небольшого числа клеток.

Тем не менее переход на компьютерные методы не устранил патологов из процесса. Напротив, при анализе цифровых изображений в установлении диагноза сможет принять участие большее число специалистов, что позволит избежать врачебных ошибок. Михалопулос говорит, что консультации с коллегами — это «обычная практика в патологии». Однако сегодня, отмечает он, «вы отправляете препарат на предметном стекле по почте, и он попадает к адресату в лучшем случае через два-три дня». Использование компьютерных методов позволяет отправить цифровое изображение ткани по электронной почте или даже, что более вероятно, поместить на защищенный веб-сайт, сделав его доступным специалистам на другом конце света за

считанные секунды. Будь консультации по препаратам столь просты и быстры, патологи могли бы совещаться гораздо более результативно, чем они делают это сегодня. Как указывает Михалопулос, «консультации — единственный способ разрешения сомнений, а специалисты часто расходятся во мнениях. Поэтому приходится отправлять препараты сторонним патологам».

Сочетание более широких возможностей количественного анализа и быстрой передачи изображений для консультаций — главный довод в пользу преобразования изображений патологических препаратов в цифровую форму. Успехи здесь будут зависеть, однако, от решения ряда технических и институциональных проблем, чем и начинают заниматься *Aperio* и другие компании из сферы цифровых технологий.



Одна из ключевых проблем на этом пути — получение цифровых изображений с высоким разрешением. Это не так просто, как кажется. В начале 1990-х гг. некоторые патологи пытались экспериментировать, просто делая снимки цифровой фотокамерой через окуляр микроскопа. Такой способ был неудобен, а главное — не позволял добиться требуемого разрешения.

В современной цифровой патологии препарат на предметном стекле готовится как обычно, но затем помещается в сканер. В сканере микроскопный объектив, играющий, в сущности, роль увеличительного стекла, перемещается над препаратом по заданной программе, а для регистрации изображения используется, например, камера на приборах с зарядовой связью (ПЗС). В цифровой патологии очень боль-



шое значение имеет скорость. Сканер компании *Aperio* дает возможность получить цифровое изображение препарата размером 15 x 15 мм (с почтовую марку) с разрешением 0,5 мкм на пиксель примерно за две минуты.

Суть проблемы в следующем: чтобы обеспечить требуемое разрешение, цифровое изображение препарата должно содержать около 900 млн пикселей. Для сравнения укажем, что цифровая фотография формата 4 x 5 дюйма (10 x 13 см), отсканированная с разрешением 300 точек на дюйм (*dpi*), содержит всего 1,8 млн пикселей, т.е. для цифровой патологии нужно в 500 раз больше пикселей. Для более быстрого получения цифровых изображений патологических препаратов нужна более быстрая электроника сбора и обработки данных. Некоторые сканеры собирают данные от препарата на предметном стекле по квадратным участкам, называемым плитками (*tiles*), а затем программа объединяет информацию по всем плиткам, формируя полное цифровое изображение всего препарата. Другие, в частности прибор компании *Aperio*, сканируют препарат полосами, формируя изображение «на лету».

Однако, как бы ни была высока скорость сканирования, она никогда не будет достаточной. «Мы ежегодно готовим, вероятно, около 1,5 млн препаратов, не считая специального окрашивания и т.п.», — говорит специалист по патологии кожи Джонхан Хо (Jonhan Ho) из Медицинского центра Питтсбургского университета. Для их обработки одному сканеру с производительностью две минуты на образец потребуется 3 млн минут — боль-

Снимок (10 x 15 см)

Препарат
15 x 15 мм

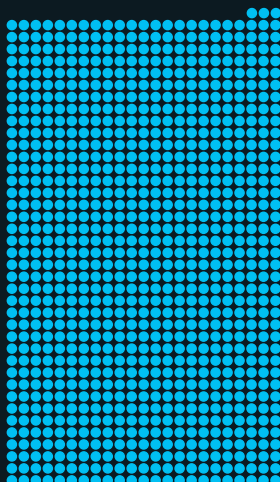
ЧТО ТОРМОЗИТ?

Цифровые технологии стали вездесущими. Так почему же цифровые изображения микроскопических препаратов не использовались десятилетиями? Причина в объеме файлов. Цифровое изображение одного препарата содержит около 900 млн пикселей — примерно в 500 раз больше, чем цифровой фотоснимок формата 10 x 15 см, отсканированный с разрешением 300 точек на дюйм (*dpi*)

Оригинал: фотоснимок 10 x 15 см
Разрешение: 300 *dpi* (стандарт для печати)

Общее число пикселей:
1,8 млн ●●

Оригинал: препарат 15 x 15 мм
Разрешение: 0,5 мкм на пиксель
Общее число пикселей: : 900 млн



ше пяти лет непрерывной круглосуточной работы.

Так ли полезна цифровая техника?

Другой напрашивающийся вопрос таков: может ли патолог, рассматривая изображения, полученные сканером *Aperio* или другими устройствами, на мониторе компьютера, идентифицировать аномалии тканей так же успешно, как при рассматривании стандартных образцов под микроскопом? Дражен Юкич (Drazen M. Jukic) и некоторые его коллеги по Медицинскому центру Питтсбургского университета провели сравнение традиционной патологии и цифровых методов и представили результаты в статье, опубликованной в 2006 г. в журнале *Human Pathology*. Они нашли, что в большинстве случаев цифровые изображения позволяли им диагностировать болезни примерно так же успешно, как и просмотр препаратов под микроскопом.

Однако если цифровые методы патологии лишь сопоставимы по эффективности с традиционными, то в чем же преимущества цифровой патологии? Одно из них — возможность быстро предоставлять цифровые изображения для консультации множеству специалистов в любой точке мира. *Net Image Server* в сочетании, например, с программным обеспечением *OlyVIA* компании *Olympus*, работает примерно так же, как обычная веб-страница. Вместо пересылки цифровых изображений, объем которых может составлять несколько гигабайт (емкость трех компакт-дисков), эта программа создает репозиторий образцов на сайте или сервере.

Когда патолог щелкает мышкой по выбранной «миниатюре», программа компании *Olympus* загружает ему часть полного изображения, достаточную для заполнения окна на его мониторе. Это подобно просмотру выбранной части поверхности Земли с помощью системы *Google Earth*, где пользователь получает такую часть спутникового снимка, которая заполнит его

просмотровое окно. А рассмотреть другие участки снимка пользователь может просто щелкая мышкой и «перетаскивая» изображение. То же самое можно делать с помощью программы *OlyVIA*. Если патолог посылает только части большого файла, другие могут просматривать цифровые изображения тканей, пользуясь цифровой абонентской линией (*DSL*) или кабельным соединением с Интернетом.

Несмотря на то что работа с цифровыми изображениями помогает патологам легче и быстрее взаимодействовать друг с другом, одно лишь это обстоятельство не открывает новых возможностей в медицине. Компьютерный анализ изображений — вот что может стать базой фундаментальных преобразований. *Aperio* и другие компании разработали аналитическое программное обеспечение и работают над созданием его усовершенствованных версий.

В некоторых случаях, например при исследовании изображений тканей раковых опухолей грудной железы, патологи уже могут войти в цифровую эру. Приблизительно четвертая часть таких опухолей характеризуется гиперэкспрессией белка *HER2* — эпидермального фактора роста второго типа. Этот белок можно обнаруживать в тканях молочной железы с помощью специфического окрашивания препарата, которое делает его видимым на срезе ткани.

Обычно патолог рассматривает срез ткани, оценивая интенсивность окрашивания и число окрашенных клеток. Визуальные оценки степени окрашивания (измерения интенсивности) довольно субъективны и у разных специалистов

могут сильно различаться. Цифровое изображение в сочетании с программой, которая измеряет интенсивность каждого пикселя, делает измерения интенсивности количественными, повышая воспроизводимость и надежность результатов анализа.

На сегодня *FDA* разрешило применение технологий компаний *Aperio* и *BioImagene* для анализа цифровых изображений препаратов уровня *HER2* на мониторе компьютера. Однако компании, лидирующие в области цифровых методов патологии, надеются, что внедрение новых технологий продолжится, а сами они будут совершенствоваться. «В будущем, и не очень далеко, компьютер сможет показать нам вещи, которые человеческий глаз не способен увидеть», — сказала Джин Картрайт (*Gene Cartwright*), глава компании *OmniX*, специализирующейся на цифровых методах патологии. В качестве примера она рассмотрела возможность окрашивания препарата сразу несколькими красителями: «Представьте себе, что у вас есть пять красителей, и вы хотели бы оценить их интенсивности на глаз. Дело безнадежное. А для компьютера задача оценки интенсивности нескольких цветов не представляет трудности».

Предстоящие трудности

Несмотря на то что программы для применения в клиниках предлагает ряд компаний, важно, чтобы сами патологи захотели с ними работать. Чтобы заинтересовать их, разработчики сосредоточились на создании «рабочего места» для патологов. На монитор можно было бы вывести цифровое изображение препарата большого образца, иссеченного в ходе хирургической операции, одновременно с данными из истории болезни пациента и результатами ряда других тестов.

«На это уйдет не один год, — говорит Сенксен. — Понадобится интегрировать цифровую информацию о препаратах в информационную систему больничной лаборатории, в радиологическую и другие систе-

мы. Нужно, чтобы интерфейсы всех этих систем позволяли совместно пользоваться всей имеющейся информацией. А устанавливаются эти интерфейсы по одному, и каждый из них — заказная разработка».

Однако, несмотря на все трудности, цифровые методы патологии уже приходят в клиники, хотя пока только в отдельные ниши вроде анализа маркеров рака грудной железы. «Больница могла бы начать с использования цифровых методов патологии примерно для 20% своих образцов, а затем расширять их использование в течение нескольких лет, — говорит Картрайт. — Никто не хочет резкого отказа от обычных методов».

Однако сопротивление переменам будет всегда. «Микроскоп привычен патологам, — отмечает Хо. — Микроскоп — это инструмент, как скальпель или стетоскоп. Это продолжение ваших пальцев, и людям не хочется отказываться от него».

Тем не менее цифровые методы будут шаг за шагом прокладывать себе дорогу в клиническую патологию, а параллельно и в криминалистику. Патологи станут все больше общаться, чаще использовать количественные методы и разрабатывать объективные способы диагностики болезней и оценки эффективности применяемого лечения. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ОБ АВТОРЕ

Майк Мэй (*Mike May*) — внештатный автор, пишущий на научные и технические темы. Живет вблизи Хьюстона.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Digital Pathology Image Analysis: Opportunities and Challenges. Anant Madabhushi in *Imaging in Medicine*, Vol. 1, No. 1, pages 7–10; October 2009. Доступно на www.futuremedicine.com/doi/abs/10.2217/iim.09.9

■ Digitizing Pathology. Jeffrey M. Perkel in *Bioscience Technology*, Vol. 34, No. 2, pages 8–12; February 23, 2010. Доступно на www.biosciencetechnology.com/Articles/2010/02/Imaging-Digitizing-Pathology



Мэтью Стурм

арктические и ГЛОБАЛЬНОЕ

Повышение температуры окружающей среды сказывается не только на состоянии ледников, но и на благополучии тундры и таежных лесов, которые в одних местах

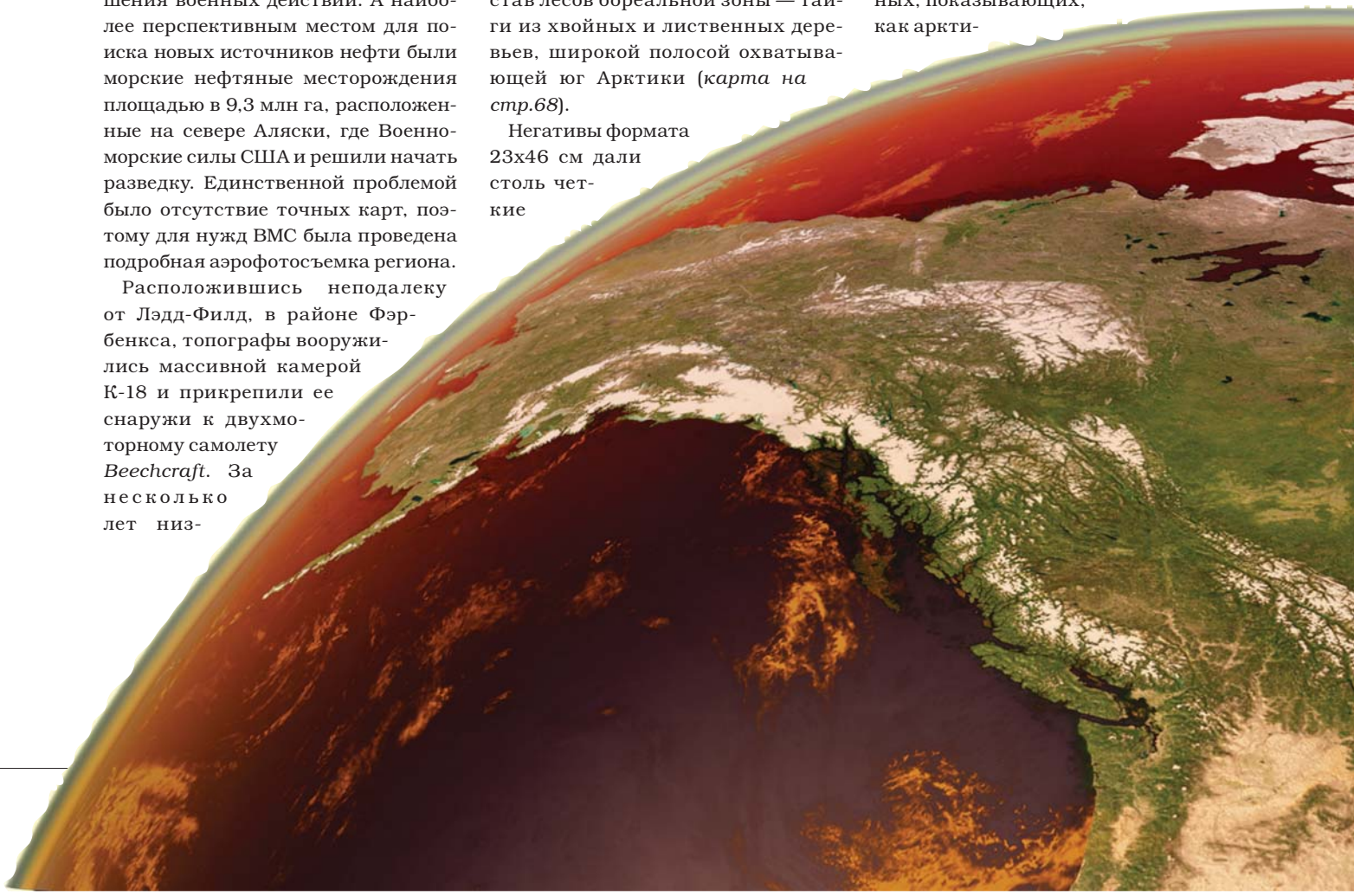
Шел 1944 г. Близилось окончание Второй мировой войны. Тем не менее союзники, ожидая, что японцы будут сражаться до последнего, всерьез задумывались над вопросом топлива, которого могло не хватить для завершения военных действий. А наиболее перспективным местом для поиска новых источников нефти были морские нефтяные месторождения площадью в 9,3 млн га, расположенные на севере Аляски, где Военно-морские силы США и решили начать разведку. Единственной проблемой было отсутствие точных карт, поэтому для нужд ВМС была проведена подробная аэрофотосъемка региона.

Расположившись неподалеку от Лэдд-Филд, в районе Фэрбенкса, топографы вооружились массивной камерой K-18 и прикрепили ее снаружи к двухмоторному самолету *Beechcraft*. За несколько лет низ-

ких и медленных полетов над районом они сделали тысячи фотографий Аляски в округе Норт-Слоуп, от Северного Ледовитого океана до хребта Брукс на юге, захватив лесные долины на южной стороне территории, которые входят в состав лесов бореальной зоны — тайги из хвойных и лиственных деревьев, широкой полосой охватывающей юг Арктики (карта на стр.68).

Негативы формата 23x46 см дали столь четкие

фотографии, что были видны даже следы копыт лося. Некоторые кадры были достойны руки известного фотографа Энсела Адамса (Ansel Adams), но, что важнее, полный набор снимков представлял собой принципиально важную часть данных, показывающих, как аркти-



растения ПОТЕПЛЕНИЕ

начинают активно зеленеть и расти, а в других — высыхают. И те изменения, которые уже произошли, играют роль катализаторов дальнейшего процесса

ческие и субарктические территории реагировали на климатические изменения.

Это ключевой вопрос, потому что ответ на него поможет местным жителям разработать правильные меры, чтобы справиться с наступающими изме-

нениями. В арктической зоне обитает приблизительно 4 млн человек, и изменения климата отражаются на всех аспектах их жизни — как на охоте и коммерческой заготовке леса, так и на состоянии транспортных путей и всей инфраструктуры в целом. Более того, неожиданно быстрые изменения растительного покрова могут иметь глобальные последствия. Например, существует вероятность, что эти изменения усугубят оттаивание вечной

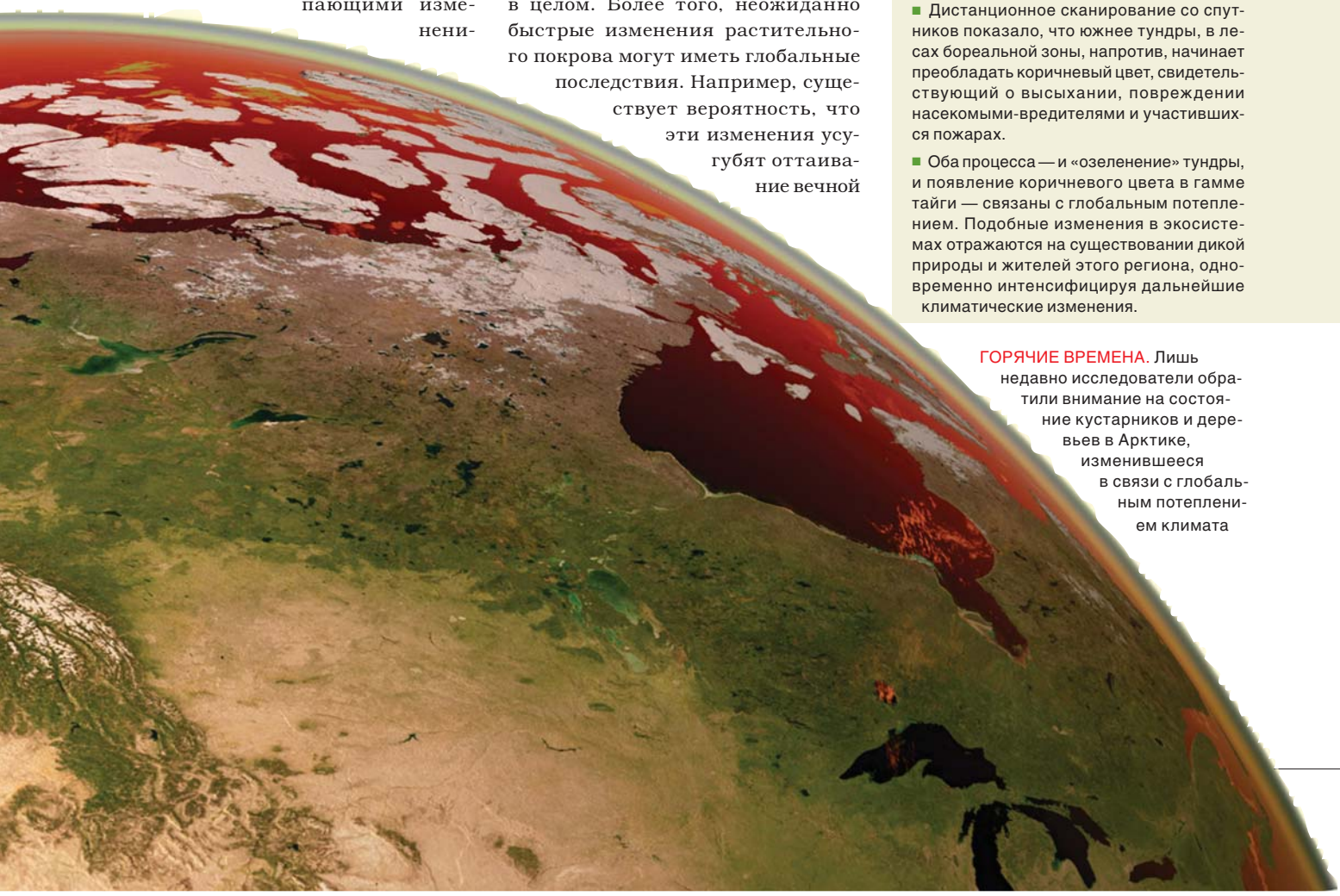
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

■ В 1940 г. в связи с разведкой нефтяных месторождений была произведена подробная аэрофотосъемка северной Аляски, благодаря чему у нас есть данные о том, что арктическая тундра с тех пор сильно заросла кустарником, и в ее гамме стал более выражен зеленый цвет.

■ Дистанционное сканирование со спутников показало, что южнее тундры, в лесах бореальной зоны, напротив, начинает преобладать коричневый цвет, свидетельствующий о высыхании, повреждении насекомыми-вредителями и участившихся пожарах.

■ Оба процесса — и «озеленение» тундры, и появление коричневого цвета в гамме тайги — связаны с глобальным потеплением. Подобные изменения в экосистемах отражаются на существовании дикой природы и жителей этого региона, одновременно интенсифицируя дальнейшие климатические изменения.

ГОРЯЧИЕ ВРЕМЕНА. Лишь недавно исследователи обратили внимание на состояние кустарников и деревьев в Арктике, изменившееся в связи с глобальным потеплением климата



ШЕСТЬДЕСЯТ ЛЕТ НАЗАД

Совершенно неожиданно проект времен Второй мировой войны помог задокументировать произошедшие в настоящее время изменения флоры в Арктике. В самом конце войны правительство США, обеспокоенное ситуацией с запасами нефти, приняло решение произвести разведку месторождений в районе Норт-Слоуп (заштрихованная область на карте). Однако точных карт данной местности не было. Поэтому Военно-морские силы США организовали подробную аэрофотосъемку этого региона. Двухмоторный *Beechcraft* (внизу слева), оснащенный огромной камерой K-18 (внизу справа), выдающей снимки большого формата, летал на малой скорости и минимальной высоте, сделав тысячи высококачественных снимков. Когда десятилетия спустя автор наткнулся на эти фотографии, его поразила точность и красота этих кадров (пример снимка приведен внизу страницы). Но еще больше он был ошеломлен научной ценностью материала: вместе с коллегами он переснял те же участки тундры и сравнил изображения, зафиксировав с помощью фотографий изменения растительного покрова



мерзлоты, в результате чего из торфяников, которые ранее были скованы льдом, может высвободиться углерод (в форме диоксида углерода или метана) что, в свою очередь, способно вызвать значительное потепление климата.

Как оценить изменение окраски тундры

Даже до появления на обложке журнала *Time* в 2006 г. фото белого медведя, сидящего на крошечной льдине, было ясно, что льды Северного Ледовитого океана быстро тают. С 90-х гг. прошлого века ученые, занимающиеся изучением климатических изменений в Арктике, видели достаточно, чтобы задуматься относительно смены растительности в данном регионе, но существующие методы отслеживания изменений на поверхности суши были не столь эффективны, как те, что помогали контролировать состояние морских льдов. Белый морской лед резко контрастирует по цвету с темной водой океана, что делает

границы льдов и воды различимыми со спутника или самолета и позволяет регистрировать их изменения. В отличие от моря, климатические изменения на суше — в тундре (безлесной зоне, подпочвенный слой которой вечно заморожен) или лесах — визуально не столь заметны, т.к. зачастую проявляются лишь в смене видового состава растительности, присущей данному региону, лишь изредка приводя к резкому переходу от одного типа экосистемы к другому. Изменения растительного покрова происходят медленно и могут занять не одно десятилетие, прежде чем станут видимыми.

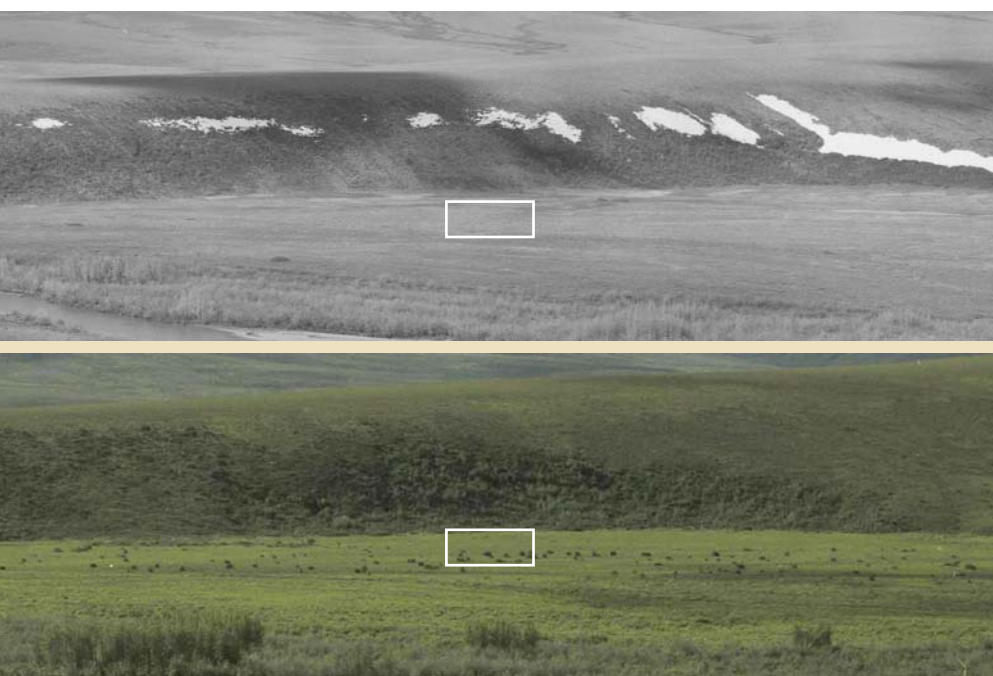
Однако теперь мы получили четкие представления, какого типа изменения стоит искать. Эксперименты с тундровой растительностью в оранжерее показали, что удобрения и нехарактерное прогревание почвы могут привести к интенсивному росту кустарников с одновременным сокращением числа видов исконной тундровой флоры, таких как осоки и мхи. Например, кар-

ликовые березы, которые ранее доставали человеку лишь до колена, за несколько лет достигли высоты в человеческий рост. Основываясь на этих данных, мы предположили, что в тундре глобальное потепление проявится в виде увеличения объема биомассы, возможно, взрывообразного — преимущественно за счет роста количества и высоты кустарников.

Дальше к югу, в зоне лесов boreальной зоны, за несколько веков



JEAN-FRANÇOIS PODEVIN AND NASA (preceding pages); JESSICA HUPPI (map); AP PHOTO (airplane); COURTESY OF NATIONAL MUSEUM OF THE U.S. AIR FORCE (camera)



Сравнение фотографий Аляски в районе Норт-Слоуп, сделанных в одно и то же время года в одном и том же месте в 1940-е гг. и в настоящее время, дало неопровержимые данные о более интенсивном росте растений. Цветной снимок 2002 г. запечатлел «ударные группы» кустарников высотой в рост человека, которые пересекают плоский участок тундры, на котором раньше их не было

зают карликовые кустарники. Затем даже мхи и лишайники уступают место участкам голой почвы, называемым полярной пустыней. Если же двигаться к югу, то сперва тундра начнет покрываться отдельными стоящими елями, затем превратится в лоскутное одеяло из участков леса и тундры, после чего полностью уступит место лесу бореальной зоны, или тайге. Переход от тундры к тайге может быть как резким, так и плавным, растянутым на десятки километров. На Аляске граница между тундрой и тайгой по большей части совпадает с южной границей хребта Брукс.

Чтобы получить необходимые нам современные дубликаты фотографий, мы облетели этот район на вертолете с открытыми дверцами, вооружившись копиями старых фото. Найдя похожий участок, мы начинали кружить, выбирая наиболее сходный ракурс, после чего обнаруживали, что зависли на высоте всего лишь 15 м над землей,

что вызвало у нас дополнительное уважение к нашим предшественникам времен Второй Мировой войны с их допотопными самолетами. Действуя аккуратно, мы смогли достичь почти полного совпадения. За четыре лета мы пересняли около 200 участков. По вечерам мы сравнивали новые фотографии с архивными, оценивая произошедшие изменения.

Снимок за снимком, мы просмотрели отснятое и обнаружили, что все отдельно стоящие кустарники стали значительно больше, чем 50 лет назад (да, все они по-прежнему живы и вполне узнаваемы!). Группы кустарников стали более плотными, они распространились на окружающую их тундру, где ранее встречались лишь не обнаруживаемые с воздуха кустики высотой ниже 50 см. Ивы, береза и ольха — «большая тройка» карликовых зарослей тундры — заняли большую площадь и заметно выросли в высоту. Большое

впечатление на нас произвел один из способов расселения карликовых зарослей, который мы назвали «ударными группировками»: сначала кустарники колонизировали старые речные русла и впадины, а затем за прошедшие несколько десятилетий заняли гектары территорий, ранее полностью свободных от карликовых кустарников.

Реальность произошедших изменений стала еще более очевидной, когда мы проверили сделанные фотографии «выходом в поле». Карликовые березы, появившиеся на наших новых фото в виде маленьких темных кругов, оказались кустами высотой в рост человека. Часто они были окружены зарослями более низких деревьев, которые, по-видимому, процветали под защитой своих крупных сородичей, укрытые от сильного ветра и секущего снега. В некоторых местах ветви кустарников были столь тонкими и гибкими, что переплетались между собой и образовывали непроходимые заросли.

На исходе второго лета, после того как мы прорубили свой путь через дюжины таких кустарниковых зарослей, мы ввели термин «чащобная Арктика», чтобы отразить то, что произошло с ландшафтом. В целом с помощью фотографий мы задокументировали, что кустарниковые заросли распространились по всей территории северной Аляски, заняв более чем 200 тыс. кв. км суммарной площади.

Оставался вопрос, что же произошло с тундрой за пределами Аляски и в более южных областях, занятых тайгой? Чтобы ответить на эти вопросы, мои коллеги Скотт Гетц (Scott Goetz), Даг Стоу (Doug Stow), Скип Уокер (Skip Walker), Генсуо Джия (Gensuo Jia) и Дэйв Вербила (Dave Verbyla) использовали радиометрические приборы с метеорологических спутников Национального управления по исследованию океанов и атмосферы, которые позволяют определить степень произошедших изменений как на Аляске, так и в других регионах. Подсчитав на компьютере индекс, на-

COURTESY OF U.S. NAVY (top landscape comparison); COURTESY OF KEN TAPE (bottom landscape comparison and scrub halo); COURTESY OF GASUS R. SHAVER Marine Biological Laboratory (greenhouse structure)

зывается *NDVI* (от англ. *normalized difference vegetation index*, нормализованный разностный вегетационный индекс), вычисляемый на основании анализа отражения в красной части спектра и в ближней области инфракрасного диапазона спектра, они обнаружили, что присутствие зеленого цвета в растительном покрове тундры возросло. Зеленый цвет тундры коррелирует с количеством биомассы и активностью новообразования, поэтому исследователи интерпретировали полученные результаты как распространение кустарникового компонента тундры.

Возрастание *NDVI* было наиболее заметным для арктической Аляски, западной Канады и Сибири, но присутствовало, хоть и в меньшей степени, как в Скандинавии, так и в других частях Арктики.

Сходные результаты получили другие наши коллеги: Брюс Форбс (Bruce Forbes) — в России, Грег Хенри (Greg Henry) — на Канадском Арктическом архипелаге и Пол Гроган (Paul Grogan) — в центральной части арктической Канады; в своих «наземных» исследованиях они опирались на воспоминания корен-

ных жителей Арктики на Аляске, в Канаде и в России и получили дополнительные данные в поддержку гипотезы, что в настоящее время протекает процесс панарктического роста кустарников.

Тщательное сравнение наиболее свежих спутниковых снимков тундровой растительности с нашими основанными на фотографиях картами изменений ареала кустарников дало еще одну дополнительную деталь: *NDVI* растет не только в тех тундровых областях, где снимки показывают появление более крупных кустарников, но также и там, где обнаруживаются лишь карликовые кустарники (на фото внизу показан *лимит распознавания*).

Таким образом, мы можем сказать, что карликовые кустарники, в норме растущие между кочками, вездесущи и пластичны: при улучшении условий среды они могут переходить в другую ростовую форму, достигая ощутимого размера, и присутствие мини-кустарников почти по всей территории тундры обуславливает способность ее флоры быстро реагировать на потепление.

Подобный феномен нельзя считать беспрецедентным. Сохранив-

шаяся с древних времен пыльца, обнаруженная в донных отложениях, демонстрирует резкое увеличение количества кустарниковой пыльцы около 8 тыс. лет назад. Этот факт неформально назван «березовым взрывом» и позволяет датировать начало того периода, когда карликовые кустарники резко распространились по тундровому ландшафту.

Лесные сюрпризы

Еще более резкие изменения в растительности отразили снимки со спутника в большинстве лесов бо-реальной зоны южнее тундры. Исследования подтвердили, что северная граница лесов продолжала смещаться все дальше на север и вверх по склонам гор, но в то же время во многих местах позади этого фронта продвижения спутники отметили начало развития противоположного процесса: снижения количества биомассы. В то время как тундра начала все больше зеленеть, цвет лесов стал меняться, приобретая коричневый оттенок, что свидетельствует о высыхании и гибели деревьев. Эти данные противоречат общепринятому мнению о благоприятном влиянии

ПРИ АНАЛИЗЕ ФОТОГРАФИЙ было выявлено, что тундра все больше зарастает кустарниками, что подтвердилось наблюдениями и экспериментами. В парниках, которые удерживают тепло и искусственно нагревают почву (на фото внизу парниковая пленка уже снята), кусты достигают роста человека, тогда как в обычных условиях они вырастают лишь до уровня колена. Благодаря наблюдениям в природе был зафиксирован так называемый гало-эффект (фото справа), когда мелкие кустарники образуют концентрические круги (на рисунке помечено линиями) вокруг своих более крупных сородичей, т.к. последние защищают их от неблагоприятных воздействий и стимулируют рост. Это приводит к еще более интенсивному зарастанию тундры карликовыми кустарниками



СЕЗОНЫ БОЛЬШИХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ на Аляске сейчас случаются все чаще, причем интенсивность их возрастает. Пожары и насекомые-вредители приводят к тому, что зеленый ранее лес оказывается в угнетенном состоянии и приобретает коричневый оттенок. Кустарники покрывают выгоревшие участки, приводя к быстрому росту биомассы, ветвясь и увеличивая вероятность возникновения пожара в будущем



потепления климата на состояние леса.

Около десяти лет назад Гленн Джудэй (Glenn Juday) и Мартин Уилмкинг (Martin Wilmsking), тогда работавшие в Университете Аляски в Фэрбенксе, начали собирать образцы древесных спилов с годовыми кольцами в лесах вокруг Фэрбенкса и южнее хребта Брукс. Эти данные помогли распутать очевидное противоречие. Вместо привычной положительной корреляции — высокие температуры летом приводят к более интенсивному росту и формированию более широких годовых колец — они начали обнаруживать участки леса, в которых высокие температуры привели к формированию более узких годовых колец и более медленному росту деревьев. На западе Аляски, где было влажнее, они обнаружили сохранение действенности прежнего правила, в соответствии с которым де-

ревья растут тем интенсивнее, чем климат теплее. Но по мере продвижения на восток, вглубь более сухих территорий, ученые столкнулись с уменьшением ширины годовых колец и зафиксировали угнетенное состояние деревьев, из-за которого отдельные древесные группы оказались на грани гибели. Более теплые летние сезоны одновременно стали слишком сухими.

Два других специалиста, дендрохронологи Энди Ллойд (Andi Lloyd) из Колледжа Мидлбери и Энди Банн (Andy Bunn) из Университета Западного Вашингтона, на основании анализа годовых колец всех имеющихся спилов таежных деревьев подтвердили, что наблюдаемое угнетенное состояние деревьев и появление заметного коричневого оттенка в гамме лесов бореальной зоны — панарктический феномен. Наиболее явно это происходит у ка-надской ели, но в той или иной сте-

пени касается всех видов деревьев, растущих в тайге. Все причины замедления роста и ухудшения состояния деревьев до конца не выявлены, но два основных фактора на данный момент очевидны: засуха в сочетании с повышением температуры приводит к угнетению роста лесов, именно поэтому наиболее явное изменение цветовой гаммы тайги наблюдается в южной части ареала каждого вида, в зонах с сухим континентальным климатом.

Помимо этого, столь же разрушительное действие на лес оказывали и другие два фактора, также связанные с потеплением климата. Речь идет о вспышках размножения насекомых-вредителей и учащении лесных пожаров, равно как и увеличении масштабов этого бедствия. На Аляске сезон крупных лесных пожаров теперь случается примерно каждые пять лет, в то время как раньше интервал составлял десять лет; нашествие паразитов (таких, например, как малый еловый лубоед, который в настоящий момент уже опустошил более чем 500 тыс. га территории девственного леса на Аляске) становятся все интенсивнее.

Предсказать будущее не просто

Изменения, происходящие в тундре и таежных лесах, симметричны. Тайга вторглась на территорию южных рубежей аляскинской тундры (приблизительно на 11,6 тыс. кв. км за 50 лет), и одновременно южные границы лесов высыхают, сгорают и подвергаются атакам насекомых. Джудэй с коллегами предположили, что результатом этого процесса станет полный переход от леса к травянистым равнинам. В то же время тундра будет все больше зарастать кустарником и превращаться в непролазные джунгли. Есть ли у природы в запасе переключатель, благодаря которому когда-нибудь в будущем северные леса опять начнут все больше походить на тундру, в то время как сейчас тундра выглядит все более и более лесистой?

Ответ на этот вопрос пока не известен. Все наши поиски упираются в то, что мы плохо представляем себе механизмы, лежащие в основе взаимного влияния тех процессов, которые приводят к изменению растительного покрова, из-за чего наши попытки предсказать результаты и направление этих изменений оказываются тщетными. Даже для ледяного щита Северного Ледовитого океана (который представляет собой простую систему, состоящую лишь из льда и воды, и подчиняется простым физическим законам, которые могут быть изучены на моделях) реальная скорость сокращения площади льдов оказалась более чем в два раза выше предсказанной, несмотря на то что прогноз основывался на данных 13 крупномасштабных моделей, признанных в научном сообществе лучшими. Согласно современным прогнозам, Северный Ледовитый океан в течение 40 лет полностью очистится ото льдов, но подобные предположения — скорее экстраполяция наблюдаемых изменений, нежели результаты, полученные на моделях.

Что касается тундры и таежных лесов, их величайшая биологическая сложность и конкурирующие механизмы обратной связи (одни из которых тормозят, а другие — ускоряют рост растений) приводят к тому, что все существующие модели остаются слишком примитивными для описания этих систем и не способны обеспечить достаточную корректность прогнозов.

В недавней статье наша рабочая группа попыталась изложить свои прогнозы будущих изменений в популяции тундровых кустарников, используя простую модель роста карликовых зарослей и сопоставление ее с фотографиями. Мы ожидали, что начало экспансии карликовых зарослей будет соответствовать периоду быстрого потепления в Арктике, которое началось в 70-х гг. XX в. К нашему удивлению, эта модель показала, что экспансия началась раньше, около 150 лет назад, что соответству-

ет сроку окончания малого ледникового периода. С другой стороны, эта дата совпадает с первым появлением в аляскинском округе Норт-Слоуп американского лося, этого длинноногого поедателя кустарников. Также она совпадает с началом продвижения зоны лесов.

Результаты работы с моделью, в частности, показали, что кустарники медленно наступали в ответ на естественный цикл потепления, который начался задолго до индустриальной революции. Другой ряд данных, однако, указывает на то, что это продвижение началось тогда, но оно продолжается и по сей день и явно становится интенсивнее в результате потепления, вызванного деятельностью человека. В районе разрастания кустарников за последние четыре десятилетия также наблюдалось значительное ускорение таяния ледников, увеличение скорости оттаивания вечной мерзлоты и все более раннее начало весны (что было выявлено на основании дат замерзания и ледохода на реках и озерах) — все это было связано с естественным изменением климата, но ускорилось в связи с деятельностью человека.

К сожалению, нам не удалось и, похоже, уже не удастся найти какие-либо серии фотографий первого десятилетия XX в., которые необходимы нам для выяснения, была ли скорость продвижения кустарников в период с начала по середину XX в. ниже, чем в период с 1950-х гг. по настоящий момент.

Та же простая модель показала, что до того как богатые кустарни-

Изменение климата в Арктике отражается на охоте, коммерческой заготовке леса, состоянии транспортных путей и всей инфраструктуры данного региона, одновременно стимулируя дальнейшее потепление на всей планете

ОБ АВТОРЕ

Вскоре после окончания докторантуры в Университете Аляски в Фэрбенксе в 1987 г. **Мэтью Стурм** (Matthew Sturm) устроился в Военный инженерный корпус США, где работает ученым-исследователем. Не так давно он возглавил путешествие на снегоходах через Аляску и арктическую Канаду протяженностью 4 тыс. км. Интерес Стурма к необычному росту кустарников и деревьев возник после предыдущего путешествия, когда он надолго застрял в глубоком снегу вокруг ивового куста. После нескольких часов пробуксовки снегохода и попыток выбраться из сугроба он понял, что кустарники очень заметно влияют на формирование снежного покрова в тундре, — и это событие послужило толчком к началу исследований, результаты которых приведены в этой статье.

ком зоны полностью зарастут карликовыми деревьями, пройдет около 150 лет; там, где сейчас нет кустарников, процесс займет больше времени. Полностью полагаться на этот прогноз нельзя, потому что наша модель не учитывает ни влияние природных катастроф, например пожаров, которые могут резко изменить структуру растительности (в пострадавших областях будут процветать кустарники), ни эффекты положительной обратной связи, которые могут значительно ускорить происходящие изменения. Моя интуиция подсказывает мне, что наш прогноз слишком оптимистичен, и что ландшафт тундры будет меняться быстрее, чем это показано с помощью нашей модели.

Причиной моих пессимистических взглядов послужило изучение последствий случившихся пожаров. Например, с июля по сентябрь 2007 г., в период исключительно сухой погоды, самый сильный (если верить данным со спутников)

Из других вероятных подобных эффектов, влияющих на тундровую флору, мы можем назвать два процесса, связанных с зимним снежным покровом. Может показаться странным, что зима заметно влияет на летний рост кустарников, однако зимние процессы определяют свойства почвы и количество влаги в ней на следующий вегетативный сезон. Причина столь заметного влияния зимнего сезона на существование арктических растений — его большая продолжительность. Тундра покрыта снегом девять месяцев, а тайга — семь месяцев в году, поэтому доминирующим цветом этого региона следует считать не зеленый, а белый.

Один из вышеупомянутых процессов с положительной обратной связью работает примерно так: там, где кустарники становятся выше окружающих кочек, они задерживают большее количество снега, вокруг них образуются сугробы, из-за чего высота снежного покрова в этом ме-

ные кустарники энергично растут, становясь выше, из-за чего следующей зимой удерживают еще больше снега, замыкая этот бесконечный цикл.

Второй процесс связан с высокой отражающей способностью снега, или альбедо. Темные ветви высоких кустов торчат над поверхностью снега. Эти ветви поглощают солнечный свет гораздо лучше, чем окружающий белый снег, и этого достаточно, чтобы вызвать локальное потепление и ускоренное таяние снега весной, вызывая более раннее начало сезона вегетации и стимулируя дальнейший рост кустарников.

Взятые каждый по отдельности, зимние эффекты обратной связи легко понятны, но поскольку они зависимы друг от друга и от летних процессов (из которых одни изучены, а другие остаются загадкой), суммарный результат труднопрогнозируем.

Например, весной более глубокие сугробы вокруг кустарников теоретически должны таять дольше, нежели окружающий более тонкий снежный покров. Может ли эффект, связанный с высокой отражающей способностью снега, нивелировать большую глубину снега возле кустов, или же ускоренное таяние не приводит к выигрышу при значительной глубине сугробов?

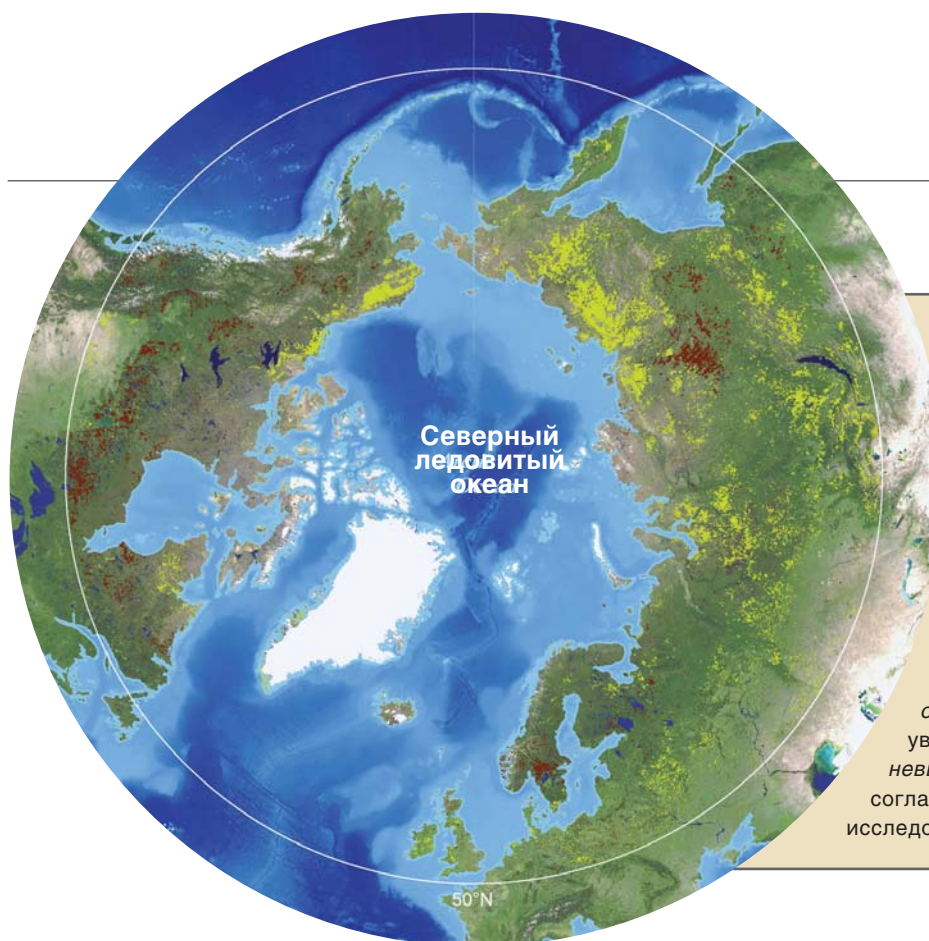
Летом тень и подстилка из листьев могут запускать два других процесса, механизм которых до конца не выяснен. Затенение, образованное разросшейся кроной куста, как известно, приводит к снижению температуры почвы в летний период, что потенциально работает против зимнего теплоизоляционного эффекта, стимулирующего микробиологическую активность. Подстилка из листьев меняет состав почвы вокруг куста, насыщая ее питательными элементами и провоцируя быстрый рост.

Многие исследователи заняты попытками смоделировать эти противоборствующие и взаимодействующие эффекты; в настоящее время несколько групп разрабатывают прогнозные модели изменений в

Моя интуиция подсказывает мне, что ландшафт тундры будет меняться быстрее, чем это показано с помощью нашей примитивной модели

пожар в тундре, вызванный молнией, случился в Норт-Слоупе, распространившись более чем на 100 тыс. гектаров. Мой коллега Чак Рэйсин посетил эту территорию в 2009 г. Во многих местах кустарники уже восстановились в отличие от прочих растений. Аналогично на участках тундры в западной Аляске, пострадавших от более древних пожаров, за последние 30 лет число кустарников увеличилось более чем в девять раз. Более сухое состояние тундры и рост числа ударов молний могут привести к увеличению количества пожаров. Более того, кустарники с их растущей биомассой и ветвлением увеличивают вероятность возникновения пожара в будущем, создавая эффект положительной обратной связи.

сте увеличивается. Снег — великолепный теплоизолятор, почти такой же хороший, как пуховое одеяло (т.к. слой снега может более чем на 75% состоять из воздуха). В том месте, где землю покрывает более глубокий снег, температура почвы поднимается выше, чем обычно. Путем простых измерений мы выяснили, что в некоторых кустарниковых зонах температура почвы на границе со снегом на 10° C выше, чем на поверхности земли вокруг близлежащих кочек. В более теплых условиях период активности различных микроорганизмов длится дольше по времени, из-за чего почва интенсивнее обогащается питательными веществами, и когда приходит лето, кустарники трогаются в рост с еще большей интенсивностью. Удобрен-



КАРТА АРКТИКИ, основанная на спутниковых снимках, собранных и проанализированных Скоттом Гетцем с коллегами из Вудсхоллского исследовательского центра, отражает изменения, произошедшие в состоянии растительного покрова тундры и лесов бореальной зоны с 1982 по 2005 г. Проведенный анализ показал, что рост кустарников в тундре стал более интенсивным (светло-зеленые области), а в лесах наблюдаются увядание и гибель деревьев (коричневые зоны); полученные данные согласуются с результатами других исследований

тундре и лесах бореальной зоны. И одним из самых важных вопросов, на который пока нет ответа, остается вопрос, будут ли дальнейшие изменения климата приводить к увеличению или уменьшению количества снега.

Если, как в случае с морской водой и льдом, ученые найдут подходящие маркеры, делающие текущее состояние системы «тундра-тайга» видимым со спутника, то у нас появится возможность проследить за происходящими изменениями и спрогнозировать их на будущее гораздо точнее, нежели только с помощью одних компьютерных моделей. Естественно, те пары фотографий с Аляски уже были использованы как тестовые данные в разработке столь необходимой модели.

Интуиция в науке так же важна, как и в обычной жизни, и именно она подсказала нам обратиться к архивным фотографиям. Нам, конечно, повезло, что эти исключительные снимки военной аэрофотосъемки аляскинского округа Норт-Слоуп были сделаны — и попали к нам в руки. Если бы мы не нашли их, мы, возможно, не смогли бы так быстро осознать,

что степень и направление изменений ландшафта потенциально столь же глубоки, как и сокращение площади морского льда, которое происходит на наших глазах. Фотографии же — это наиболее наглядное и всеобъемлющее свидетельство, хотя без использования данных со спутников и тщательной работы дендрохронологов мы бы не узнали другие аспекты этой истории.

Теперь основная наша задача — разработать метод, позволяющий предсказать, что будет происходить в арктических землях в дальнейшем, и какова будет скорость этих процессов. Сложность биологических систем делает задачу трудно выполнимой. Тем не менее если мы не сможем быстро разработать способ прогнозирования, новые изменения застигнут нас врасплох, заставляя действовать вслепую, что, безусловно, будет малоэффективно. И единственное, что мы можем сказать уже сейчас наверняка — это то, что все, интересующее нас, как и теперь, будет окрашено в три цвета: зеленый, коричневый и белый. ■

Перевод: Т.А. Митина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Recent Climate Warming Forces Contrasting Growth Responses of White Spruce at Treeline in Alaska through Temperature Thresholds. M. Wilkening et al. in *Global Change Biology*, Vol. 10, No. 10, pages 1724–1736; October 2004.
- The Evidence for Shrub Expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. K. Tape, M. Sturm and C. Racine in *Global Change Biology*, Vol. 12, No. 4, pages 686–702; April 2006.
- Responses of the Circumpolar Boreal Forest to 20th Century Climate Variability. A.H. Lloyd and A.G. Bunn in *Environmental Research Letters*, Vol. 2, No. 4, pages 1–13; November 26, 2007.
- The Greening and Browning of Alaska Based on 1982–2003 Satellite Data. D. Verbyla in *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 17, No. 4, pages 547–555; July 2008.
- Russian Arctic Warming and “Greening” Are Closely Tracked by Tundra Shrub Willows. Bruce C. Forbes, Mark Macias Fauria and Pentti Zetterberg in *Global Climate Change Biology*. Опубликовано онлайн 7 августа 2009 г.



Клаус Лэкнер

УДАЛЯЯ УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ ИЗ ВОЗДУХА

При помощи специальной техники можно абсорбировать диоксид углерода из атмосферы, препятствуя таким образом глобальному потеплению

Концентрация CO_2 в атмосфере будет скорее всего повышаться и впредь в течение десятилетий. Несмотря на поддержку возобновляемых источников энергии, промышленным и развивающимся странам придет-

ся, по всей вероятности, сжигать в будущем нефть, уголь и природный газ.

Появление альтернативных энергоресурсов для транспорта станет реальным, думается, лишь в отдаленном будущем. Обеспечить хранение энергоресурсов на борту электромобилей трудно, поскольку при данной массе батареи дают менее 1% энергии по сравнению с той, что содержится в бензине. В сопоставлении с бензином перевозка требует в десять раз более объемных резервуаров для хранения, кроме того, баллоны высокого давления, необходимые для содержания водорода, очень тяжелы. Не-

JOE ZEFF DESIGN



смотря на то что несколько рейсов самолетов, работающих на топливе, полученном из биомассы, все-таки состоялись, неясно, может ли биотопливо производиться в количествах, приемлемых для авиации или судоходных компаний, а также по доступным ценам.

Как же нам предотвратить увеличение концентрации CO_2 , чтобы оно не стало выше нынешнего уровня — 389 промилле? Если мы не запретим использование углеродного топлива, остается единственный выход — удалять двуокись углерода из воздуха. Частично углекислый газ может абсорбироваться за счет расширения площади лесов,

но люди производят его так много, что на Земле просто не хватит площадей для этой цели. К счастью, фильтрующие установки (считайте их «искусственными деревьями») могут улавливать гораздо больше CO_2 , чем натуральные деревья такого же размера.

Опытные образцы таких установок изучают несколько исследовательских лабораторий — в Технологическом институте штата Джорджия (США), Университете Калгари (Канада), Швейцарском федеральном технологическом институте в Цюрихе, а также группы

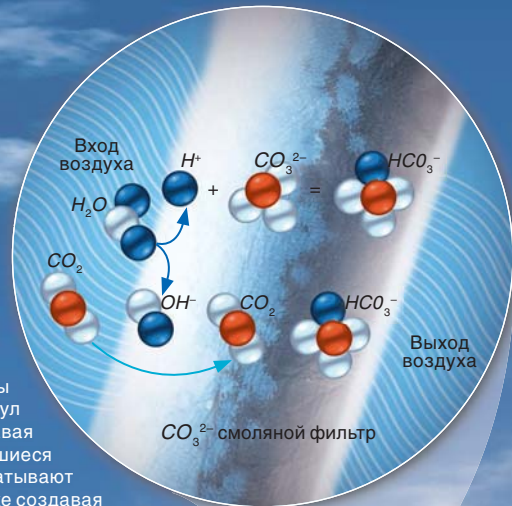
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Установки с фильтрами, созданными из поглощающих материалов, могут связывать углекислый газ, удаляя его из воздуха.
- При массовом производстве такие установки могут улавливать CO_2 при расходах \$30 на тонну, что меньше цены углекислого газа при коммерческих поставках.
- При использовании усовершенствованных сорбентов 10 млн установок по всей планете могут уменьшить концентрацию CO_2 на промилле в год. Это значительно превышает темпы глобального увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере сегодня.

УГЛЕРОДНАЯ КАРУСЕЛЬ

Согласно программе *Global Research Technologies*, воздух продувается через смоляные фильтры, которые медленно поворачиваются вдоль направляющих, поглощая CO_2 (на вставке). Подъемник отцепляет отработавший фильтр и опускает его в транспортный контейнер, где он направляется в одну из шести регенерационных камер; там из него извлекается CO_2 (нижние панели). Затем подъемное устройство снова подвешивает очищенный фильтр на направляющую, чтобы начать процесс заново

Улавливание происходит, когда воздух проходит через волокна, покрытые отрицательно заряженными ионами карбоната (CO_3^{2-}), которые притягивают ионы водорода (H^+) из молекул остаточной воды (H_2O), создавая бикарбонат (HCO_3^-). Оставшиеся ионы гидроксиды (OH^-) захватывают молекулы CO_2 , также создавая бикарбонат ▶



Подъемник
Фильтр, насыщенный CO_2
Чистый фильтр
Регенерационная камера

Насыщенный фильтр

Резервуар для воды

Компрессор

Резервуар для CO_2

Водосток



Очистка фильтра начинается с удаления воздуха из камеры ①. Затем вода разбрызгивается, чтобы растворить бикарбонат на волокнах, который переходит в карбонат и CO_2 ②. CO_2 удаляется и превращается путем сжатия в жидкость для хранения или использования в промышленности ③. Вода собирается в водосток ④

под моим руководством — в Колумбийском университете и компании *Global Research Technologies* в штате Аризона (США). Конструкция всех подобных установок представляет собой варианты одного устройства: воздух, проходя через сооружение, контактирует с материалом «сорбентом», который химически связывает CO_2 , в то время как азот, кислород и другие элементы улетучиваются.

Чтобы повлиять на изменение климата, необходимо забирать углекислый газ из атмосферы в больших количествах, однако основная концепция уже отработана. В течение десятилетий газоочистители удаляли CO_2 из воздуха, которым дышат экипажи в подводных лодках и космических кораблях, а также из воздуха, используемого для производства жидкого азота. Все это можно осуществить, основываясь на различных химических процессах, однако установки с твердыми сорбентами могут улавливать максимальное количество газа на единицу необходимой энергии. Появление на начальном этапе небольших опытных образцов подобных устройств дает надежду, что в ближайшем будущем благодаря широкому распространению установок, работающих на твердых сорбентах, увеличение количества диоксида углерода в атмосфере может быть остановлено или уменьшено.

Один большой фильтр

Устройства, улавливающие воздух, могут иметь различную форму и размеры, как и их природные аналоги — деревья. Демонстрационные модели, которые будут гораздо более мощными по сравнению с лабораторными образцами, должны улавливать от тонны до сотен тонн CO_2 в день каждая. Конструкция, разрабатываемая Колумбийским университетом и *Global Research Technologies*, представляет собой пример того, как может работать эта техника. Тонкие волокна материала, из которого сделан сорбент, прессуются в большие плоские панели, похожие на фильтры для

печей, шириной в 1 м и высотой в 2,5 м. Вертикальные панели-фильтры будут вращаться вдоль круговой направляющей, закрепленной наверху стандартного транспортного контейнера размером в 12,2 м (илл. слева стр.). Панели будут открыты для воздуха. Когда они насытятся углекислым газом, их переместят вниз, в регенерационную камеру внутри контейнера. Там уловленный газ будет удален из сорбента и под давлением постепенно превратится в жидкость. Освобожденная от CO_2 панель опять вернется на направляющую, чтобы продолжать ловить диоксид углерода из воздуха.

Углекислый газ, собранный из воздуха установками-уловителями, можно выгодно использовать в промышленности, либо направить по трубам под землю, как это делается в экспериментальных системах улавливания и хранения на электростанциях, работающих на угле. Однако есть и другая возможность — этот газ может стать сырьем для производства синтетического жидкого транспортного топлива. С помощью электричества можно было бы отделить один атом кислорода от молекулы CO_2 и один удалить из молекулы воды (H_2O). Смесь CO и H_2 известна как «синтезгаз», используемый почти столетие в качестве сырья для топлива и пластика. На протяжении ряда лет южноафриканская компания *Sasol* производит синтетический бензин и дизельное топливо на основе синтетического газа, получаемого из угля. Таким образом, улавливание двуокиси углерода из воздуха может

компенсировать выбросы от машин, сжигающих ископаемое топливо, или помочь заменить это топливо синтетическим жидким, не требующим добычи угля, нефти или природного газа.

Конечно, улавливание CO_2 должно быть эффективным не только химически, но и практичным, рентабельным и энергосберегающим. Для этого требуется компактное оборудование. За один день более 700 кг углекислого газа проходит через отверстие на высоте, равной дверному проему, подвергающемуся действию ветра, имеющего скорость 6 м/с — обычную для ветряной мельницы. Это количество эквивалентно выбросам CO_2 , приходящимся на 13 жителей США за тот же период. Хотя улавливатели воздуха вряд ли будут рассчитаны на такую высокую скорость ветра, и фильтрование будет замедлять поток воздуха, эти устройства могут, тем не менее, быть компактными.

При оценке расходов следует рассмотреть два основных момента: абсорбцию CO_2 из воздуха и восстановление углерода из сорбента. Исходя из сравнения с мельницами, я с самого начала пришел к выводу, что расходы на фильтрование воздуха с помощью сорбента могут быть небольшими. Главные затраты будут приходиться на последующую операцию по высвобождению диоксида углерода из сорбента. Тем не менее улавливание CO_2 из воздуха — значительно более практичная альтернатива очистке выхлопа из труб миллионов автомобилей, поскольку большой объем газа пришлось бы хранить на бор-

ОБ АВТОРЕ

Клаус Лэкнер (Klaus S. Lackner) — профессор геофизики, декан факультета Земли и проблем окружающей среды Колумбийского университета, член Института Земли. Лэкнер — один из основателей *Global Research Technologies*, компании, которую финансировал ныне покойный Гэри Камер (Gary Comer), владелец фирмы *Lands' End*, для демонстрации технологии по улавливанию углекислого газа из воздуха.

ПЛАН ДЛЯ ПЛАНЕТЫ

Одна из программ замедления глобального потепления

10 млн

установок для улавливания углекислого газа из воздуха по всему миру

10 т

CO_2 в день, удаляемых из воздуха каждой установкой после подсчета выбросов, связанных с потреблением энергии этими установками

36 гигатонн

«выловленного» CO_2 в год

5 промилле

ежегодно отнимается от концентрации CO_2 в атмосфере Земли, составляющей в настоящее время 389 промилле и постоянно увеличивающейся

ту каждой машины и возвращать на пункт сбора (на каждый килограмм бензина, сгорающий в моторе, приходится три килограмма CO_2).

Мокрый или сухой сорбент

С точки зрения химика хороший сорбент должен связывать CO_2 достаточно сильно, чтобы его абсорбировать, но не настолько сильно, чтобы последующее высвобождение газа для хранения было дорогостоящим. Концентрация двуокиси углерода в окружающем воздухе составляет около 0,04% в сравнении с 10–15% в трубе на электростанции, работающей на угле. Однако необходимая сила сорбента лишь незначительно изменяется с изменением концентрации газа, поэтому сорбенты для улавливания его из воздуха могут быть аналогичны по силе сорбентам для очистки газа в трубе.

Сорбенты могут быть твердыми или жидкими. Использование жидких весьма привлекательно, поскольку их можно легко переносить между собирающим устройством и устройством для регенерации. Обеспечить хороший поверхностный контакт жидкости с окружающим воздухом — трудная задача, однако методы химической технологии для ее решения известны. Например, Дэвид Кейт (David Keith), работающий в Университете Калгари и новой компании *Carbon Engineering*, использует едкий натр, текущий тонкой струйкой на слой пластиковых поверхностей, через которые вентилятором прогоняется воздух. Переливать жидкость легко, но поскольку углекислый газ прочно связывается с едким натром, его удаление из сорбента — сравнительно трудное дело.

Твердые сорбенты имеют свои плюсы: их поверхности можно сделать шероховатыми, что создаст дополнительные связывающие места для молекул CO_2 , а это, в свою очередь, увеличит масштаб поглощения. Однако переносить твердые сорбенты в регенерационную камеру и из нее труднее, чем жид-

кие. Торговая компания *Global Thermostat* (на основе работ Технологического института штата Джорджия), занимается исследованием твердых сорбентов, которые нагревают, чтобы высвободить выловленный CO_2 .

И твердые, и жидкие сорбенты основаны на кислотно-щелочных реакциях. Углекислый газ — это кислота, а большинство сорбентов — щелочи. Они вступают в реакцию друг с другом, образуя соли. Например, едкий натр, известный как каустическая сода, — мощный сорбент, связывающий диоксид углерода путем получения углекислого натрия (кальцинированной соды). Углекислый натрий — тоже щелочь и может поглощать дополнительный CO_2 , превращаясь в двууглекислый натрий (питьевую соду), которая также представляет собой щелочь. Аналогичные химические реакции происходят и с другими сорбентами.

В принципе, возможно удалить CO_2 из бикарбоната и вернуть сорбент к состоянию гидроокиси, таким образом постоянно регенерируя сорбент. Однако на практике методы регенерации, судя по всему, работают только наполовину: они либо удаляют углекислый газ из бикарбоната, в результате чего получается карбонат, либо из карбоната, результатом чего становится гидроокись. Циклический процесс между карбонатом и бикарбонатом предпочтительнее, поскольку при этом требуется меньше энергии для высвобождения CO_2 после того, как он будет связан сорбентом.

Поддерживать такой процесс могут несколько классов новейших сорбентов. Один из них включает так называемую анионо-обменную смолу. Эти подобные пластику полимеры, аналогичные карбонатам, используются в различных химических процессах, включая изготовление деионизированной воды. В смоле положительные ионы фиксированы, а отрицательные — подвижны. Одну систему отрицательных ионов можно обменять на другую путем орошения смол водой,

содержащей другие отрицательные ионы.

Global Research Technologies работала такую смолу на основе карбоната. Фильтры из сухой смолы на ветру поглощают углекислый газ до тех пор, пока смола не достигнет состояния бикарбоната. Смачивание смолы приводит к высвобождению захваченного углекислого газа, и смола возвращается к состоянию карбоната. После того как смола высохнет, она снова может абсорбировать углекислый газ.

В системе, которую мы моделируем, отработавший фильтр опускается в регенерационную камеру, находящуюся внутри транспортного контейнера. Из нее откачивается воздух и добавляется вода, возможно, в виде тумана. Влажная смола выделяет CO_2 , который откачивают и сжимают, превращая в жидкость. В результате сжатия остаточная вода будет испаряться и переходить в жидкое состояние — чистую воду, которую можно вновь использовать. Очищенный фильтр просушат над регенерационной камерой, после чего он будет снова абсорбировать углекислый газ, находящийся над контейнером.

Потребление энергии такими установками также определяется двумя моментами. Первый — это откачивание воздуха из регенерационной камеры. Второй, требующий гораздо большего количества энергии, — сжатие углекислого газа до давления, необходимого для его сжижения (несколько десятков атмосфер, в зависимости от температуры). В целом процесс сбора одного килограмма углекислого газа этим методом потребует 1,1 МДж энергии. Для сравнения: при учете средних значений по всей территории США, все электростанции страны при выработке 1,1 МДж электроэнергии производят 0,21 кг углекислого газа. Поэтому улавливающая установка соберет гораздо больше газа, чем его создается в процессе потребления энергии.

Реалистичные расходы на электроэнергию составляют около

\$15 на каждую собранную тонну углекислого газа, и это ненамного больше, чем расходы на очистку от двуокиси углерода выхлопных труб. Однако в данный момент большая часть затрат на размещение этих установок пойдет на производство и материально-техническое обслуживание, и эти расходы будут уменьшаться по мере увеличения количества произведенных аппаратов. Я предполагаю, что начальные затраты составят около \$200 на тонну углекислого газа, и опять-таки, по мере того как будет построено больше установок, цены значительно снизятся.

Используйте его, храните его

Что можно делать с собранным CO_2 ? Существует несколько вариантов. Углекислый газ используется во многих отраслях промышленности, например для газирования напитков, замораживания куриных крылышек и изготовления сухого льда. Кроме того, он незаменим для стимулирования роста комнатных растений, а еще — в качестве растворителя или охладителя, не загрязняющего окружающую среду. Существует мало промышленных источников CO_2 , поэтому цена определяется расходами на транспортировку. В США CO_2 обычно продается по цене более \$100 за тонну, однако в отдаленных районах эта сумма может удваиваться или утраиваться. На мировом рынке продается около 30 млн т углекислого газа в год, и часть его можно получить в установках, улавливающих этот газ из воздуха.

Точкой опоры способны стать специализированные рынки, например рынок пищевой промышленности. По мере того как будет увеличиваться количество выпускаемых установок для улавливания углекислого газа, цены будут снижаться, что приведет к расширению рынка. Когда цена тонны уловленного CO_2 упадет значительно ниже \$100, можно будет продавать углеродные квоты, как те, которыми торгуют на Углеродной бирже в Лондоне.

НЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

Некоторые люди называют удаление углекислого газа из воздуха геотехнологией. Я против такого определения, поскольку этот процесс не меняет природного развития Земли и не создает потенциальной опасности для экологии. Программы геотехнологии включают использование аэрозолей в верхних слоях атмосферы для абсорбции солнечного света, что изменяет химический состав атмосферы и баланс радиации по всему земному шару. Распространение частиц железа на поверхности океана, чтобы ускорить рост водорослей, способных абсорбировать CO_2 , изменяет химическую и биологическую структуру океана. Удаление двуокиси углерода из воздуха всего лишь избавляет атмосферу от избыточного углекислого газа, куда он попадает в результате деятельности человека

Формирующиеся рынки могут ускорить развитие этой техники. С 1970-х гг. нефтяные компании покупают CO_2 для добычи нефти с применением различных методов интенсификации: его закачивают под землю, чтобы добывать больше нефти или природного газа на месторождениях, запасы которых уменьшаются. Если CO_2 будут улавливать из воздуха, эти компании смогут претендовать на углеродные квоты на газ, остающийся под землей (как правило, около половины закачанного под землю газа остается там естественным путем). Рынок добычи нефти



ДОБЫЧА НЕФТИ

ПРОДАВАЯ CO_2

Углекислый газ, уловленный из воздуха, может закачиваться под землю или продаваться в качестве сырья или обрабатывающего материала для действующих или будущих предприятий

ПРИМЕНЕНИЕ СЕГОДНЯ

- В качестве вещества для создания давления при извлечении нефти на месторождениях с применением различных методов интенсификации
- Для газирования напитков
- Вещество для замораживания куриных крылышек

ПРИМЕНЕНИЕ В БУДУЩЕМ

- Сырье для синтетического бензина
- Питательное вещество для ферм по выращиванию водорослей, где производится биотопливо
- Сырье для цемента на основе карбоната

с применением различных методов интенсификации потенциально велик, но многие нефтяные месторождения находятся далеко от источников двуокиси углерода. Размещение установок для улавливания газа прямо над месторождениями нефти могло бы изменить эту динамику.

Однако с появлением «чистых» источников энергии выигрышем при улавливании углекислого газа могло бы стать производство нового жидкого топлива из CO_2 как сырья. Как отмечалось ранее, с помощью отработанных технологий, таких как электролиз и обратное превращение в водяной газ, можно получать из CO_2 и воды синтетический газ, что создаст возможность для синтеза горючего. При этом потребуются большие затраты на электроэнергию.

До тех пор пока человечество не сможет осуществлять синтез топлива, ему придется избавляться от всех выбросов газа, вызванных его деятельностью. В настоящее время разрабатываются такие технологии, как хранение CO_2 , собранного на электростанциях, в геоло-



ФЕРМА ПО ВЫРАЩИВАНИЮ ВОДОРosлей



ЦЕМЕНТ

гических или минеральных структурах. Улавливание углекислого газа из воздуха может происходить на основе такого же подхода к хранению, и устройства для него могут устанавливаться на тех же площадках для удаления.

Глобальное охлаждение

Пока чистые транспортные технологии не станут более эффективными, извлечение двуокиси углерода из воздуха позволит автомобилям, самолетам и судам сжигать жидкое горючее, при этом выбросы будут улавливаться установками для удаления углекислого газа из воздуха, находящимися на большом расстоянии от них. В отличие от озона или сернистого ангидрида, CO_2 остается в атмосфере от десятилетий до столетий, что дает время для активных перемещений. Слои в атмосфере настолько перемешиваются, что можно удалять CO_2 из воздуха в Австралии, а квоту на выброс брать в Северной Америке. Появится возможность сделать автомобиль «углеродно-нейтральным», если собрать 100 т углекислого газа, выбрасываемые за весь срок его эксплуатации, до того как эта машина сойдет с конвейера.

Улавливание углекислого газа из воздуха может быть более дешевым способом избавления от выбросов электростанций, особенно более старых, на которых не так легко реконструировать газоочистители в дымоходах, или тех, что расположены далеко от мест хранения. В будущем, когда концентрацию CO_2 в атмосфере удастся стабилизировать, улавливание углекислого газа из воздуха может даже обеспечить снижение его уровня.

Критики этой идеи (помимо того что указывают на большие затраты) заявляют, что многочисленные установки для улавливания углекислого газа будут потреблять много электроэнергии, и отмечают, что фильтры для них делают из пластика, который получают из нефти. На мой взгляд, более серьезное препятствие заключается в том, что на каждую собранную тонну CO_2

в атмосферу по мере высыхания мокрых фильтров будет испаряться несколько тонн воды. Однако если осуществлять улавливание углекислого газа из воздуха в больших масштабах, то это в результате повлияет на процесс изменения климата. Передвижные установки могут собирать примерно по тонне CO_2 в день каждая. Десять миллионов таких установок соберут уже 3,6 гигатонн в год, что уменьшит уровень углекислого газа в атмосфере примерно на 0,5 промилле в год. Если со временем эти установки смогут пропускать 10 млн т в день (для чего необходимы улучшенные сорбенты), ежегодное сокращение содержания CO_2 в атмосфере составит 5 промилле в год, что превышает темпы глобального увеличения содержания CO_2 в атмосфере в данный момент. Цифра 10 млн может показаться гигантской, но для сравнения — сегодня в мире производится около 71 млн легковых автомобилей и легких грузовиков ежегодно.

Как уже отмечалось, сначала расходы на улавливание диоксида углерода будут высокими, однако с развитием техники основная их часть пойдет на материалы и электроэнергию, в результате чего общие расходы составят \$30 на тонну. На этом этапе затраты, прибавляемые к цене литра бензина и необходимые для оплаты улавливания CO_2 , который появляется в результате его использования, составят 25 центов. Это цена, которую стоит заплатить. ■

Перевод: Т.Н. Саранцева

КОНКУРИРУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ

Различные организации изучают сухие и мокрые сорбенты, с помощью которых могут работать коммерческие установки по улавливанию углекислого газа из воздуха. Вот выборка:

СУХИЕ СОРБЕНТЫ

Колумбийский университет и *Global Research Technologies*:
полимер на основе карбоната

Технологический институт штата Джорджия и *Global Thermostat*:
полимер на основе карбоната

МОКРЫЕ СОРБЕНТЫ

Национальная лаборатория в Брукхейвене:
системы на основе гидроокиси

Университет Калгари и *Carbon Engineering*:
системы на основе гидроокиси

Xerox PARC:
системы на основе гидроокиси

Швейцарский федеральный технологический институт в Цюрихе:
системы на основе гидроокиси, известь

Институт Пола Шерера:
системы на основе гидроокиси, известь

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Climate Strategy with CO_2 Capture from the Air. David W. Reith et al. in *Climatic Change*, Vol. 74, pages 17-45; January 2006.
- Fixing Climate: What Past Climate Changes Reveal about the Current Threat — and How to Counter it.
- Wallace S. Broecker and Robert Kunzig. Hill and Wang, 2008.
- Capture of Carbon Dioxide from Ambient Air. Klaus S. Lackner in *European Physical Journal: Special Topics*, Vol. 176, No. 1; pages 93–106; September 2009.



Нагиб Нассар и Родомиро Ортис

МАНШОК для БЕДНЫХ

Третий по величине источник калорий на Земле можно сделать еще более полноценным и урожайным, снизив тем самым угрозу голода во многих развивающихся странах

Более чем у 800 млн человек основу рациона составляет не пшеница, не кукуруза и не рис. Во многих странах главным продуктом питания служат богатые крахмалом корни маниока съедобного (*Manihot esculenta*), называемого также маниок, тапиоккой, кассавой или юкой (не путать с сочным растением юккой). На долю маниока приходится третье место

в мире после пшеницы и риса по количеству потребляемых калорий. Таким образом, это растение является незаменимым ресурсом, спасающим население многих регионов от голода. Жители тропических стран обычно выращивают его на небольших участках для собственного употребления, но в Азии и некоторых странах Латинской Америки его возделывают в промышленных

масштабах как источник корма для сельскохозяйственных животных и крахмала для продуктов питания. В то же время в качестве единственного источника питания маниок не подходит: в нем содержится мало белка, витаминов и железа. Получение новых, более ценных сортов могло бы помочь в борьбе с голодом.

Мы с нашими коллегами из Университета Бразилиа, как и некоторые другие исследователи, работаем над выведением таких сортов и пытаемся сделать их более доступными для сельских жителей развивающихся стран. Мы применяем прежде всего классические методы скрещивания для получения гибридов культурных и диких видов рода *Manihot*, пытаемся использовать преимущества, сформировавшиеся в диких видах на протяжении миллионов лет. Такой подход дешевле методов геномной инженерии и не сопряжен с опасениями, вызываемыми генетически модифицированными продуктами. В то же время некоторые исследователи и некоммерческие организации из разви-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Корни маниока — основной источник калорий для миллионов жителей тропических стран, однако они бедны белками, витаминами и некоторыми другими веществами.
- Исследователям удалось создать сорта маниока с повышенной питательной ценностью, урожайностью и устойчивостью к вредителям и болезням.
- Сочетание традиционных методов селекции и молекулярной биологии позволит достичь новых успехов.



тых стран также заинтересовались усовершенствованием сортов маниока и уже получили его генетически модифицированные варианты. Недавно были завершена полная расшифровка генома маниока, что, возможно, откроет новые перспективы для селекции.

Властелин тропических полей

Маниок и дикие виды рода *Manihot* представляют собой кустарниковые растения бразильского происхождения. Первые домашние сорта были выведены туземцами, и в XVI в. завезены плователями португальскими моряками в Африку. Отсюда растение распространилось в страны тропической Азии вплоть до Индонезии. В настоящее время в мире производится более 200 млн т маниока, из них 51% приходится на Африку, 34% — на Азию и 15% — на Латинскую Америку.

Корни маниока, похожие на удлиненный батат, можно употреблять в сыром или вареном виде либо делать из них крупу, тесто или муку. В Африке и некоторых странах Азии едят также листья, служащие источником белка (его содержание в высушенных листьях достигает 32%), витаминов А и В.

Получать маниок дешево и просто. Он растет на засушливых,

кислых и неплодородных почвах, быстро восстанавливается после нанесенных вредителями или болезнями повреждений и чрезвычайно эффективно использует солнечную энергию для синтеза углеводов: если в обычных злаках доля питательных веществ от сухого веса составляет в лучшем случае 35%, то в маниоке она достигает 80%. Наконец, сажать его можно в любое время года, а собирать урожай — даже через несколько месяцев, вплоть до года. Этим часто пользуются сельские жители, оставляя необранные несколько растений в качестве запаса на голодное время. Неудивительно, что маниок стал излюбленной сельскохозяйственной культурой и неотъемлемым элементом национальной кухни практически везде, где он может расти.

Однако у маниока есть и слабые стороны. Срок хранения его невелик: без обработки он может испортиться за один день. Все сорта маниока в данном регионе обычно генетически однородны, что делает его подверженным массовым поражениям со стороны вредителей или болезней. Но самый главный его недостаток в том, что он состоит почти из одних углеводов и потому не может быть единственным источником питания.

Методы скрещивания

Один из нас (Нагиб Нассар) впервые заинтересовался выведением новых сортов маниока, работая агрономом на своей родине — в Египте. В начале 1970-х гг., когда в Западной, Экваториальной и Южной Африке свирепствовал голод, Нассар отправился в Бразилию для изучения маниока в его среде обитания. Через некоторое время исследователь решил остаться в Бразилии и получил бразильское гражданство. В 1975 г., работая в Университете Бразилиа, Нассар добился небольшого гранта от Канадского международного научно-исследовательского центра проблем развивающихся стран и начал собирать коллекцию живых диких видов рода *Manihot*, ставшую своего рода библиотекой полезных свойств для выведения культурных сортов. Путешествуя по стране, нередко пешком или на велосипеде, Нассар собрал множество образцов, на базе которых он вырастил около 35 различных видов.

Этот богатый и разнообразный генофонд сыграл ключевую роль в получении новых сортов маниока как в Университете Бразилиа, так и в других учреждениях. Одним из первых достижений стало создание в 1982 г. гибридного сорта с высоким содержанием белка. В корнях

ГДЕ ВЫРАЩИВАЮТ МАНИОК?

Маниок — излюбленный продукт растениеводства в тропических странах, особенно в Африке, на которую приходится половина мирового производства этого растения. Маниок способен расти на засушливых и неплодородных почвах и хорошо принимается даже из мелких черенков. Его корни в любое время года можно выкопать и употребить в качестве богатого источника калорий. Во многих регионах он служит неотъемлемым элементом национальной кухни — таким же, как в некоторых других странах макаронные изделия, хлеб или рис. В ряде стран он возделывается в промышленных масштабах.



маниока обычно содержит лишь 1,5% белка (в пшенице — 7% и более). Кроме того, в белке корней растения мало незаменимых серосодержащих аминокислот — метионина, лизина и цистеина. В новом сорте содержание белка достигало 5%. В настоящее время правительство Бразилии рассматривает



вопрос о снижении зависимости от импорта муки путем смешивания муки пшеницы и высокобелкового сорта маниока.

Скращивание маниока с его дикими сородичами или отдельных сортов культурного маниока между собой может способствовать выведению гибридов с другими важными питательными веществами. Коллективом университета Бразилиа было показано, что некоторые дикие виды рода *Manihot* богаты незаменимыми аминокислотами, железом, цинком и каротиноидами — в частности лютеином, ликопеном и бета-каротином. Последний служит важным источником витамина А, в отсутствие которого развивается прогрессирующее повреждение глаз — распространенное заболевание в тропических странах Африки, Азии и Латинской Америки. Учитывая же широкую распространенность в этих регионах маниока, можно ожидать, что получение его богатых бета-каротином сортов су-

щественно снизит распространенность авитаминоза А в развивающихся странах. За последние три года сотрудники Университета Бразилиа вывели высокоурожайные сорта, содержание в которых бета-каротина было в 50 раз выше, чем в обычном растении. В настоящее время они находятся на испытании у местных землевладельцев.

Еще одно важное направление работ — изменение жизненного цикла маниока. Обычный способ размножения, связанный с опылением, приводит к появлению отличающихся от исходного растения и нередко менее урожайных потомков. В связи с этим фермеры обычно высаживают отрезанные черенки, а не семена. Однако при разрезах растение становится подверженным внедрению вирусов и бактерий, на протяжении нескольких поколений возбудители накапливаются и в конечном счете снижают урожайность. Некоторые дикие виды рода *Manihot* (в том числе дре-

ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Маниок — легко доступный источник калорий для населения многих бедных стран, однако в качестве единственного источника питания он не подходит: в нем содержится мало белка, витаминов А и Е, железа и цинка. Кроме того, растение обладает и некоторыми другими недостатками:

- без обработки оно быстро портится;
- его размножают черенками, в силу чего оно подвержено действию возбудителей болезней, а посевы генетически однородны;
- некоторые сорта без надлежащей обработки могут вызвать отравление цианидами, чреватое параличами и даже смертью

MAPPING SPECIALISTS: SOURCE: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (map); GETTY IMAGES (tapioca starch); COURTESY OF NEIL PALMER CIAT (bowl of cassava starch); ANDRE BARANOWSKI (boiled yuca)

вовидное растение манисота, или *M. glaziovii*), как и многие другие растения, способны размножаться как половым, так и бесполом путем. Во втором случае из семян вырастают фактически клоны исходного растения. Результатом более чем десятилетних трудов исследователей из Университета Бразилиа стало получение сорта маниока, также способного давать два вида семян (образовавшихся путем полового и бесполого размножения). Как только работа над этим сортом будет закончена, он будет отдан бразильским фермерам.

У манисоты есть и другие полезные гены, использование которых сможет помочь миллионам жителей засушливых районов. У гибрида манисоты и маниока имеются два вида корней. Одни из них богаты крахмалом и съедобны, другие растут вглубь, достигая подземных водоносных пластов. Такой гибрид оптимален для полупустынных районов типа Северной Бразилии или некоторых саванн Западной, Экваториальной и Южной Африки. Данный сорт уже выдержал испытания в Петролине — одном из самых засушливых районов Бразилии. В настоящее время мы ведем работы по его улучшению путем достижения одновременно максимальной засухоустойчивости и урожайности. Для этого мы скрещиваем его с высокоурожайным сортом маниока.

В 1950-х гг. индонезийские фермеры обнаружили, что повысить урожайность маниока можно и путем старого доброго прививания. Пересадка черенков таких видов, как манисота или *M. pseudoglaziovii* (либо их гибрида), на ствол маниока приводила к семикратному увеличению массы корней. К сожалению, во многих странах прививание затруднено в связи с отсутствием указанных видов.

Защита от вредителей

Скрещивание маниока с дикими сортами способно не только повышать его питательную ценность и урожайность, но также ограничивать распространение вредите-



КОЛУМБИЙСКИЙ ЗЕМЛЕДЕЛЕЦ из департамента Уила проверяет урожай маниока

лей и болезней. Повышение устойчивости к вирусу мозаики маниока стало одним из важнейших достижений в изучении и селекции этого растения. В 1920-х гг. распространение вируса на территории Танганьики (в настоящее время — Танзания) вызвало тяжелый голод. Два английских исследователя после семилетних усилий сумели спасти посевы маниока, скрестив его с манисотой. В 1970-х гг. вирус вернулся, на сей раз угрожая урожаям

в Нигерии и Заире (в настоящее время — Демократическая Республика Конго). Ученые из Международного института тропического сельского хозяйства в Нигерии вновь создали устойчивые к вирусу сорта маниока, используя манисоту и ее гибриды из коллекции Университета Бразилиа. Данный сорт дал начало ряду других устойчивых к вирусу вариантов, которые сегодня возделываются более чем на 4 млн га в Западной, Экваториальной и Юж-

ОБ АВТОРАХ

Нагиб Нассар (Nagib Nassar) родился в Каире и защитил диссертацию в Александрийском университете. С 1975 г. он работает над изучением и селекцией маниока в Университете Бразилиа. Под его руководством созданы сорта, уже внедренные в Бразилии и Африке. **Родомиро Ортис** (Rodomiro Ortiz) — уроженец Лимы (Перу). Он получил ученую степень по селекции растений в Висконсинском университете и занимал должность директора отдела мобилизации ресурсов Международного центра селекции кукурузы и пшеницы в Тескоко (Мексика).



ВСТРЕЧА ТРАДИЦИЙ С СОВРЕМЕННОСТЬЮ

Дикие сородичи маниока, в частности древовидная *Manihot glaziovii*, или маниота (слева), нередко обладают чертами, повышающими урожайность, но у них отсутствуют полезные свойства маниока. При традиционных способах селекции выводятся сорта, обладающие достоинствами обоих видов. Это достигается путем выращивания нескольких поколений гибридов. Сегодня такие способы дополняются современными методами, включая использование генетических маркеров, позволяющих выявить полезные черты уже в саженце, а не во взрослом растении

СЕЛЕКЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ

- 1 Определение генетических маркеров искомым свойств (цветные кружки) у маниока и дикорастущего представителя вида *Manihot*

Высокая урожайность
Калорийность
Хороший вкус
Устойчивость к вирусам
Высокое содержание белка



Дикий вид
Высокая урожайность
Калорийность
Хороший вкус
Устойчивость к вирусам
Высокое содержание белка

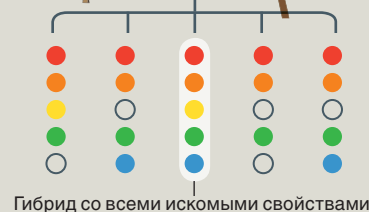
- 2 Скрещивание с последующим определением генетических маркеров. В гибриде первого поколения сочетание свойств будет случайным



- 3 Выращивание гибрида с оптимальным сочетанием свойств с повторным его скрещиванием с маниоком



- 4 Определение генетических маркеров. Некоторые гибриды могут обладать полным набором искомым свойств уже в этом поколении, но иногда требуются многократные повторные скрещивания



ной Африке, а Нигерия стала ведущим мировым производителем маниока. Однако вирусам свойственны частые мутации, и мы должны ожидать появления штаммов, перед которыми устойчивые сегодня виды снова станут беззащитными. В связи с этим всегда будет необходимо профилактическое выведение новых гибридов.

Один из самых злостных вредителей маниока в странах Западной, Экваториальной и Южной Африки — маниоковый мучнистый червец (*Phenacoccus manihoti*). Это насекомое, уничтожающее растения путем высасывания их соков, вызвало настоящие бедствия в 1970-х и начале 1980-х гг., буквально опустошив плантации и питомники. Производство маниока в пораженных областях практически прекратилось. К концу 1970-х гг. исследователи из Международного института тропического сельского хозяйства и других учреждений Африки и Южной Америки завезли из Южной Америки осу, откладывающую яйца в тело мучнистого червеца. Выводящиеся из яиц личинки пожирают вредителя изнутри. Благодаря этому удавалось сдерживать распространение мучнистого червеца в большинстве африканских зон выращивания маниока на протяжении 1980–1990-х гг. Однако в некоторых небольших областях Заира такой способ оказался неэффективным из-за размножения преследователей завезенной осы. В середине 2000-х гг. исследователи из Университета Бразилиа начали изучать дикие виды рода *Manihot* на предмет устойчивости к мучнистому червецу и вскоре нашли такую устойчивость — опять же у маниоты. В настоящее время устойчивые к мучнистому червецу сорта выращиваются мелкими землевладельцами в окрестностях Бразилиа и могут быть быстро экспортированы в другие страны при возобновлении угрозы со стороны данного вредителя.

В перспективе можно ожидать появления новых ценных свойств у химерных сортов маниока. Химерные организмы содержат две или не-

НАСТУПЛЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЙ

Методы генной инженерии, широко применяемые в сельском хозяйстве США, начинают приносить первые плоды и в выращивании маниока. Однако генетически модифицированные сорта этой культуры вряд ли получат в ближайшее время широкое распространение, и сегодня было бы неразумным отказываться от традиционных методов селекции новых сортов.

Основные работы по выведению генетически модифицированного маниока проводит международная исследовательская группа под названием *BioCassava Plus*. Исследователи создали сорта маниока, богатые цинком, железом, белком, бета-каротином (предшественником витамина А) и витамином Е. Для этого были использованы гены других растений (в том числе водорослей) и бактерий.

«Наша цель была достигнута», — утверждает ведущий научный сотрудник *BioCassava Plus*, сотрудник Центра растениеводства им. Дональда Дэнфорта в Сент-Луисе Ричард Сеир (Richard Sayre). Все новые трансгенные сорта в настоящее время проходят полевые испытания в Пуэрто-Рико, получены разрешения на полевые испытания в Нигерии. По словам Сеира, применяя классические методы селекции, можно получить маниок с высоким содержанием бета-каротина, но вывести растение с высоким содержанием железа и цинка пока удавалось только при помощи генной инженерии. Сегодня группа Сеира работает над выведе-

нием гибрида, включающего все эти компоненты. Работы финансируются Фондом Билла и Мелинды Гейтс и корпорацией Monsanto (последняя оставляет за собой право взимания части прибыли от использования новых сортов, если общий доход фермера превышает \$10 тыс. в год).

Исследователь из Университета Фрайбурга Петер Байер (Peter Beyer) считает достижения *BioCassava Plus* революционными. Вывести генетически модифицированные растения, у-

тверждает Байер, можно быстро, но вот на то, чтобы доказать их безопасность для окружающей среды и потребителя и получить сорта, удовлетворяющие местным вкусовым пристрастиям, уходит от десяти до 12 лет. «Контролирующие органы просто не разрешают продвигать генетически модифицированный сорт так же быстро, как выведенный обычными методами», — говорит он.

Итак, генно-инженерные методы не намного быстрее обычных, однако существенно дороже. Более того, гены, дающие хороший результат в одном сорте растений, могут гораздо хуже функционировать в другом. «Многие слепо верят в генную инженерию», — говорит Даг Гуриан-Шерман (Doug Gurian-Sherman) из «Союза обеспокоенных ученых». Как следствие, это направление финансируется непропорционально больше других. «Непростительной ошибкой было бы класть все яйца в одну корзину», — добавляет Гуриан-Шерман в надежде на то, что общественные фонды смогут помочь восстановить равновесие.



ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МАНИОК

сколько генетически различных популяций клеток. Существуют два основных вида химеризма. При секториальном химеризме разнородные ткани расположены крупными участками. Рост таких растений нестабилен: одна ткань растет быстрее и вскоре завоевывает весь побег. При периклиальном химеризме ткани располагаются слоями друг над другом, и такой организм более устойчив. Коллектив Университета Бразилиа пытается получить стабильные периклиальные химерные сорта маниока с помощью прививок тканей манисоты. У таких сортов после посадки может происходить постоянное разрастание корней. Сегодня химерные сорта продемонстрировали хорошую урожайность и высокую засухоустойчивость.

Из всего сказанного следует, что маниок должен быть в центре внимания сельскохозяйственных наук, однако это не так: он изучается лишь несколькими коллективами. Наверное, это тропическое расте-

ние возделывается слишком далеко от исследовательских лабораторий развитых стран. Как бы то ни было, из-за нехватки научных разработок средний урожай маниока в странах Южной и Центральной Америки и Африки не превышает 14 т с гектара, тогда как по данным полевых испытаний при некоторых усовершенствованиях он может стать вчетверо выше и накормить гораздо больше людей — как в областях произрастания, так и в других регионах.

Однако в последнее время ситуация стала меняться. Исследователи из Центра растениеводства им. Дональда Дэнфорта в Сент-Луисе начали работы по внедрению в маниок генов от других растений или бактерий для повышения его питательной ценности и сроков хранения (вставка сверху).

Можно надеяться, что недавно завершившаяся расшифровка генома маниока откроет новые перспективы в создании трансгенных сортов этого растения. Кроме того, она по-

зволит усовершенствовать обычные методы селекции с помощью генетических маркеров — т.е. применения генетического анализа для более направленного отбора нужных признаков. Объединение усилий научных коллективов, изучающих маниок, позволит, наконец, в полной мере использовать все возможности этого ценного продукта. ■

Перевод: Н.Н. Алипов

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Back to the Future of Cereals. Stephen A. Goff and John M. Salmeron in Vol. 291, No. 2, pages 42–49; August 2004.
- Future Farming: A Return to Roots? Jerry D. Glover, Cindy M. Cox and John P. Reganold in Vol. 297, No. 2, pages 82–89; August 2007.
- Failure to Yield: Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops. Doug Gurian-Sherman. Union of Concerned Scientists, 2009. Доступно онлайн www.ucsusa.org/food_and_agriculture.

ТРАНСПОРТ



Стюарт Браун

РЕВОЛЮЦИОННЫЕ пути

Скоростные поезда приходят в США

В том, что касается междугороднего сообщения, а именно пассажирских перевозок поездами, Америка до неприличия отстает от многих других стран. Каждый, кто побывал в Европе, Японии или Китае, знает, что поезда, скорость движения которых составляет около 320 км/ч, стали неотъемлемой частью транспортной системы многих стран. Знаменитые «пули», поезда *Tokaido Shinkansen* Центральной железной дороги Японии сообщением Токио — Осака, за последние полвека перевезли миллиарды пассажиров, причем общая продолжительность по-



СКОРОСТНАЯ ЛИНИЯ. Планируемая скоростная линия Калифорнийской железной дороги станет, вероятно, первой истинно высокоскоростной железнодорожной линией в США. На ее создание выделено больше \$11 млрд, а строительство может начаться уже в 2011 г.

ездки оказывалась вдвое меньше, чем в случае перелета на самолете (врезка на следующей стр.). Средняя скорость недавно пущенных по маршруту Мадрид — Барселона поездов-экспрессов — 240 км/ч. За два года со времени ввода их в эксплуатацию воздушный трафик между этими городами сократился на 40%. А вот скорость «показательного» поезда *Acela* компании *Amtrak*, курсирующего между Вашингтоном и Бостоном, составляет всего 113 км/ч. Дело в том, что на многих участках пути разгон до более высоких скоростей недопустим из соображений безопасности, хотя сам поезд способен разогнаться более чем до 240 км/ч. Представьте себе Ferrari на ухабистом проселке.

Но скоро все изменится. В начале нынешнего года Министерство транспорта объявило получателей ассигнований из восьмимиллиардного Фонда развития сети высокоскоростных пассажирских линий по всей стране. В 2010 г. федеральный бюджет запросил еще по \$1 млрд в год на строительство таких линий в течение пяти лет. А в 2008 г. жители Калифорнии на референдуме одобрили выделение \$9 млрд

для запуска грандиозного проекта строительства скоростных пассажирских линий, которые должны связать Лос-Анджелес с Сан-Франциско, а впоследствии с Сакраменто и Сан-Диего.

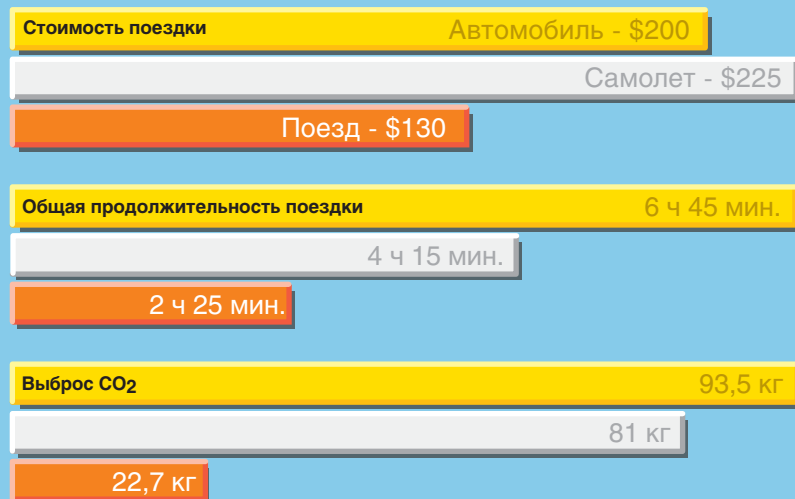
Какой именно тип пассажирского транспорта будет создаваться, пока остается неясным. За десятилетия, прошедшие с тех пор, когда федеральное правительство последний раз занималось железными дорогами как эффективным ви-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В отличие от Японии, Франции и других стран, в США нет по-настоящему скоростных поездов.
- Недавний приток федеральных денег возродил надежду на то, что давно задуманные проекты будут, наконец, осуществлены.
- В число этих проектов входят как классические (рельсовые) железные дороги, так и дороги с поездами на магнитной подвеске.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Некоторые достоинства высокоскоростных поездов можно проиллюстрировать на примере линии Токио — Осака протяженностью 515 км. Приведенные ниже цифры относятся к поездке в один конец между деловыми центрами этих городов



ИСТОЧНИКИ: Главное контрольное управление США, Бюро транспортной статистики, Центральная железная дорога Японии.



▲ **АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ путь.** Скоростные поезда-«пули» *Tokaido Shinkansen* перевозят по 150 млн пассажиров в год

дом общественного пассажирского транспорта, технология ушла далеко вперед. Линии высокоскоростных поездов распространились по Европе, а в последнее время появились и в КНР.

Понятие «высокая скорость» в указаниях по использованию стимулирующего фонда также можно толковать по-разному. Федеральные власти, жаждущие распределить средства по как можно большему

числу регионов, финансируют совокупность поэтапных усовершенствований существующих железнодорожных линий. Во многих случаях такие проекты позволяют лишь незначительно увеличить скорость пассажирских поездов.

На другом конце спектра технических достижений некоторые усилия направлены на замену классических рельсовых железных дорог системами поездов на магнитной подвеске (маглев, от англ. *magnetic levitation*), где пассажирские вагоны «плывут» над бетонной эстакадой-направляющей или монорельсом. В пользу этой технологии свиде-

тельствует ряд факторов. Несмотря на то, что подобные системы разрабатываются уже много десятилетий, первая (и единственная) такая система была введена в коммерческую эксплуатацию только в 2004 г. Для горных районов США с крутыми уклонами, непреодолимыми для стандартных железных дорог, система с магнитной подвеской — единственное технологически приемлемое решение. А самое главное возможно, в том, что технология маглев получила поразительный кредит доверия у выдающихся специалистов по строительству и эксплуатации скоростных дорог во всем мире.

Вариант с магнитной подвеской

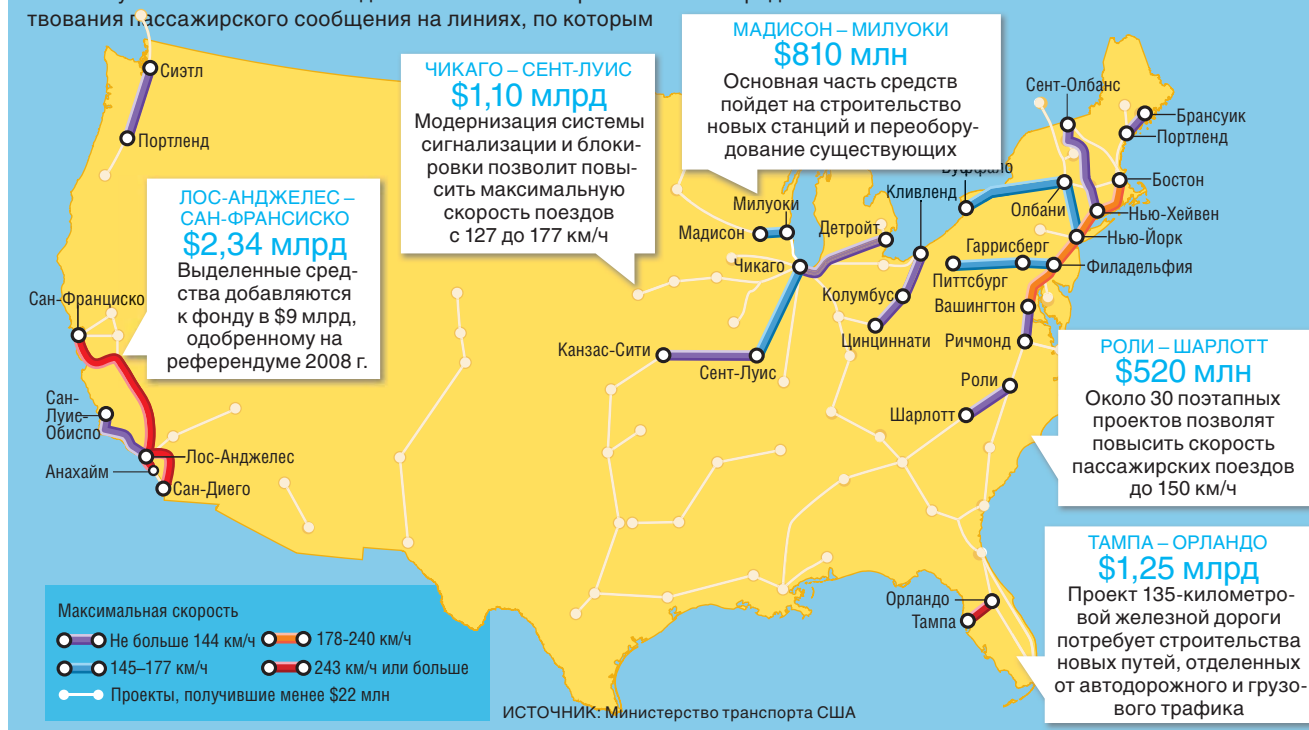
Центральная железная дорога Японии (*CJR*) имеет самый большой в мире опыт эксплуатации скоростных поездов: ее элегантные составы *Tokaido Shinkansen* связывают густонаселенные регионы Токио, Нагои и Осаки с 1964 г. Однако сегодня практика их эксплуатации подталкивает интерес *CJR* к поездам на магнитной подвеске. Каждую ночь на очередной 20-километровый участок магистрали *Tokaido Shinkansen* выходит передвижная группа из 3 тыс. путевых рабочих, которые обследуют полосу отчуждения, заменяют изношенные элементы, тщательно проверяют и рихтуют рельсовый путь. И эта работа никогда не кончается.

Компания вынуждена оплачивать эти дорогостоящие работы, т.к. даже незначительные неровности пути могут вызвать в скоростных поездах сильные вибрации. Эти вибрации в свою очередь ускоряют износ и разрушение инфраструктуры (конструкции). С увеличением скорости поездов износ рельсов, колес подвижного состава и проводов контактной сети растет по экспоненциальному закону. Истинно высокоскоростные поезда убийственны для материальной части. Если ночные рабочие, обслуживающие участок линии *Tokaido Shinkansen*, не укладываются в срок, нарушает-

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЭКСПРЕСС

В январе правительство объявило получателей \$8 млрд из фонда стимулирования скоростных пассажирских линий. Максимальные суммы достались истинно высокоскоростным проектам для Калифорнии и Флориды; остальные деньги могут быть использованы для поэтапного совершенствования пассажирского сообщения на линиях, по которым

осуществляются и пассажирские, и грузовые перевозки. Цветными линиями на карте обозначены все проекты, на которые было выделено больше, чем по \$25 млн. Во вставках приведены сведения о пяти проектах, получивших наибольшие средства



ся весь суточный график движения 309 поездов.

Чтобы избавиться от этих трудностей, *CJR* намерена построить высокоскоростную линию *Tokaido Shinkansen Bypass* с поездами на магнитной подвеске. Завершение строительства намечено на 2025 г. И несмотря на то что она не будет первой в мире (30-километровая линия, соединяющая шанхайский аэропорт с деловым центром города, действует с 2004 г.), ее протяженность в 290 км несомненно поразит воображение. В июне прошлого года глава *CJR* Йошиюки Касаи (Yoshiyuki Kasai) сообщил собранию специалистов по транспорту в Вашингтоне, что в итоге система маглев окажется дешевле традиционной железной дороги, поскольку ее обслуживание в течение всего срока службы потребует гораздо меньших затрат. *CJR* утверждает также, что новая система позволит сокра-

тить продолжительность поездки, т.к. разгон и торможение поездов на магнитной подвеске происходят намного быстрее, чем колесных.

Существенным плюсом внедрения данной технологии в США оказывается и то, что тяга системы с магнитной подвеской позволит преодолевать поездам намного более крутые подъемы, чем те, что доступны классическим рельсовым составам. Только поезда на магнитной подвеске смогут покорить гористые местности Запада США.

Проблемой для классической технологии становится тяга. Сцеп-

ление стальных колес локомотива со стальными рельсами имеет предел, при его превышении колеса начинают буксовать (проскальзывать), и поезд останавливается. Такие частые и непредсказуемые явления, как дождь, снегопад, лед и даже мокрые листья, налагают предел на крутизну подъемов, которые способен преодолевать поезд, и уклонов, по которым он может безопасно спускаться. Из-за этого крутизна уклонов на железных дорогах США, как правило, не превышает 3%, а в большинстве случаев составляет не больше 2%.

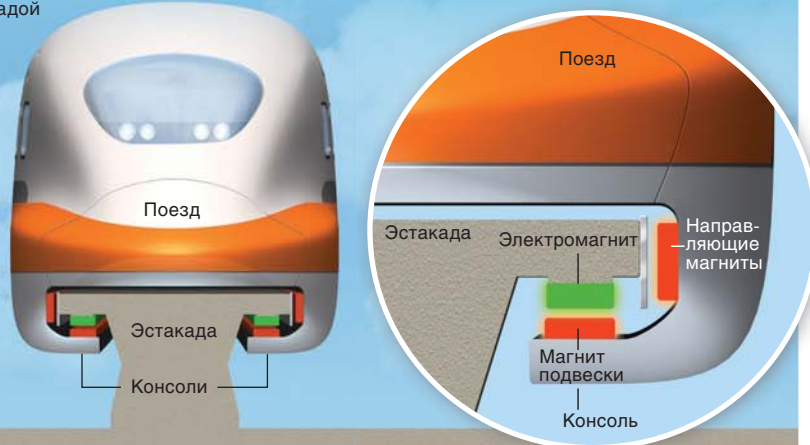
ОБ АВТОРЕ

Стюарт Браун (Stuart F. Brown) — редактор журнала *Scientific American*. Пишет о проблемах железнодорожного, автомобильного водного и воздушного транспорта и космической техники с 1984 г. Его работы получили признание Американской ассоциации технических обществ, Американского химического общества и Института инженеров по электротехнике и электронике.

ПОЕЗДА НА МАГНИТНОЙ ПОДВЕСКЕ

Центральная железная дорога Японии объявила о намерении построить 320-километровую линию для поездов на магнитной подвеске. В этой системе поезда приподнимаются над бетонной эстакадой — направляющей магнитным полем, тяга также создается магнитным полем. Отсутствие трения между стальными колесами и рельсами позволяет не только увеличить скорость, но и существенно уменьшить износ и пути, и подвижного состава, что снижает эксплуатационные затраты. Проектировщики в Колорадо, Неваде и Калифорнии надеются внедрить подобные системы в США

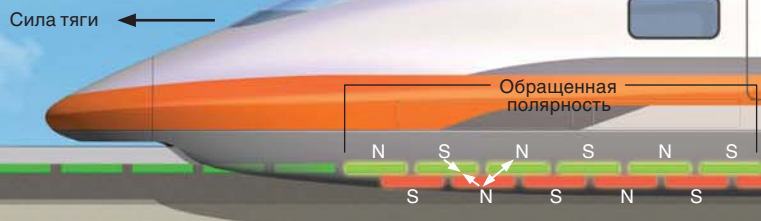
▼ **МАГНИТНАЯ ПОДВЕСКА.** По бокам вагонов поезда располагаются консоли, огибающие запялки бетонной эстакады и заходящие под нее. На этих консолях укреплены магниты. Электромагниты на нижней стороне запялков эстакады притягивают магниты консолей, «вывешивая» состав. Сложная система управления регулирует силу притяжения в соответствии с весом вагонов, удерживая их на постоянной высоте над эстакадой. Дополнительные направляющие магниты по бокам обеспечивают центровку состава над эстакадой



▼ **СОЗДАНИЕ ТЯГИ.** Традиционные поезда приводятся в движение локомотивами. В системе с магнитной подвеской основную часть работы по созданию тяги выполняет эстакада. Внутри нее переменный ток создает бегущее магнитное поле, которое тянет магниты подвески вагонов вперед. При помощи изменения частоты тока поезд можно разогнать или тормозить. При этом ток всегда проходит только по тому участку эстакады, над которым непосредственно находится в данный момент состав



Через долю секунды переменный ток меняет полярность магнитного поля. Магниты, которые создавали силу притяжения, теперь создают силу отталкивания и наоборот. В результате поезд движется вперед



В системе на магнитной подвеске контакт сталь-сталь отсутствует, поэтому крутизна уклонов не составляет проблемы. Маглев способен преодолевать подъемы крутизной до 10%, что позволяет проектировщикам выбирать в холмистых местностях более короткие трассы.

Кроме того, технология магнитной подвески позволяет развивать скоростной транспорт в регионах, недоступных для других видов транспорта. Управление железной дороги Скалистых гор (RMRA) недавно закончило полуторагодовое исследование возможности строительства двух пересекающихся скоростных линий протяженностью около 640 км, параллельных автострадам север — юг и восток — запад в штате Колорадо. Оно пришло к выводу, что необходимо использовать поезда на магнитной подвеске, потому что некоторые уклоны на трассе достигают 7%. «Вы ведь проезжаете через Скалистые горы», — говорит директор RMRA Харри Дейл (Harry Dale). Он добавляет, что благодаря использованию магнитных сил, а не механического сцепления для создания тяги и торможения, «проблемы снега и льда снимаются».

Дейл считает, что поезда компании *Transrapid International*, совместного предприятия германских фирм *Siemens* и *ThyssenKrupp*, подойдут. Именно *Transrapid* обеспечила подвижным составом шанхайскую линию, которая уже перевезла более 17 млн пассажиров, развивая скорость 430 км/ч. В поездах компании *Transrapid* используются обычные электромагниты, а японцы исследуют возможность использования сверхпроводящих, подобных установленным в Большом адронном коллайдере. Сверхпроводящие электромагниты позволяют увеличить дорожный просвет поездов в качестве предохранительной меры на случай землетрясений, но они требуют охлаждения жидким гелием, а дело это дорогое и сложное.

Быстрый маршрут

Конкурирующие предложения для строительства пассажирской ли-

нии, которая должна соединить Лас-Вегас с Южной Калифорнией, лишний раз показывают, насколько важной может оказаться технология маглев. Городские планировщики десятки лет мечтали связать Лас-Вегас с Лос-Анджелесом. «Это идеальный коридор для высокоскоростных поездов, ведь вы соединяете крупнейшие в Америке районы развлечений с одним из наиболее населенных центров», — сказал инженер Томас Бордо (Thomas Bordeaux), старший менеджер по транспорту компании *Parsons Transportation* из Лас-Вегаса. Расстояние между этими городами составляет 434 км, т.е. лежит в «золотом» интервале от 160 до 800 км, где путешествие на поезде удобнее как поездки на автомобиле, так и полета на самолете. А ландшафт между этими городами — пески и кустарники, т.е. чистый лист, на котором можно рисовать трассы.

К сожалению, котловину Лос-Анджелеса с востока ограждают хребты Сан-Бернардино и Сан-Джасинто. Любая скоростная линия, пересекающая эти природные барьеры, должна будет иметь уклоны до 7%, доступные только для поездов на магнитной подвеске. Проект сверхскоростных поездов Калифорния — Невада имеет целью использовать именно такие поезда, чтобы связать Лас-Вегас с Анахаймом, большим городом чуть южнее Лос-Анджелеса.

Альтернативу проекту маглев представляет трасса, вообще не входящая в котловину Лос-Анджелеса. Проект *DesertXpress* («Пустынный экспресс») предусматривает строительство традиционной скоростной железной дороги, которая должна связать Лас-Вегас с Викторвиллом, аванпостом Лос-Анджелеса, расположенным на большой высоте в пустыне в полутора с лишним часах езды от центра города. Хотя этот проект не требует применения передовой технологии, он не позволит доставлять пассажиров в любое место, куда они захотят попасть.

Кроме того, *DesertXpress* не предусматривает соединения с проекти-

руемой трассой — Калифорнийской скоростной железной дорогой, которая должна связать Лос-Анджелес с Сан-Франциско. Это один из двух проектов, которые получили финансирование из фонда стимулирования (вторым был проект 135-километрового маршрута, соединяющего Тампу с Орландо во Флориде). Когда средства из фонда стимулирования добавятся к тем \$9 млрд, выделение которых было одобрено в 2008 г. на референдуме, калифорнийский проект будет располагать более чем четвертью от \$40 млрд — суммы ожидаемой стоимости затрат на его реализацию. Строительство может начаться уже в 2011 г.

Выделенные пути

Независимо от того, какая используется технология — магнитной подвески или обычная рельсовая, — необходимым требованием безопасности движения скоростных поездов становится выделение для них отдельного пути; исключения недопустимы. Именно поэтому даже сравнительно медленная линия *Acela* компании *Amtrak*, использующая колеи, по которым ходят обычные пассажирские и товарные поезда, была изначально бесперспективна.

Второе необходимое требование — отсутствие переездов: именно на переездах происходит большинство крушений. Люди постоянно пытаются объехать закрытый шлагбаум, надеясь проскочить. Пешеходы, не зная, что шум от приближающегося скоростного поезда очень слаб, выходят на пути и замечают опасность только тогда, когда спасаться уже поздно. Для того чтобы избежать подобных трагедий, может потребоваться строительство множества подземных или надземных переходов и тоннелей.

Почему же США так долго не брались за уже готовые технологии? Ответ прост: пассажирские поезда какое-то время не были приоритетом для федеральных властей. Страна десятилетиями строила междугородные автодороги и аэропорты, а инвестиции в строитель-

МАГНИТНАЯ ПОДВЕСКА И РЕЛЬСОВЫЕ ДОРОГИ

Сравнение перечисленных ниже существующих и планируемых скоростных дорог показывает, что стоимость проекта в большой степени зависит от местных условий. Самые важные факторы — рельеф местности, по которой проходит трасса (в горных регионах затраты больше), плотность населения, стоимость труда и применяемая технология



ство путей, пригодных для скоростных поездов, фактически свелись к нулю. Американские железные дороги превратились в пути почти исключительно для товарных и медленных пассажирских поездов.

Однако в последнее время движение за экологичный транспорт в сочетании с осознанием того, что автодороги и аэропорты уже сильно перегружены, может сделать скоростные поезда привлекательными, по крайней мере в некоторых ключевых регионах страны. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- High Speed Passenger Rail. Report of the U.S. Government Accountability Office, GAO-09-317, March 19, 2009, www.gao.gov/products/gAo-09-317
- The Third Way: Will a Boom in Government Investment Bring True High-Speed Rail to the U.S.? Michael Moyer in *Scientific American*, Vol. 301, No. 2, pages 15–16; August 2009.
- Сайт управления Калифорнийской железной дороги: www.cahighspeedrail.ca.gov
- Демонстрация технологии поездов на магнитной подвеске Transrapid: <http://bit.ly/transrapid>

ИННОВАЦИОННЫЙ **фиан**

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) уже в течение длительного периода осуществляет прорывные проекты

Группой под руководством доктора физико-математических наук Е.И. Демихова создан российский сверхпроводящий соленоид для магнитно-резонансной томографии. Два года назад ученые взялись заполнить рыночную нишу — сделать конкурентоспособный на мировом рынке российский прибор. По мнению Е.И. Демихова, известные сегодня магнитно-резонансные томографы различаются по способу получения магнитного поля, при этом от величины этого поля обратно пропорционально зависит время исследования. И это очень важно, т.к. находясь внутри томографа, пациент должен быть неподвижен. Учеными был создан сверхпроводящий соленоид с полем в 1,5 Тл, исследование томографом на его основе займет всего несколько минут, а сам томограф будет обладать разрешением 0,6 мм. Это означает, что исследуя с помощью такого прибора внутренние органы и ткани человека, врачи смогут видеть объекты размера артерий. Для охлаждения соленоида до критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние и ее поддержания используется специально разработанный для этого криостат с «нулевым парением», осуществляющий принцип безжидкостного охлаждения. Изготовлен макет будущего магнитно-резонансного томографа для ис-

следования конечностей. Одна из особенностей томографа ФИАН — отсутствие магнитного поля вне томографа, что достигается наличием специального компенсирующего магнита, за счет которого максимальное внешнее магнитное поле не выходит за пределы 5 мТл на расстоянии 0,5 м от томографа. По мнению Демихова, дело осталось за разработкой электроники, необходимой для получения изображения, а также необходим красивый дизайн. Работу предполагается закончить к концу 2010 г. В 2011 г. планируется вывод опытных образцов МРТ на рынок. Следующим шагом будет разработка магнитно-резонансного томографа с полем в 3 Тл для диагностики всего тела человека. При таком повышении поля с помощью томографа можно будет увидеть детали человеческого организма размером до 0,2 мм.

В современной науке чрезвычайно важно научное сотрудничество. Сотрудники ФИАН совместно с учеными Московского физико-технического института (МФТИ) и Института физики НАН Украины разработали методику создания новых планарных металлоорганических структур для создания электролюминесцентных источников света субмикронных размеров с управляемым спектром излучения. Исследователи предлагают свой вариант

создания источника, в спектре которого подавлены «лишние» компоненты излучения, а основная энергия приходится на видимый диапазон. Сотрудник ФИАН, входящий в исследовательскую группу, кандидат физико-математических наук Д.А. Чубич отмечает, что методика изготовления планарной структуры состоит в термическом напылении пленки золота в зазор размером 30 мкм между двумя плочными электродами на стеклянной подложке. Работа эта производится в сверхвысоком вакууме при давлении около 10 торр. Получаемая пленка — не сплошная, а состоит из отдельных островков (так называемая металлическая островковая пленка). Такая структура была исследована уже давно. Российские ученые изучали не просто металлическую пленку, а композит, т.е. напыляли на нее сверху слой органики. В этом случае вклад в излучение дает не только сама пленка, но и органический компонент. При этом, если ее подбирать, то можно варьировать характер спектра. Таким способом возможно создавать субмикронные (менее 1 мкм) источники света с управляемым спектральным составом. В отделе люминесценции ФИАН были созданы планарные светоизлучающие устройства на основе островковых пленок золота и комплексов редкоземельных металлов — европия (Eu) и тербия

(Tb), а также установлен механизм электролюминесценции структуры, в которой доминирует органический компонент. Как выяснили ученые, планарные структуры на основе β -дикетонатов редкоземельных элементов могут служить источниками света субмикронных размеров с узким спектром излучения в красной (органические комплексы Eu) и зеленой (органические комплексы Tb) областях спектра. По мнению ученых, работа может быть развернута в целый комплекс исследований по созданию различных по свойствам планарных светоизлучающих устройств.

Другое достижение ФИАН в сотрудничестве с томским Институтом сильноточной электроники СО РАН — создание первой в мире компактной установки для рентгеновской радиографии сверхмалых объектов. Ученые констатируют: то, что раньше занимало площади в квадратные метры, теперь свободно умещается на краешке письменного стола. «Параметры X-пинча по-

лучившейся установки — по энергетике, по размеру источника и по длительности импульса излучения — близки к тем, которые дают большие установки, наподобие нашей БИН или американской XP . Но пока это только прототип мобильной установки для радиографии, его нужно еще усовершенствовать. Например, для того чтобы натянуть микронной толщины проволоочки в виде X-пинча, требуется достаточно высокая квалификация персонала, а их необходимо перезаряжать каждый раз перед тем, как сделать следующую экспозицию. Для этого нужно открыть вакуумную камеру, перезарядить проволоочки, откачать воздух обратно, и на это уходит около часа. Исследователи хотят уйти от этих неудобств и работают над разработкой системы автоматической перезарядки проволоочек X-пинча. Необходимо также отказаться от фотопленок, чтобы в окончательном варианте генератора осуществлялась электронная регистрация рентгенограмм, например на ПЗС-матрицы.

Группой томских разработчиков (С.А. Чайковский, В.Ф. Федущак, А.В. Федюнин и др.) был изготовлен компактный генератор тока на основе сверхмалоиндуктивных конденсаторов и быстрых газовых коммутаторов. Нагрузка генератора в виде X-пинча была создана и оптимизирована для работы в качестве точечного источника мягкого рентгеновского излучения уже в ФИАН. Показательно, что в экспериментальных работах активно участвовали студенты кафедры электрофизики Московского физико-технического института (это одна из трех кафедр научно-образовательного центра МФТИ-ФИАН), которой руководит директор ФИАН Г.А. Месяц.

В планах — коммерциализация достижений и новые разработки. Тем самым ФИАН в современных условиях доказывает свою инновационность. ■

Дмитрий Мисюров
(По материалам
АНИ «ФИАН-информ»)

www.sciam.ru

Оформить подписку можно по телефонам:
544-41-61 и 727-35-30

ежемесячный научно-информационный журнал

В мире науки

ЛУЧШИЕ МАТЕРИАЛЫ
ЖУРНАЛА «В МИРЕ НАУКИ»,
О КОСМОСЕ —
ТЕПЕРЬ НА CD-ДИСКАХ

SCIENTIFIC AMERICAN
в мире науки

КОСМОС

АЛЬМАНАХ

Потерянная планета
Загадочный Марс
Теория струн
План Вселенной

ПОХОД ПО МУЗЕЯМ

Впервые после революций начала прошлого века в нашей стране предпринята крупномасштабная акция проверки состояния музейного дела и сохранности музейных собраний всех уровней

Комплексная ревизия состояния культурных ценностей, хранящихся в фондах музеев Российской Федерации, длилась, начиная с 2007 г., около двух лет. Задачами этой обширной программы были проверка наличия, состояния учета и хранения культурных ценностей. Работали специальные экспертные комиссии, состоящие из представителей Министерства культуры России, Росхранкультуры и ее территориальных органов, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, а также из различных привлеченных экспертов и специалистов. В ходе работы комиссий особенное внимание уделялось проверке и обеспечению сохранности музейных предметов, ведению их учета, анализу общих характеристик материально-технической базы музеев, фондохранилищ, экспозиционных помещений, проверке соблюдения законодательства. Экспертные комиссии провели 152 ревизии федеральных и региональных музеев, проверки проводились в ряде субъектов Российской Федерации. Под особый контроль были взяты музеи ведения Минкультуры России. Аналога подобной акции в истории страны найти практически невозможно. Это самая крупная музейная проверка с 1917 г. Судите сами: в соответствии с техническим заданием проверке подлежало 1634 музея всех уровней ведения. Проверено 1828 федеральных и региональных музеев с общим фондом, на-

считывающим около 72 млн единиц хранения. Вне плана проверено 215 музеев, созданных в 2007–2008 гг.

Кто виноват?

За многие десятилетия в музейном деле накопилось огромное количество проблем. Чтобы поднять его на новый уровень развития, следовало эти проблемы сначала выявить. Их поиск дал нам сегодня буквально наглядные примеры того, какие именно изменения нужно вносить во все музейное дело. Перечислим основные системные трудности музейной сферы.

В первую очередь, это дефицит фондовых, а также реставрационных площадей, их неудовлетворительное состояние, слабое материально-техническое оснащение. Около 80% музеев страны размещены в зданиях, не приспособленных в полной мере для хранения и представления музейных предметов и музейных коллекций. 36% музейных зданий и помещений требуют капитального ремонта, около 7% зданий признаны аварийными. Площадь, отведенная под хранение фондов в федеральных музеях, составляет в среднем по стране около 10% от общей площади помещений музеев. На один квадратный метр фондовых площадей приходится от 200 до 500 единиц хранения. Не более 10% всех музеев располагают отдельными помещениями для своих фондов и реставрационных мастерских. По предварительным оценкам, потреб-

ность в строительстве новых фондохранилищ в стране составляет 500 тыс. кв.м. Налицо острый дефицит современного специального музейного оборудования, отвечающего всем требованиям сохранности экспонатов, а также явная нехватка систем климатического контроля и вычислительной техники, без которой невозможно внедрять современные методики учета культурных ценностей. Во многих случаях из-за отсутствия необходимого финансирования музеи не могут обеспечить надлежащий уровень защиты и безопасности коллекций. Ряд субъектов Российской Федерации не имеет отвечающих современным требованиям выставочных помещений, изолирован от единого музейного пространства и не может участвовать в выставочной и научной деятельности.

Вторая проблема касается кадров. Проведенные проверки выявили повсеместные типичные нарушения существующего законодательства в сфере музейного дела. Нарушаются федеральные законы, постановления правительства РФ, ведомственные нормативные акты как в сфере учета музейных предметов, так и в сфере их хранения. Полученные показатели демонстрируют низкий уровень организации правового обеспечения деятельности многих региональных и муниципальных музеев как со стороны их непосредственных руководителей, так и со стороны учредителей. Подобный уровень организации учетно-

хранительской работы во многом определяется проблемами профессиональной подготовки музейных кадров. Показатель: две трети муниципальных музеев не осуществляют вторую стадию учета — научную инвентаризацию музейных предметов. В штатных расписаниях ряда музеев отсутствуют не только должности ответственных хранителей, но порой и должность главного хранителя музея. Уровень оплаты труда для занятых в этой отрасли специалистов остается крайне низким, а это отрицательно влияет на само понятие о профессии и на ее престиж.

Третья, не менее важная проблема, — отсутствие планомерного и систематического контроля над сохранностью культурных ценностей, находящихся в музеях Российской Федерации, со стороны ряда учредителей. Упомянутые проверки показали высокую степень зависимости состояния дел в музеях от позиций руководства некоторых федеральных органов, органов субъектов РФ и местного самоуправления. Там, где уделяется достаточное внимание работе подведомственных музеев и существует понимание специфики их деятельности, работа по учету, хранению и представлению музейных фондов проводится, как правило, на более высоком уровне. В местах, где подобное отношение отсутствует, отмечаются наиболее серьезные проблемы.

Что делать?

Итак, что следует предпринять и что уже сегодня предпринимается в важнейшей отрасли культуры и образования — музейном деле, благодаря которому осуществляется связь поколений, интеллектуальное формирование и развитие нации?

В целях решения системных сложностей с учетом концептуальных предложений Союза музеев России начата разработка подпрограммы «Обеспечение сохранности Музейного фонда Российской Федерации», которая станет частью проек-

та Федеральной целевой программы «Культура России» на 2012–2016 гг.

Помимо создания в регионах центров хранения музейных ценностей, строительства и оборудования фондохранилищ, реставрационных мастерских и других музейных помещений, в проект подпрограммы планируется включить мероприятия по кадровому обеспечению отрасли, направленные на повышение престижа музейных профессий, увеличение числа высших учебных заведений, готовящих специалистов-музейщиков, и на модернизацию программ по подготовке такого рода специалистов. Возможно, что существующие трудности муниципальных музеев могли бы отчасти решаться с помощью более тесного взаимодействия региональных и местных властей в вопросах сохранения музейных собраний. Формами такого взаимодействия могли бы стать периодические совещания руководителей органов исполнительной власти и местного самоуправления, организация деятельности региональных научно-методических центров и регулярное проведение контрольных мероприятий. Особая значимость сохранения культурного наследия в целом и Музейного фонда РФ в частности требует участия федеральных органов исполнительной власти. Для того чтобы обеспечить равный доступ всех посетителей к хранящимся в музеях Российской Федерации культурным ценностям, а также для их непосредственной популяризации сегодня создаются общий информационно-справочный ресурс и информационно-справочная система утрат музейных предметов, выявленных по результатам проверки.

В Министерстве культуры РФ находятся на рассмотрении различные предложения для дальнейшего развития программы по сохранению музейных ценностей и улучшению обеспечения их хранения. В целом же по предварительным итогам осуществленной проверки состояние Музейного фонда

Российской Федерации можно назвать на данный момент удовлетворительным. В Министерстве культуры обсуждается предложение президента Союза музеев России М.Б. Пиотровского по проведению «музейной амнистии». Суть ее сводится к тому, чтобы предметы, утраченные в 1920–1950-е гг., списанные в неуставленном порядке и отсутствующие в музеях согласно итогам сверок 1970–1980-х гг., списать соответствующим нормативно-правовым актом Минкультуры России. В то же время предполагается, что «амнистия» не будет распространяться на предметы, которые были похищены и находятся в розыске МВД России, равно как и на разрушенные предметы и на выявленные после 1991 г. как отсутствующие по неуставленным причинам. Возможность их списания следует рассматривать только в строго установленном порядке.

В стадии рассмотрения находится предложение о регулярном проведении на местах выездных семинаров по вопросам обеспечения сохранности и безопасности музейных коллекций, а также других мероприятий по методическому и правовому сопровождению деятельности музеев, способствующих повышению профессионального уровня сотрудников. В равной степени музейной сфере поможет мониторинг для определения необходимого количества площадей, требуемых для выведения музеев из сооружений культового назначения. И, безусловно, дальнейшее предусмотрение и выделение органами исполнительной власти субъектов РФ целевых средств для создания единых региональных баз данных музейных коллекций.

Мы в свою очередь будем информировать наших читателей о дальнейших результатах более чем двухгодичной ревизии музейных ценностей, публикуя как новые цифры, так и сведения о действиях, предпринимавшихся для сохранения культурного наследия. ■

Материал подготовил
Алексей Устинов

биология для жизни

О пользе биологического просвещения, о биологической грамотности как важной части культуры современного человека размышляет ведущий научный сотрудник биологического факультета МГУ, кандидат биологических наук **Людмила Васильевна Пивоварова**

Настоящее время характеризуется развитием высоких технологий, среди них серия биологических открытий и технологий, способных не только внести существенный вклад в развитие сельского хозяйства, медицины, но изменить наши мировидение и повседневную жизнь. Все это происходит на фоне системного кризиса, в котором оказались связанными в единое целое экономические, геополитические, социальные проблемы, а также стабильность биоты, здоровье граждан, загрязнение природной среды.

В таких условиях, когда наряду с усугубляющейся дифференциацией наук происходят интеграция знаний, расширение фундаментальных исследований природы, человека и их взаимодействия, требуется формирование нового стиля мышления и ответственности за принятые решения. Уместно вспомнить слова Альберта Эйнштейна, который предупреждал о том, что «мы не можем решать наши насущные проблемы, действуя на том же уровне мышления, на котором были тогда, когда их создавали».

О значимости биограмотности для биологов и небиологов

До середины XX в. понятие «грамотность» употреблялось лишь в первоначальном смысле — грамотность чтения, письма, счета. В конце прошлого века в недрах постиндустриального общества началось формирование информационного общества, в котором знания становятся

стратегическим ресурсом. В таком обществе умение принимать грамотные решения, работать с разрозненной информацией, искать альтернативы, прогнозировать последствия деятельности становятся ключевыми компонентами, которые обеспечивают высокий уровень профессиональной и жизненной компетентности человека, определяют его социальный кругозор, гражданскую ответственность.

В обществе знаний к основополагающим (ключевым) типам грамотности можно отнести и информационную, важнейшую при работе с информацией и принятии решений. Думается, что и биологическая грамотность должна быть отнесена к ключевому типу, поскольку способствует не только эффективной деятельности, но и сохранению самой среды деятельности.

Хотя значимость биограмотности пока не осознается в обществе полностью, но постепенно, по мере развития общественного сознания, придет понимание того, что она представляет собой прежде всего фактор развития личности, а в конечном счете — фактор сохранения жизни как феномена. Биологическая грамотность позволяет видеть изменения в природе и лучше адаптироваться и выживать в изменяющихся условиях. Без нее эффективность грамотности других видов (экономической, правовой и т.д.), особенно в области принятия решений и управления, становится недостаточной, т.к. будет иметь деструктивные последствия для природы и, соответственно, для человека.

Быть биологически грамотным — это не только иметь функциональную подготовку в области биологических дисциплин. Подобная грамотность предполагает правильность и уместность использования знаний при принятии решений любого уровня — от применения их в быту до межгосударственных отношений. Итак, биологическое образование приобретает социально-экономическое и даже политическое значение, определяет безопасность общества и биосферы.

Что такое интегративная биология?

Концепция вырабатывания биологической грамотности, в нашем представлении, должна базироваться на формировании целостной картины мира. Для этого используется интегративный подход, положенный в основу интегративной биологии как системы биологических знаний, интегрированных с другими естественнонаучными и гуманитарными знаниями в систему жизненных ценностей.

Интеграция знаний создает прецедент связи разных наук, выдвигая за рамки привычного восприятия биологии. Например, изучение темы «Современные биологические открытия» (в частности, клонирование) предполагает обсуждение влияния биологических открытий на биосферу, экономику, жизнь общества и ход истории.

Интегративная биология как новое научно-образовательное направление развивается на биологическом факультете МГУ группой

преподавателей и научных сотрудников (включая автора, а также профессора Т.Г. Корженевскую и старшего научного сотрудника И.Б. Запольнову). Организатором в становлении и развитии этого направления у нас в стране был профессор биологического факультета МГУ М.В. Гусев, в то время декан факультета. Он отмечал, в частности, что «биология — это нечто большее, чем просто одна из естественных наук дисциплин, а уровень грамотности населения в этой области вопиюще низок, что особенно опасно для небиологов».

Разработанная на биологическом факультете программа по формированию биологической грамотности учитывалась при становлении проекта ЮНЕСКО «Научная и техническая грамотность для всех».

Последствия, которые можно предотвратить

Почему биологическая грамотность именно специалистов-небиологов вызывает наибольшую обеспокоенность? Во-первых, они составляют большинство населения. Во-вторых, при недостаточном уровне владения биологическими знаниями, при отсутствии опыта их использования они принимают узко ведомственные, административные решения без объективной экологической экспертизы, основываясь на антропоцентрическом взгляде на природу и окружающий мир.

Такие решения квалифицируются как якобы экономически оптимальные, хотя не учитывают биологические и экологические риски, не прогнозируют результатов их воплощения для природы, для здоровья человека.

Последствия такого рода решений выявляются при строительстве промышленных зон в бассейнах рек, где зачастую концентрируется множество предприятий. Например, на притоке Амура р. Сунгари

(Китай) функционирует несколько промышленных объектов. Начиная с 1970 г., крупные аварии на химическом и нефтеперерабатывающем заводах регулярно происходят в этом промышленном регионе Китая. На участке российской акватории Амура до впадения в Охотское море располагаются крупные и малые города, проходит маршрут осетровых, обитают популяции эндемиков. Биологами описано богатейшее видовое разнообразие флоры и фауны этого региона. После серии чрезвычайных ситуаций в 2005–2006 гг. в атмосферу и воды Амура попали концентрированные кислоты, хлорсодержащие соединения, а также тяжелые металлы, уровень содержания фенольных соединений превысил сотни ПДК. *(Пока верстался номер, в Китае вновь произошла техногенная катастрофа: 28 июля в Сунгари, смытые паводком, попали 3 тыс. бочек с опасными химикатами. — Прим. ред.)*

Анализ подобных катастроф показал, что в таких ситуациях первый круг проблем представляют биологические и экологические. Происходят загрязнения грунта, подземной и питьевой воды, атмосферного воздуха, изменения в микробном сообществе почвы, воды и т.д. Под угрозой исчезновения находятся десятки видов животных. Постепенно токсичные вещества накапливаются в цепи питания от микроорганизмов до человека, они могут вызывать мутации и деградацию экосистем. Прогноз генетических последствий такого рода давления на популяции неблагоприятен.

Все это инициирует второй круг проблем медико-биологического характера, связанных с распознаванием источников заболеваний, поиском возбудителей, лечением людей и животных. Экологические и медицинские последствия приводят к серьезному экономическому ущербу, связанному с ресурсными



затратами на очистку систем водоснабжения, обеспечение химических и бактериологических исследований, восстановление рыбного хозяйства.

Третий круг проблем, порождаемых предыдущими, связан с социальными аспектами (экологическая миграция, безработица), вызывающими социальную напряженность. В случае если аварии затрагивают сопредельные страны, возникают сложные межгосударственные конфликты.

У природы нет ни внутренних, ни внешних границ, а общество и природа — единая взаимосвязанная система, причем в условиях глобализации взаимозависимость, как и антропогенный прессинг, только усиливается. Именно специалисты-небиологи, профессионалы, мировоззрение которых чаще всего ориентировано на корпоративные и технократические интересы, принимают социально и биосферно значимые решения. Уровень их биологической неграмотности и технократическое мировоззрение — ключевое звено в цепи социально и биологически рискованных действий.

Биологическая грамотность большинства населения будет способствовать формированию культуры сохранения здоровья, обновлению мировоззренческих принципов на основе нравственного отношения к природе, жизни человека. ■

Биологическая грамотность позволяет видеть изменения в природе и лучше адаптироваться и выживать в изменяющихся условиях

Беседовала Ирина Прошкина

Методы научного эксперимента



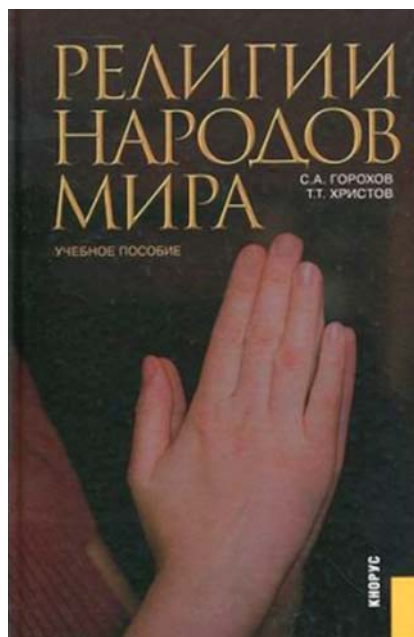
В процессе теоретических и экспериментальных исследований ученый сталкивается с необходимостью разработки моделей и их идентификации, проведения экспериментов и регистрации данных, обработки результатов и принятия решений. Для составления и интерпретации моделей необходимы знания в предметной области, однако в процессе организации и проведения научного эксперимента можно выделить ряд задач, являющихся общими и решаемых одними и теми же методами. В данной

книге изложены достаточно общие методы научного эксперимента (планирование эксперимента, измерение, моделирование и идентификация моделей, цифровая обработка сигналов), используемые при создании информационно-измерительных систем.

Книга написана на основе лекций по дисциплине «Математические и экспериментальные методы научного эксперимента» и рекомендована для подготовки студентов и магистров по соответствующим направлениям.

Афанасьева Н.Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента. М.: КНОРУС, 2010.

Знакомимся с религиями народов мира



Книга знакомит читателя с существующими в настоящее время религиями. Подробно описываются христианство, ислам, буддизм, индуизм, их история и развитие. Отдельная глава посвящена менее распространенным религиям (синтоизм, бахаизм), верованиям и традициям.

XX в., ставший веком свободы мысли и агностицизма, стал и временем отхода от религии. Приводя статистические данные, авторы делают попытку проанализировать причины такого упадка религиозности (в 1900 г. к неверующим отнесли себя только 0,3% населения Земли, а к 2000 г. они составляли 20% жителей планеты.) Многие исследователи связывают основную причину отхода населения от религии с политикой государственного атеизма, потреби-

тельским характером современного общества или разлагающим влиянием массовой культуры. По мнению авторов, такая точка зрения верна лишь отчасти: для каждой страны, для каждого народа существует свой не изменяемый веками уровень религиозности. От чего он зависит — вопрос открытый.

Заявленная как учебное пособие, книга отличается сильной теоретической базой повествования, приводимые в ней материалы находятся на стыке нескольких научных дисциплин и областей знания: географии, истории, культурологии, религиоведения, философии. Достоинство издания — и в том, что в нем характеристика вероучения, культа и религиозных праздников совмещается с описанием святых мест и центров паломничества.

Горохов С.А., Христов Т.Т. Религии народов мира: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2010.

Для всех, кто любит математику



Филиппов А.Ф. Введение в теорию дифференциальных уравнений. Изд. 3, испр. М.: КомКнига, 2010

Книга содержит весь учебный материал в соответствии с программой курса дифференциальных уравнений для механико-математических и физико-математических специальностей университетов. Имеется также небольшое количество дополнительного материала, связанного с техническими приложениями. Это позволяет выбирать материал для лекций в зависимости от профиля вуза. Теория излагается достаточно подробно и доступно для студентов со средним уровнем подготовки. Приводятся с пояснениями

примеры решения типовых задач. В конце параграфов даются номера задач для упражнений из «Сборника задач по дифференциальным уравнениям» А.Ф. Филиппова, а также указываются некоторые теоретические направления, прилегающие к изложенным вопросам, по которым имеется литература на русском языке. Книга может быть интересна студентам физико-математических специальностей, преподавателям, а также специалистам в разных областях естественных наук, применяющим математику в своей работе.

Введение в эконофизику



Мантеня Р. Н., Стенли Г.Ю. Введение в эконофизику: корреляции и сложность в финансах. Пер. с англ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009 (Rosario N. Mantegna. An Introduction to Econophysics. Correlations and Complexity in Finance).

Сегодня в современную экономическую теорию проникают новейшие научные понятия — нелинейная динамика (синергетика), детерминированный хаос, фракталы, генетические алгоритмы, нечеткие множества и другие, обещаая новые открытия, но в то же время самим своим появлением побуждая к пересмотру достигнутого ранее. Рождаются новые исследовательские программы, которые ставят своей целью более достоверное объяснение сложных явлений. К их числу относится совсем недавно сложившаяся дисциплина, получившая название «эконофизика». Настоящая книга посвящена использованию концепций статистической физики для описания финансовых систем. В ней изучается проблема, которая игнорируется традиционными исследованиями по экономике и финансах, а именно

то обстоятельство, что нет никаких доказательств в пользу существования саморегуляции рынков. Демонстрируется понимание того, что рынки ведут себя не так, как они гипотетически «должны» вести себя в соответствии с традиционными моделями. На основе анализа финансовых рыночных данных разрабатывается новая модель динамики рыночных цен с нетривиальной изменчивостью. Книга написана легко и доступно, она не перегружена математическими выкладками и, по существу, представляет собой увлекательный рассказ о новейших методах математической экономики. Она будет интересна не только экономистам и финансистам, но и физикам, которые найдут перспективным применение концепций статистической физики к экономическим системам.

Введение в теорию ранней Вселенной



Книга написана в значительной мере с точки зрения связи космологии с физикой микромира. В ней излагаются результаты, относящиеся к теории развития космологических возмущений, инфляционной теории и теории постинфляционного разогрева. Книга стала продолжением монографии «Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва», в которой изложены результаты, относящиеся к однородной изотропной Вселенной на горячей стадии ее эволюции и на последующих космологических этапах. В представленном издании рассматриваются как установившиеся

представления о ранней и современной Вселенной, так и наиболее развитые и обоснованные, но еще не нашедшие экспериментального подтверждения теоретические модели. В ряде разделов используются методы неравновесной статистической физики и более специальные методы квантовой теории поля. Для облегчения чтения этих разделов в приложениях приведены необходимые сведения.

Книга может быть интересна научным работникам, аспирантам и студентам, специализирующимся в области физики элементарных частиц и в области космологии.

Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. М.: КРАСАНД, 2010.

Герои, злодеи, конформисты отечественной науки

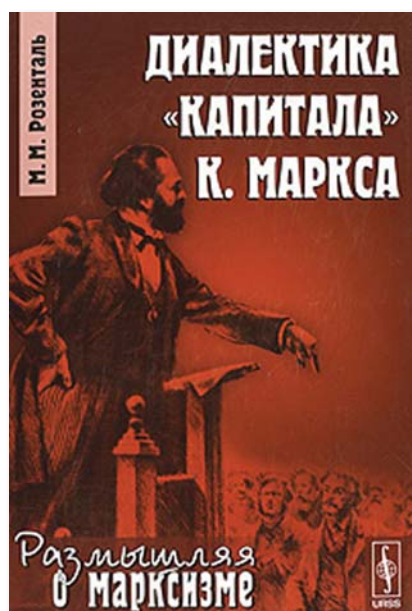


В книге в биографиях и судьбах выдающихся исследователей представлена история российской науки (в основном биологии), а через нее — история России досоветского и советского времени. В издании показано, как драматические траектории движения мысли часто сочетаются с трагическими судьбами исследователей, каким образом проблемы нравственного выбора, судьбы героев и преступления злодеев наполняют историю. Жизнь науки не определяется лишь противоборством героев и злодеев. Возможно, в парадоксальном смысле истинные герои

науки — это конформисты. Рассказы очевидцев, документы, новые материалы и уже известные факты создают живой облик людей, жизнь которых — пример нравственного выбора в ситуациях, когда такой выбор кажется невозможным. Книга адресована самому широкому кругу читателей — всем, кто интересуется историей отечественной науки и безразличен к проблемам нашего Отечества. Ее также с интересом прочтут историки, науковеды, представители органов государственного управления, ответственные за научно-техническую политику.

Шноль С.Э. Герои, злодеи, конформисты отечественной науки. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.

Возвращаясь к марксистской философии



Вниманию читателей предлагается книга известного советского философа М.М. Розенталя (1906–1975), в которой исследуются основные стороны и элементы диалектики «Капитала» К. Маркса. Автор показывает, что в «Капитале» раскрыты не только экономические, но и наиболее общие, философские законы, объясняющие пути развития общества, что это произведение представляет собой в подлинном смысле «науку логики», а также имеет неограниченное значение для изучения и понимания диалектического мето-

да Маркса. Книга состоит из двух частей, первая из которых посвящена преимущественно диалектике объективного развития и ее воспроизведению в законах и категориях диалектики, а вторая — «субъективной» стороне диалектики, т.е. диалектике движения мысли к объективной истине. Книга рекомендуется философам, методологам науки, историкам, социологам, преподавателям, студентам и аспирантам гуманитарных факультетов вузов, а также всем, кто интересуется марксистской философией.

Розенталь М.М. Диалектика «Капитала» К. Маркса. М.: КРАСАНД, 2010.

Денежная политика и экономический рост

В настоящее издание на русском языке вошли избранные работы Джеймса Тобина, в которых исследуется влияние денежной и финансовой политики на экономическую динамику. Дж. Тобин рассматривает деньги и инструменты государственного долга, наряду с реальными инвестициями, активы частного сектора, дополнительное предложение которых позволяет правительству снижать приемлемую для инвесторов доходность капитала и тем самым активизировать инвестиции в реальный капитал, целенаправленно воздействовать на совокупный спрос

и экономическую активность. Автор исследует взаимозависимость эффектов, вызываемых различными инструментами государственного долга (изменением предложения денег и государственных облигаций) и монетарного контроля (изменениями резервных требований и ставки рефинансирования). В последней главе книги содержится глубокая и последовательная критика теоретической концепции монетаризма. Книга предназначена для научных работников, преподавателей экономических дисциплин, аспирантов, студентов экономических вузов.



Тобин Дж. Денежная политика и экономический рост. Пер. с англ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.



Анатолий Гендин

В поисках гармонии. КАЖДОМУ БЛЮДУ — СВОЙ ЛУК

Он может быть белым, красным или зеленым, но этот пряный овощ встречается практически в любой национальной кухне. Наш великий теоретик и популяризатор гастрономии Вильям Похлебкин считал лук одним из трех кулинарных «китов» (наряду с солью и сахаром), без которых обойтись никак нельзя. Остается только сориентироваться в большом и разнообразном луковом хозяйстве

Как-то уж так сложилось исторически, что в русской — и особенно советской — кухне на первом месте оказался лук репчатый (*Allium cepa*). Судя по ассортименту легендарных плодощных баз, куда творческая интеллигенция еще совсем недавно ходила по разнарядке перебирать остатки очередного погибающего урожая, можно было подумать, что кроме подгнившего репчатого никакого другого лука не бывает в природе. Между тем ботаники насчитывают несколько сотен видов лука, а уж количество сортовых разновидностей (от едко-острых до пряно-сладких), выведенных человеком за последние несколько сотен лет, вообще не поддается никакому исчислению.

По общему правилу более сладкие сорта репчатого лука идут в салаты и к холодным закускам, поострее — в соусы и горячие блюда. По внешним признакам можно хотя бы приблизительно определить степень остроты этого овоща: удлинённая форма (так называемая «салатная») обычно свидетельствует о мягком вкусе, а толстые белые луковицы кажутся просто сладкими. Из маленьких кулинарных хитростей: чтобы избежать непроизвольных слез при чистке и резке лука, достаточно предварительно подержать его несколько минут в морозилке.

Лук-шалот (*Allium ascalonicum*) более теплолюбив, чем репчатый, более ароматен и не такой едкий. И не такой водянистый, кстати говоря, что тоже бывает важно при

ОБ АВТОРЕ

Анатолий Александрович Гендин — кандидат исторических наук, гастрономический журналист, писатель, автор серии гастрономических путеводителей «АТЛАС ГУРМАНА».





готовке всяких соусов: скажем, пряные пасты с размолотым шалотом можно на первой стадии приготовления блюда обжаривать, а не тушить, что дает совсем другой вкусовой эффект. Обычно это небольшая красноватая луковича из нескольких (или даже многих — до 10–15) розоватых долек с фиолетовым отливом. Нарезанный вдоль очень тонкими пластинками и обжаренный до хруста, такой лук используют как гарнир не только в просвещенной Европе, но и в самом простецком общепите в странах Юго-Восточной Азии; важно только, чтобы масло при жарке все время оставалось сильно разогретым, тогда лук его почти не впитывает и остается хрустким.

Лук-шалот совершенно справедливо считается одним из самых важных ингредиентов тайской кухни; местное население даже называет его «тайским» в отличие от европейского белого репчатого, а также зеленого китайского (*Allium tuberosum*, он же «чесночный» — из-за характерного аромата, его узкие плоские и довольно жесткие зеленые перья мало деформируются при тепловой обработке). При этом тайский шалот меньше, слаще и более розовый по цвету, чем его европейские аналоги, а некоторые его разновидности настолько нежны на вкус, что их даже называют «сладкими» и используют в десертах. Целый неочищенный лук-шалот там слегка обжаривают в воке с небольшим количеством воды; когда вода испаряется, внутри такая луковича оказывается как бы тушеной, ее охлаждают, очищают, нарезают пластинками и добавляют в различные блюда, в первую очередь в салаты. Обжаренными во фритюре хрустящими кусочками лука-шалота принято посыпать многие уже готовые к подаче тайские блюда, отчего в их вкусовой гамме появляется приятный ореховый тон. Впрочем, гораздо чаще лук-шалот применяется в более пряной и откровенно острой тайской еде. Салатная смесь соленых креветок, лука-



шалота и перца чили относится к самым популярным на тайском столе.

При желании вы тоже сможете приготовить маринованный шалот в тайском стиле, ничего сложного: сначала очищенные луковички нужно замочить в подсоленной воде на ночь, затем промыть, обсушить, уложить в подходящую стеклянную банку и залить слегка разбавленным кокосовым уксусом, добавив в него немного сахара и соли. Несколько дней такая банка должна постоять в теплом сухом месте или даже на солнце, потом еще неделя в холодильнике — и продукт готов к употреблению. В охлажденном виде маринованный лук-шалот может храниться месяцами.

Все большую популярность приобретает у нас и лук-порей (*Allium porrum*); его вкус и аромат еще тоньше, чем у репчатого и шалота. Собственно луковички в бытовом понимании этого слова у него нет, в кулинарии обычно применяется утолщенная белая нижняя

часть стебля, иногда используют и плоские длинные и довольно жесткие листья. В некоторых средиземноморских странах в листья порея заворачивают рыбу для запекания на гриле или в остывающих углях; с этой же целью жители тропических мест используют листья банана. Порей хорош, например, как легкий гарнир к рыбе, в этом случае его слегка отваривают как спаржу — пучками в подсоленной воде.

В некоторых случаях бывают незаменимы и сочные перья молодого зеленого лука, на многих языках его еще называют «весенним». Без такого лука невозможно правильно съесть знаменитую пекинскую утку; правда, здесь нужны не зеленые верхушки, а белые корешки — их обязательно кладут на маленькие горячие блинчики, смазанные кисловатым сливовым соусом, вместе с кусочком мяса, хрустящей утиной кожей и свежим огурцом.

Грамотное кулинарное применение лука предполагает не толь-

ко точный выбор его разновидности, адекватной избранному блюду, но и правильную его нарезку. Для классического греческого овощного салата с неизменными кубиками феты возможен только репчатый лук сладких сортов, нарезанный поперек крупными кольцами, и никак иначе. К финским бутербродикам с самой разной рыбной икрой (форели, сельди, угря, налима, ряпушки) репчатый лук нарезают мелкими кубиками, а вот традиционную баварскую пивную закуску — белую редьку длинными пластиками или спиральными завитушками — принято посыпать мелко нашинкованным шнитт-луком, который отличается тончайшим чесночным ароматом. Лук-порей обычно нарезают кольцами; если же его стебли готовят целиком, то их утолщенные концы надрезают крест-накрест.

В самых разных национальных кухнях существуют блюда, в которых лук — основной или даже

единственный ингредиент. Таков, например, знаменитый французский луковый суп; традиционный элемент повседневного рациона крестьян и рыночных грузчиков, он органично вписался в меню самых фешенебельных ресторанов. К сезонным национально-региональным луковым специалитетам можно отнести каталонскую «кальсотаду»: толстый, мясистый лук-порей запекают на открытом огне из сухой виноградной лозы, после чего из обгоревшего стебля извлекают нежную белую сердцевину и съедают ее под аппетитным ореховым соусом.

В Германии свои сезонные мотивы для лукового застолья, связанные с виноделием. Осенью сразу после сбора урожая в продаже (и в бутылках, и в бочках) появляется забродивший виноградный сок, мутный и хмельной, но освежающий. Бывает он белым и красным, называется *Federweisser*. Вот как раз этот осенний напиток

и принято заедать особым луковым пирогом (*Zwiebelkuchen*) — плоский корж теста запекается с огромным количеством нарезанного кольцами репчатого лука, важно только проследить, чтобы лук сверху не подгорел. Для большей сытности сюда же иногда добавляют и мелко нарезанный бекон. Примерно так же готовится и итальянская focaccia с луком.

Любопытно, как независимо друг от друга самые разные народы пришли к использованию лука в хлебопечении. Средняя по величине натертая луковица придает тесту дополнительную пышность, а готовому хлебу — неуловимый приятный привкус. Шотландцы, например, таким образом пекут свои фирменные булочки, подмешивая в тесто не только тертый репчатый, но и измельченные перья зеленого лука. Примерно тем же путем пошли ирландцы, только по любезной их сердцу картофельной части: в картофельное

пюре, взбитое на молоке до полувоздушного состояния, они добавляют припущенный на молоке же мелко нарезанный зеленый лук.

А наш обычный репчатый лук может выручить в самых неожиданных обстоятельствах. Если к вам внезапно нагрянули гости, возьмите несколько очищенных крупных луковиц с обрезанной примерно на четверть верхушкой и отварите их в соленой воде минут десять. Теперь луковицы нужно обсушить, аккуратно извлечь из них сердцевину, оставив два-три внешних слоя, измельчить ее и смешать с любыми съедобными остатками, которые только найдутся у вас в холодильнике; подойдут колбаса, ветчина, отварное мясо, рис, крутые яйца, грибы и т.д. Полученным фаршем заполняете полые луковицы — и в духовку; если еще и посыпать их тертым сыром, это здорово улучшит внешний вид готового блюда. ■



Гранты Русского географического общества

В 2010 г. Русское географическое общество (РГО) выделило 50 млн рублей для научных и просветительских проектов. Экспертный совет определял победителей в нескольких номинациях: экспедиции и путешествия, защита редких видов животных и экогеографическое просвещение, устойчивое развитие территорий, сохранение наследия Русского географического общества, научные исследования РГО, молодежные программы общества.

В рамках экогеографического просвещения создается «Атлас и глобус русских географических исследований и открытий Земли». Цель — создать атлас, содержащий около 400 карт, и глобус, отражающий историю географических открытий и исследований Земли за весь период существования Российской государственности. Исполнитель этого проекта — Институт географии РАН.

Институт Проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН осуществит «Программу изучения белого медведя в российской Арктике»

для сохранения и восстановление популяции белого медведя. Специалисты изучат ареал обитания этих животных в российской Арктике, соберут информацию об их перемещениях. Важны поиск, установление и комплексное исследование негативных факторов, влияющих на популяции белых медведей в российской Арктике, анализ динамики местообитаний в условиях глобальных изменений климата, и составление практических рекомендаций, обеспечивающих условия для выживания и восстановления численности белого медведя в российской Арктике.

Сейчас важно обеспечить сохранность архивов и ценных изданий Русского географического общества, сделать их доступными для россиян. Грант выделен на реставрационную консервацию книг и документов архива РГО, на обеспечение надлежащих условий хранения, каталогизации документов архивов, размещение материалов архивов в открытом доступе в Интернете, переиздание основных трудов В.П. Семенова-Тян-

Шанского, а также редких изданий. За этот проект возьмется само Русское географическое общество.

«Российский географический навигатор» предполагает создание единой общедоступной системы полного информирования о географическом пространстве Российской Федерации. Предусматривается информирование туристов и путешественников о состоянии маршрутов, погодных условиях, культурных и географических достопримечательностях. При этом учтено обеспечение безопасности путешествующих по России посредством создания системы информирования, регистрации и отслеживания туристов на маршруте, интегрированной с системой ОКСИОН МЧС России. Грантополучатели осуществят сбор, объединение исторической и фактической информации о природе, ландшафтах Российской Федерации, географических открытиях. Над проектом будут работать Межведомственная рабочая группа: Минприроды, РГО, Федеральная служба по гидрометеорологии



и мониторингу окружающей среды, МЧС, Министерство спорта, туризма и молодежной политики РФ, Министерство образования и науки РФ, Министерство транспорта РФ, ООО «Яндекс», ВГТРК и другие СМИ, Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане (ЕСИМО).

Карельские ученые представляют проект «Историко-географические памятники Европейского Севера России». Цель проекта — разработать рекомендации по сохранению геокомплексов и памятников культуры Севера и обоснование для развития туризма в регионе. Будет проведена историко-географическая экспедиция для сбора материала, исследованы островные и прибрежные геокомплексы с точки зрения экологических аспектов. Разрабатываются рекомендации по сохранению археологических и исторических памятников культуры. Кроме того, будет создана серия очерков и научно-популярных фильмов о природе Севера, издан атлас «Онежское озеро: география, экология, культура, туризм» и т.д. Исполнители — Карельский филиал РГО, морской клуб «Полярный Одиссей», Карельская педагогическая государственная академия, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Работу «Мариинская водная система: природный и социально-экологический потенциал развития» проведет Вологодский государственный педагогический университет. При этом будут организованы экспедиции, актуализована информация для географической информационной системы (ГИС), объединяющей сведения, необходимые для эксплуатации и реконструкции Волго-Балтийского водного пути в целях устойчивого развития региона. Предполагается серия научно-популярных публикаций, учебный фильм и в целом активизация рекреационно-туристической деятельности по трассе Волго-Балта.

«Алтае-Саянская экспедиция РГО» — это получение новых данных о региональных реакциях горных ландшафтов Алтая и Саяна на



Тип старых шлюзовых ворот, Белозерский канал

глобальные изменения климата в настоящем и в историческом прошлом. Исполнитель проекта: ВОО «Русское географическое общество», Санкт-Петербургский государственный университет.

Следующий грант — «Студенты — устойчивому развитию олимпийского Сочи» — призван вовлечь талантливую молодежь в реализацию программ устойчивого развития посредством исследовательско-образовательных проектов на примере подготовки Олимпиады в г. Сочи. Исполнители: ВОО «Русское географическое общество» и МГУ им. М.В. Ломоносова

Путеводитель «Больше, чем российский Дальний Восток» представит Дальневосточный регион РФ в качестве туристического, культурного и экологического центра мирового уровня (исполнитель — Фонд развития дружеских отношений с республикой Корея). Большое значение придается также проекту «Байкал через призму устойчивого развития».

Цикл документальных фильмов «Тюрки» покажет историю России и стран Содружества через историю проникновения и укоренения тюркских народов, познакомит широкую аудиторию с культурой тюркских народов. Грант — для ЗАО «Межго-

сударственная телерадиокомпания «Мир». Мультимедийный этнографический проект «Лица России» осуществит информационное агентство «Росбалт». Мультсериал «Новаторы» подразумевает создание в мультсериале для детей и подростков положительного образа исследователей, собственными усилиями распространяющих экогеографическое знание среди населения страны и мира.

Проект «Международная географическая олимпиада» в контексте молодежных экопрограмм РГО направлен на усиление роли России в международном географическом олимпиадном движении. Подготовка российской команды приобретает особое значение в связи с тем, что в 2015 г. Международная географическая олимпиада должна пройти в России.

Бурная деятельность РГО в последний период во многом связана с избранием в 2009 г. президентом РГО главы МЧС РФ С.К. Шойгу. Попечительский совет РГО возглавил председатель Правительства России В.В. Путин. Современная история Русского географического общества, основанного в 1845 г., наполняется новыми образами и смыслами. ■

Дмитрий Мисюров

В преддверии «Тигрового саммита»

В рамках подготовки Международного форума по сохранению тигра «Тигровый саммит», который пройдет в Санкт-Петербурге в сентябре 2010 г., разработаны «Стратегия сохранения амурского тигра в России» и план действий к ней



Это новая редакция стратегии. Первая «Стратегия сохранения амурского тигра в России» была создана в 1996 г. Она ставила своей целью обобщить полувековой опыт охраны и изучения амурского тигра в России, сформулировать главные принципы и наметить всеобъемлющую систему мер по его сохранению на долгосрочную перспективу.

К настоящему времени по сравнению с 1990-ми гг. ситуация с состоянием популяции амурского тигра изменилась: выпали из ареала малооблесенные равнинные территории, подвергшиеся интенсивному сельскохозяйственному освоению; усиливалось разобщение популяционных группировок Сихотэ-Алиня и Восточно-Маньчжурских гор, которые в ближайшее десятилетие могут стать полностью изолированными; наметилась тенденция снижения численности тигра. Изменились и социально-экономические условия в России. Все это потребовало разработки новой редакции стратегии сохранения амурского тигра.

Для подготовки проекта новой редакции стратегии по поручению Минприроды России была сфор-

мирована рабочая группа, которая работала на протяжении полугода. В нее вошли ведущие специалисты страны по амурскому тигру: В.В. Рожнов (доктор биологических наук, заместитель директора Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, председатель секции по млекопитающим Комиссии по редким видам животных, растений и грибов при Минприроды России) — председатель рабочей группы, Т.С. Арамилева (начальник Управления охотничьего надзора Приморского края), В.В. Гапонов (кандидат биологических наук, начальник специнспекции «Тигр» Росприроднадзора), Ю.А. Дарман (кандидат биологических наук, директор Амурского филиала WWF России), Ю.М. Дунишенко (старший научный сотрудник Дальневосточного филиала ВНИИОЗ), Ю.Н. Журавлев (академик, директор Биолого-почвенного института ДВО РАН), А.В. Костыря (кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Биолого-почвенного института ДВО РАН), В.Г. Кревер (координатор программ по биоразнообразию WWF России), В.С. Лукаревский (кандидат

биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН), С.В. Найденко (кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН), Д.Г. Пикунов (доктор биологических наук, заведующий лабораторией Тихоокеанского института географии ДВО РАН), И.В. Середкин (кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Тихоокеанского института географии ДВО РАН), Х.А. Эрнандес-Бланко (кандидат биологических наук, научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН), В.Г. Юдин (кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Биолого-почвенного института ДВО РАН).

При подготовке стратегии и плана действий учтены рекомендации и предложения, которые предоставили российские и зарубежные коллеги: Т.Д. Аржанова, С.Л. Березнюк, А.Э. Врищ, С. Кристи, Д. Микелл, В.И. Солкин, М. Хоттэ.

Новая редакция стратегии разработана в соответствии с рекомендациями, изложенными в «Стратегии сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов», утвержденной Министерством природных ресурсов Российской Федерации (приказ от 05.04.2004 г. № 323). Ее проект был одобрен участниками международной научно-практической конференции «Амурский тигр в Северо-Восточной Азии: проблемы сохранения в XXI веке» (Владивосток, 15–17 марта 2010 г.).

7 июня 2010 г. проект стратегии принят на заседании секции экспертов по редким видам млекопитающих Комиссии по редким видам животных, растений и грибов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и рекомендован министерству для утверждения в качестве официального документа. ■

ОЧЕВИДНОЕ
НЕВЕРОЯТНОЕ

...О сколько нам открытий чудных
Готовит просвещения дух,
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель...

А. Пушкин

ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ

НА КАНАЛЕ «РОССИЯ-К» ПО СУББОТАМ 15.20 ПРОГРАММА С.П. КАПИЦЫ



Читайте в следующем выпуске журнала

ДВЕНАДЦАТЬ СОБЫТИЙ, КОТОРЫЕ МОГУТ ИЗМЕНИТЬ ВСЕ

В любой момент могут неожиданно произойти некоторые события, как природного, так и антропогенного характера, способные полностью изменить наш мир, и многие из них будут развиваться совсем не так, как излагается в популярных концепциях

ВРЕМЯ — ЭТО ИЛЛЮЗИЯ?

Понятия времени и изменений могут порождаться статичной в своей основе Вселенной

ДНК-ТЕРАПИЯ ДОСТИГЛА СОВЕРШЕННОЛЕТΙΑ

Есть надежда, что нескончаемая череда безуспешных попыток создания вакцин и лекарственных препаратов, нацеленных на борьбу со СПИДом, гриппом и другими заболеваниями, наконец, закончится: начались клинические испытания нового поколения ДНК-вакцин и лекарств.

БОЛЕЗНЬ АЛЬЦГЕЙМЕРА: УСПЕХ ДО НАСТУПЛЕНИЯ ТЬМЫ

Вмешательство еще до появления симптомов, возможно, способно помочь избежать главной причины развития деменции

КРЫЛАТАЯ ПОБЕДА

Современные птицы, о которых долгое время думали, что они появились после гибели динозавров, на самом деле жили бок о бок с ними

КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.

2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.

3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:

■ по адресу 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22, редакция журнала «В мире науки»;

■ по электронной почте podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;

■ по факсу: +7(495) 727-35-30, 544-61-41

Стоимость подписки на второе полугодие 2010 г. и первое полугодие 2011 г.:

Для физических лиц: **1140 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью*.

Для юридических лиц: **1500 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2005–2006 гг. — **50 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **70 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **80 руб. 00 коп.**;

за 2009 г. — **100 руб. 00 коп.** — **первое полугодие, 110 руб. 00 коп.** — **второе полугодие**; за 2010 г. — **120 руб. 00 коп.** (без учета доставки);

стоимость почтовой доставки по России — **70 руб.**

Номера журнала за 2003–2004 гг. предоставляются в редакции бесплатно (при наличии).

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru.

Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой на отделение почтовой связи.

* Если ваша заявка о подписке получена до 10 числа месяца, то, начиная со следующего месяца, с почты вам начнут приходить уведомления о заказной бандероли. Такая система доставки журналов гарантирует 100%-ное получение. За доставку простой бандеролью редакция ответственности не несет.

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010 г.												
2009 г.												
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												
2003 г.												

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

ЗАО «В мире науки»
Расчетный счет 40702810100120000141
в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187
Корреспондентский счет 30101810700000000187
ИНН 7709536556; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа _____ Дата _____ Сумма _____

Подписка на журнал
«В мире науки»
№ _____ год

Плательщик

ЗАО «В мире науки»
Расчетный счет 40702810100120000141
в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187
Корреспондентский счет 30101810700000000187
ИНН 7709536556; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа _____ Дата _____ Сумма _____

Подписка на журнал
«В мире науки»
№ _____ год

Плательщик

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ»

■ в интернет-магазинах
www.subscribe.ru,
www.russische-presse.de.

■ в книжных магазинах
научного центра
«ФИЗМАТКНИГА»,
тел.: 409-93-28.

■ по каталогам:
«Пресса России»,
подписной индекс
45724 – для физ. лиц;
39869 – для юр. лиц;
«Роспечать»,
подписной индекс
81736 – для физ. лиц;
19559 – для юр. лиц;

«Почта России»,
подписной индекс
16575 – для физ.лиц.;
11406 – для юр. лиц.

■ Подписка на Украине
по каталогу подписных
изданий агентства KSS,
подписной индекс 69970.

■ Подписка для жителей
Республики Беларусь
для индивидуальных
пользователей – индекс
81736, для предприятий
и организаций – индекс 19559

■ СНГ и дальше зарубежье
ООО «Информнаука»
Тел.: +7 (495) 787-38-73
Факс: +7 (499) 152-54-81
www.informnauka.com



РОССИЙСКИЙ НОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

I место в общероссийском общественном рейтинге вузов

КАЧЕСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ – ПУТЬ К УСПЕШНОЙ КАРЬЕРЕ



Факультеты:

аспирантура	юридический
программа MBA	экономики, управления и финансов
колледж РосНОУ	бизнес-технологий в туризме
колледж СНГ	гуманитарных технологий и иностранных языков
государственный диплом	психологии и педагогики
трудоустройство выпускников	информационных систем и компьютерных технологий
	отраслевых специализаций
	второго высшего образования

Государственная лицензия — серия «А» № 166427 регист. № 7311 от 05.07.2006 г.
Свидетельство о Государственной аккредитации — серия «АА» № 000261 от 27.07.2006 г.

Адрес приемной комиссии:

ул. Радио, д. 22. **Тел.: (495) 727-35-35**

Проезд: от метро «Бауманская» — трамвай №37, 45, 50,
от метро «Курская» и «Чкаловская» — трамвай №24,
от метро «Авиамоторная» — трамвай №24, 37, 50
до остановки «Лефортовская набережная, РосНОУ»

Отсрочка от призыва на военную
службу для лиц, обучающихся
по очной форме обучения

Сайт в Интернете: www.rosnou.ru

Российский новый университет —
учредитель журнала «В МИРЕ НАУКИ»

SIPNET

формула новой связи

1) Почему SIPNET?

Потому что SIPNET — это бесплатное общение в любой точке мира, где есть Интернет...

2) Для кого?

Для всех пользователей, имеющих доступ в Интернет...

персональный сетевой номер...

Присоединяйтесь к SIPNET!

SIPNET - это сеть интернет-телефонии нового поколения, в которой реализованы последние достижения в области инфокоммуникаций, обеспечивающие эффективный обмен голосовой и мультимедийной информацией. SIPNET предоставляет пользователям широкий спектр персонализированных услуг с возможностью управления ими.

Все пользователи SIPNET получают возможность настраивать стоимость и качество соединений по любому направлению, заказывать от своего имени и за свой счет связь для двух абонентов в любых точках мира, переадресовывать входящие звонки с SIP ID на любое абонентское устройство, анализировать статистику совершенных соединений и управлять всеми сервисами SIPNET в режиме on-line.

Среди главных преимуществ SIPNET - альтернативная нумерация. Каждый пользователь становится владельцем персонального сетевого номера - SIP ID, являющегося единым идентификатором пользователя в любой точке мира. SIP ID также является e-mail адресом абонента, с функцией голосовой почты.

Вы можете построить собственную виртуальную сеть общения, все разговоры внутри которой будут бесплатными.

Копенгаген \$ 0.024

Нью-Йорк \$ 0.021

Берлин \$ 0.022

Владивосток \$ 0.029

Пекин \$ 0.022

Киев \$ 0.083

С.-Петербург \$ 0.029

Москва \$ 0.020

Внутри сети \$ 0.0

www.sipnet.ru

Россия, г. Москва, 117997,
ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН